



Séminaire d'étude :

L'eau, l'énergie et l'électrification dans les pays
en développement

Modalités Hybrides

CLICHY les 9 et 10 novembre 2021
Siège de l'Assemblée des Directeurs d'IUT (ADIUT)
202 quai de Clichy

Actes

**Conférence Internationale des Formations d'Ingénieurs et de Techniciens d'Expression
Française**

Président : Dominique GENTILE, Professeur émérite, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines
d.gentile1804@orange.fr

L'eau, l'énergie et l'électrification dans les pays en développement

Ou, comment contribuer au renforcement des compétences notamment des ingénieurs et des techniciens dans ces domaines ?

Le séminaire est organisé par la **Conférence Internationale des Formations d'Ingénieurs et de Techniciens d'Expression Française (CITEF)**, réseau institutionnel « *Sciences de l'Ingénieur* » de l'**Agence Universitaire de la Francophonie (AUF)**, en association avec l'**Institut Universitaire de technologie (IUT)** de l'université Le Havre Normandie.

Selon la banque mondiale, plus d'un milliard de personnes, essentiellement en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, n'ont pas accès à l'électricité. C'est là un obstacle fondamental au progrès pour une proportion non négligeable de la population mondiale, avec des conséquences tangibles sur un large éventail d'indicateurs du développement, notamment la santé, l'éducation, la sécurité alimentaire, l'égalité entre hommes et femmes, les moyens de subsistance et la réduction de la pauvreté.

Les personnes qui ne bénéficient toujours pas de ce service habitent dans des zones reculées et/ou sont pauvres. Dans les zones urbaines, ce sont les populations pauvres qui ne sont toujours pas desservies. Le coût d'extension du réseau peut être prohibitif pour les ménages installés dans des zones reculées, où même les systèmes hors réseau peuvent se révéler difficiles à envisager sur le plan financier, toujours selon la banque Mondiale

Les principaux obstacles à l'extension du réseau électrique résident dans l'insuffisance des capacités de production, la mauvaise qualité de l'infrastructure de transport et de distribution, le coût de la fourniture dans les zones reculées ou, tout simplement, le prix de l'électricité.

Concernant l'électrification hors réseau, et notamment les mini-réseaux, les principaux problèmes tiennent à la qualité des politiques publiques, à la pertinence de la réglementation, au manque de planification et d'appui institutionnel, à des financements insuffisants pour les entreprises opérant sur ce segment et au coût pour les ménages les plus pauvres.

A cette problématique, il faut ajouter celle de l'eau. La production d'énergie nécessite, à des degrés divers, des quantités parfois significatives d'eau – que ce soit pour la génération d'électricité, pour la croissance de sources d'énergie organiques (bois, agrocarburants), pour le nettoyage, pour le refroidissement... C'est vrai des barrages hydroélectriques, mais cela l'est aussi des centrales produisant de l'électricité à partir de sources fossiles ou au moyen de la technologie nucléaire. Et c'est également le cas pour certaines énergies renouvelables, et surtout pour des sources d'énergie « vertes » mises en avant comme alternatives potentielles aux hydrocarbures, comme les agrocarburants ou la biomasse. Ainsi, la production d'énergie dépendant de l'eau peut se trouver fragilisée dans un contexte de dérèglement climatique qui rend l'eau toujours plus rare dans certaines régions, et toujours plus abondante dans d'autres, selon Olivier Petitjean.

On voit donc apparaître une réciprocité entre secteur de l'eau et secteur de l'énergie, d'autant plus problématique dans le contexte de changement climatique.

Ce constat montre la nécessité de travail collaboratif entre les pays du Nord et ceux du Sud, en matière de recherche, d'innovation et naturellement de formation à un niveau élevé. L'enseignement supérieur, précisément par ses liens avec la recherche et sa dimension internationale, est à même de développer de l'innovation pour soutenir une économie en croissance. Former des élites locales c'est ouvrir la voie au développement d'entreprises qui contribueront à l'industrialisation de leur pays.

Le séminaire a été ouvert par :

Dominique GENTILE, Président de la CITEF
Slim KHALBOUS, Recteur de l'AUF, depuis Montréal
Martial MARTIN, Directeur de l'IUT de Troyes, Président de l'ADIUT, depuis Troyes.

Suit ensuite une conférence plénière par Madame Houda ALLAL Directrice générale de l'OME (Observatoire Méditerranéen de l'Énergie) :

1. La situation énergétique en Méditerranée et perspectives,

Puis quelques exemples pratiques d'action de coopération sont exposés :

2. **Présentation du Pôle MEDEE et de la dynamique Energie pour l'Afrique en Hauts-de-France**, par Anaïs ASSELIN, Directrice du Pôle MEDEE
3. **Présentation du projet européen LEOPARD : Solution micro-grid conteneurisée au Bénin et au Sénégal**, par Ahmed RACHID et Abdelghani DJEDJIG en doctorat sous la direction d'Ahmed RACHID - Chercheur au Laboratoire des Technologies Innovantes (Université Picardie Jules Verne) et Coordinateur du projet LEOPARD.
4. **Présentation du projet PROFORELEC : PROfessionnaliser la FORMation en génie ELECTrique**, par Jean-Philippe LECOINTE - Directeur du Laboratoire Systèmes Electroniques (Université d'Artois) et enseignant-chercheur de l'Institut Supérieur de Technologie de Mamou

Les quatre présentations figurent en annexe de ce document notées 1, 2, 3 et 4.

Autre exemple de collaboration :

Projet pour la mise en place d'une Association Francophone pour la Promotion Internationale des Techniques de l'Eau et de l'Energie

Edmond ESKENAZI

Professeur honoraire de l'Université de Liège
Directeur de l'Institut Supérieur des Techniques de l'Eau (I.S.T.E)
Université de Liège - Belgique
[E. Eskenazi@uliege.be](mailto:E.Eskenazi@uliege.be)
Téléphone+32 496 654 900

1 – Présentation de l'Institut Supérieur des Techniques de l'Eau (I.S.T.E)

L'Institut Supérieur des Techniques de l'Eau est une association sans but lucratif créée en 1992 à l'initiative de Professeurs de l'Université de Liège, d'Ingénieurs et de Directeurs d'entreprises belges.

Elle a pour objet principal d'apporter sa contribution au perfectionnement des ressources en eau dans les pays en développement par la mise en commun de ses compétences en la matière et l'expérience de tous ses membres.

Membres

L'association est composée de membres effectifs et de membres adhérents.

Les membres effectifs sont issus des institutions universitaires exemptes de toute confusion d'intérêts avec des entreprises commerciales, financières ou industrielles.

Les membres adhérents sont des personnes qui travaillent dans le monde de l'eau, qui souhaitent aider l'association et participer à ses activités.

Partenaires

En plus de ses membres, l'ISTE compte plusieurs partenaires parmi les entreprises et intercommunales belges qui traitent des problèmes de l'eau, tels les organismes suivants :

- S.P.W. Service Public de Wallonie (Division de l'eau)
- S.W.D.E. Société Wallonne de Distribution d'Eau
- VIVAQUA Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux
- C.I.L.E Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
- A.I.D.E Association Intercommunale de Démergement et d'Epuration
- INASEP Intercommunale Namuroise de Services Publics
- I.D.E.A Intercommunale de Développement Economique et d'Aménagements
- CEBEDEAU Centre Belge d'Etude et de Documentation de l'Eau
- E.R.P.E. Entreprise Régionale de Production et d'Adduction d'Eau

Bien entendu, l'ISTE est géré par un Conseil d'administration élu parmi ses membres : une fois par an, ceux-ci se réunissent en Assemblée générale.

Le Directeur est chargé de l'administration des affaires courantes et de l'organisation des stages de formation de personnel venant essentiellement des pays africains

francophones ; il planifie des stages de rencontres et d'échanges au sein d'entreprises et d'organismes belges traitant de tous les problèmes relatifs à l'Eau.

2 - Objectif fondamental de l'I.S.T.E

L'objectif fondamental de l'ISTE est d'améliorer la santé et les conditions de vie des populations, en organisant des formations continues pour des agents des structures africaines chargés des problèmes de production d'eau potable, d'irrigation et d'assainissement en zones urbaines, semi-urbaines ou rurales.

Pour ce faire, les thèmes abordés lors des formations sont adaptés en fonction des besoins et des espérances de chaque participant. Le souci est de donner aux participants des notions concrètes directement exploitables sur le terrain reposant sur des méthodes scientifiques rationnelles.

Afin d'assurer une bonne compréhension des méthodes présentées, des stages sont organisés au sein d'entreprises et d'organismes belges partenaires de l'ISTE.

Le but principal des stages est de contribuer, par une approche technique et par le traitement de cas particuliers, à augmenter les capacités et les modes d'action des participants.

En effet, l'Institut centre son action sur le transfert du savoir-faire dans la lutte contre la pollution de l'environnement et la prolifération des maladies d'origine hydrique. Il s'agit de permettre aux stagiaires d'être plus efficaces sur le terrain, de renforcer leurs qualités techniques et de créer un effet multiplicateur pouvant conduire à une nette amélioration de la gestion des ressources en eau.

Le transfert de technologie est assuré par une formation adéquate qui aide chaque participant à devenir plus compétent dans la gestion de son propre environnement en lui apprenant à diagnostiquer les problèmes, à identifier les actions à mener et à développer ses propres capacités à supprimer les causes plutôt qu'à traiter les symptômes.

3 - Principaux thèmes de base abordés au cours des formations

Voici, à titre informatif, une liste de thèmes qui peuvent être traités. Il ne s'agit pas d'une liste limitative : elle peut être aménagée et complétée en fonction des desiderata des participants et de leurs besoins réels.

1. Ressources en eau : types de captages, notions d'hydrologie, élaboration de bilans hydriques, hydraulique souterraine, techniques d'exploitation des nappes aquifères.
2. Eaux potables : notions d'adduction et de stockage, dimensionnement de réservoirs d'alimentation et de réseaux de distribution d'eau potable, types de pompes hydrauliques utilisables en milieu aride ou semi-aride, maintenance des pompes et des équipements d'eau potable, techniques de recherche des fuites dans un réseau de distribution, corrosion et entartrage des installations, télégestion, maintenance et exploitation d'un réseau de distribution, examen et méthodes d'analyses des eaux naturelles, potables ou polluées, techniques de traitement des eaux potables, désinfection et correction de l'agressivité de l'eau, sécurisation de l'alimentation en eau potable.
3. Eaux usées : parasitologie et microbiologie des eaux, maladies d'origine hydrique, drainage des eaux pluviales, assainissement et dimensionnement

des réseaux d'égouttage, de drainage, analyse et technique d'épuration des eaux usées.

4. Pollution : protection des eaux contre les pollutions de diverses natures, normes à respecter et précautions à prendre.
5. Visites techniques : visites de sites de captages d'eau souterraine et d'eau de surface, usines de traitement des eaux naturelles, laboratoire d'analyse des eaux avant leur distribution, station d'épuration d'eaux usées, usine de traitements de déchets solides et liquides, station de bio-méthanisation, usine de valorisation des déchets ménagers.

4 - Actions menées

Depuis 1992, l'Institut Supérieur des Techniques de l'Eau a d'abord œuvré pour ouvrir le dialogue avec les structures locales dans différents pays africains francophones où des problèmes relatifs à l'eau étaient prioritaires.

Nous avons ainsi réussi à recueillir, classer et donc constituer une considérable « base de données » des difficultés rencontrées dans chaque pays dans les principaux domaines suivants : captage, adduction, traitement, stockage, distribution, drainage, irrigation, gestion des déchets, pollution, maladies d'origine hydrique etc...

Ensuite, ayant ciblé ces besoins, nous avons organisé des stages de formations y répondant spécifiquement en veillant à traiter directement des « Études de cas » réelles posées par les participants eux-mêmes.

Voici une liste non limitative des thèmes qui ont été abordés :

1. Alimentation en eau potable des petites collectivités
2. Gestion des ressources en eau pour la lutte contre les maladies d'origine hydrique
3. Epuration des eaux usées et pluviales en milieu rural
4. Epuration des déchets pour la maîtrise de la pollution et des risques pour la santé
5. Gestion des crises liées au manque d'eau
6. Gestion des crises liées aux inondations
7. Auscultation des barrages réservoirs d'eau
8. Diagnostic et amélioration du rendement d'un réseau de distribution
9. Gestion et exploitation des ressources en eau non conventionnelles (saumâtres)
10. Evaluation de la qualité des eaux courantes selon l'indice biologique global normalisé

5 - Résultats obtenus

En 28 ans, plus de 2000 demandes de stages venant de tous les pays ont été reçues et ont fait l'objet d'un courrier d'échanges d'informations particulières sur les problèmes relatifs à l'eau. C'est ainsi qu'ont pu être réunies quelque 655 « Études de cas ».

L'ISTE s'est efforcé de répondre à tous ces besoins. Bien que nous ayons été parfois obligés d'opérer des choix pour des questions budgétaires, l'ISTE a réussi à accueillir en Belgique 431 agents venant de 27 pays différents, grâce, d'abord, aux soutiens financiers de l'Administration Générale de la Coopération au Développement et ensuite de la Coopération Technique Belge.

Les liens qui se sont tissés entre professionnels nous ont permis de prendre conscience de la nécessité d'organiser, parallèlement aux stages de formation continue, des missions de « consultance » courts répondant plus rapidement aux besoins de nos partenaires africains.

6 - Proposition adressée à la CITEF

Le nombre de stages accomplis, la quantité d'agents réunis, les échanges fructueux, les contacts établis, les études de cas discutés et les projets réalisés démontrent sans conteste que l'œuvre menée inlassablement depuis plus d'un quart de siècle par l'ISTE s'inscrit dans une démarche visant à développer la maîtrise de l'eau en réunissant une grande famille d'experts capables d'agir unanimement en faveur d'une meilleure gestion des ressources en eau.

Compte tenu de nos résultats et vu l'intérêt de la demande croissante exprimée ces dernières années par nos candidats africains, non seulement dans le domaine de l'eau mais aussi dans celui de l'électrification et de l'énergie solaire, nous proposons d'étendre ces activités.

Nous croyons donc utile de proposer à la CITEF une collaboration afin d'examiner les possibilités d'organiser des missions régulières de formation et de « consultance » à la fois dans les domaines de l'Eau et de l'Energie.

Il s'agirait de répondre ensemble aux défis soulevés par nos partenaires africains francophones afin de contribuer au renforcement des compétences pour un avenir solidaire et durable en matière d'échanges et de développement.

Assurer la maîtrise de l'énergie et développer la sécurité hydrique est un défi mondial. Relever ce défi ne peut donc se faire sans l'accord solidaire de tous les pays. Or cette solidarité ne peut s'obtenir que par une meilleure coordination des actions, par la réalisation d'activités conjointes et surtout par la mise en commun des compétences.

Atelier Eau et Energie

L'eau, l'énergie et l'électrification dans les pays en voie de développement

Pierre ADAM,
Enseignant-chercheur à l'UEH, HAÏTI

Haïti/Dérèglement climatique : Nouvelle approche dans les domaines de l'eau, l'énergie et l'électrification.

I Contexte & justification

L'exploitation abusive des ressources naturelles dans les pays colonisés et la mauvaise gestion de l'environnement ont été par le passé mal compris par les exploitants et leur logique trop ignorée dans les décisions affectant la gestion soutenable des ressources de la planète. La réparation des divers torts causés à l'environnement des PVD devra s'inscrire dans une optique de **Développement durable (DD)** qui sera la résultante de la formation dispensée aux futurs ingénieurs et techniciens dans **l'Education à l'environnement (EE)** et aux **Changements climatiques (CC)**.

En Haïti, le sous-secteur de la Formation professionnelle n'est jamais considéré comme un domaine prioritaire de la politique publique¹. Pour les techniciens de **l'Eau – Energie - Electrification (E³)**, la fourniture des services aux populations haïtiennes représente un réel paradoxe: la Ressource-eau est disponible en quantité et en qualité ; elle peut être utilisée comme énergie renouvelable pour répondre aux exigences du sous-secteur de l'électricité. Seules des actions de formation, de vulgarisation, d'accompagnement et d'encadrement du Secteur, suivant une bonne Approche méthodologique et une démarche pédagogique, pourront contribuer au renforcement des compétences.

II Objectifs

2.1.-Objectif général

Ce travail a pour objectif général de **mettre en valeur la formation, l'éducation, l'information (vulgarisation)** pour permettre la création en Haïti de « capital humain » dans le but **d'augmenter un accès équitable** de l'eau, de l'énergie et de l'électrification pour tous.

2.2.-Objectifs pédagogiques

- Former les ingénieurs et les techniciens à l'utilisation des moyens d'exhaure à énergies renouvelables pour une exploitation durable des ressources en eau sur le moyen terme.
- Mener de pair communication et éducation sur le dérèglement climatique pour essayer de saturer les circuits de communication régionaux autour de l'importance des ressources naturelles.

¹ Les politiques publiques énoncées par les pouvoirs ne sont pas celles que les acteurs appliquent.

- Renforcer le Partenariat public-privé (PPP) pour réduire les taux du chômage et du sous-emploi.
- Porter l'Etat à mettre en place un programme de développement pour la **Décennie 2020**.

III Méthodologie

Ma grande expérience dans l'enseignement et l'apprentissage des techniques de gestion, par des méthodes participatives, me portent constamment à faire comprendre à mes étudiants que « La connaissance est très utile, il faut savoir l'utiliser à bon escient ». La Décennie 2020 doit être consacrée à **l'Education relative à l'environnement, aux changements climatiques et au développement durable**. Je pense que pour approfondir le sujet, il est nécessaire de faire une Etude de cas pour bien cerner les problématiques de la **Trilogie (E³)** dans le but d'inculquer aux ingénieurs et aux techniciens une Education à la science et à la technologie, car elles envahissent notre vie sans notre permission.

Etude de cas : Epuisement des Ressources en eau

/Les climats extrêmes qui sont exacerbés par les changements climatiques portent les exploitants de la Ressource –eau à être plus prudents face aux phénomènes récurrents de la **sécheresse et des inondations**.



Les scientifiques doivent plus que jamais travailler pour trouver des solutions aux multiples problèmes qui guettent l'humanité à l'horizon. En effet, on constate à travers les plaines alluviales d'Haïti une baisse considérable du niveau de l'eau, ce qui montre un fort taux de **ruissellement** au détriment de l'infiltration (**R>I**). L'exemple le plus navrant est celui du forage de Formon, dans la Région



Sud-Ouest d'Haïti. Cette baisse du niveau de l'eau qui peut

être la conséquence logique de la déforestation des Bassins versants (BV) de la région ou d'une exploitation anarchique des champs captants peut aussi avoir une influence négative sur la qualité de l'eau par l'augmentation de la salinité, suite à la loi de l'osmose.

Je ne veux en aucun cas parler des grandes préoccupations liées aux PVD ou émergents, suite à tout ce qu'on observe maintenant en Australie, Californie, Inde, Barcelone, etc. Ces événements liés aux CC se produiront souvent parce que Haïti est située sur le chemin des cyclones qui se forment annuellement dans l'Atlantique et dans les petites Antilles. Haïti est un petit état insulaire, sans monitoring, sans simulations. Le dérèglement climatique aura des effets impactants sur l'écosystème aquatique².

L'eau est une ressource renouvelable. Le facteur sur lequel il faut jouer dans l'immédiat est le ruissellement. Il faut maintenant apprendre aux étudiants à partir de techniques simples et appropriées comment : réduire le degré de ruissellement dans les BV, réduire les pertes de sol au-dessous du niveau où elles provoquent le

² Environnement Canada, Conservation & Protection, no 4,1990

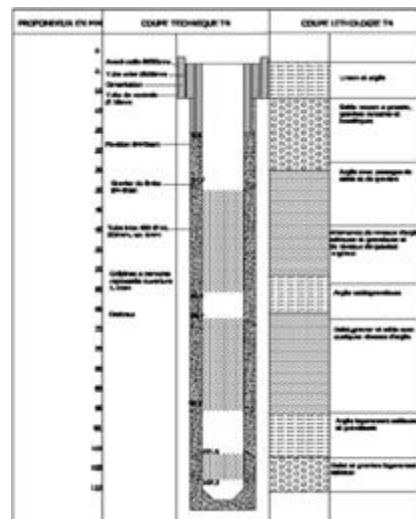
ravinement, faciliter l'absorption de l'eau de pluie, afin d'en emmagasiner davantage dans le sol par la construction des ouvrages appropriés.

Etude de cas: Transition énergétique

En ce début de XXIème, la planification énergétique, la diversification énergétique, l'utilisation des ressources solaire, éolienne, hydroélectrique et de biomasse, la recherche de nouvelles filières énergétiques, etc. constituent des sujets d'actualité provoquant débats et préoccupations dans toutes les sociétés modernes.

Qu'est-ce qu'on doit faire ? Il n'y a que la **transition énergétique**.

C'est la transition, qui est le passage d'un modèle à l'autre. C'est le passage d'un système qui n'avait aucune préoccupation écologique dans ses fondamentaux et qui n'était qu'économique et sur le profit, et qu'on doit faire passer maintenant sur un modèle qui intègre la totalité de ses effets sur l'environnement (Macron, 7 mars 2019). Il faut voir comment accélérer cette transition en donnant plus de manœuvres technologiques aux ingénieurs et aux acteurs locaux suivant une vision optimiste et une approche techniciste.



En Haïti, amorcer les mécanismes de développement d'un pays, de transformation d'une société, c'est d'abord créer une « vraie culture de l'énergie » basée sur un accès à l'énergie, la création du « capital humain » de qualité dans le secteur de l'énergie. Et cela n'est possible que si l'on arrive à harmoniser les rapports binomiaux Société-Energie à se joindre alors aux préoccupations mondiales de l'heure. En ce sens la sensibilisation, la promotion de l'engagement citoyen à l'énergie se transforment en piliers de « **l'action formative** ».

La vérité scientifique doit être la meilleure boussole dans la formation des Apprenants.

Les travaux d'inventaire, la construction des ouvrages hydrauliques réalisés ont montré qu'Haïti dispose 284 rivières dont deux seulement ont un barrage d'irrigation : Péligre et Marion. M. Moyse pensait qu'il fallait stimuler le développement économique, aménager le territoire et améliorer le cadre de vie de la population par l'utilisation rationnelle des ressources naturelles disponibles. L'inauguration, par le Président, du barrage de Marion le 1^{er} mai 2021 dans la région Nord d'Haïti, nous fera comprendre comment la maîtrise des grandes eaux peut faciliter cette Transition énergétique.



Cette infrastructure est un symbolisme qui montre que « Pour mériter l'estime, il ne suffit pas de faire de grandes choses, il suffit de les avoir tentées (Milscent, 1836) ». En effet, le barrage de Marion construit avec la Coopération technique cubaine, est un Projet intégré qui englobe cinq filières : Irrigation, Hydroélectricité, Pisciculture, Eau potable et Ecotourisme.

M. Moyse dès son installation avait jugé bon de faire de la Transition énergétique son cheval de bataille. Dans le secteur de l'eau tant pour l'alimentation en Eau potable que pour les projets d'irrigations, des ouvrages hydrauliques équipés de pompes

solaires ou éoliennes seront utilisées comme « **moyens d'exhaure** » pour le refoulement de l'eau.

C'est ainsi que des initiatives qui ont été menées dans la formation des techniciens et des cadres dans la construction des forages d'exploitation ont été vite révisées pour une compréhension approfondie des *coupes techniques des plans de tubage* dans lesquels on doit installer les pompes.

Parler de l'autonomisation des femmes dans l'adoption de mesures décisives en faveur de la Transition énergétique réduirait de façon considérable le taux de femmes et des filles qui s'adonnent quotidiennement à la **corvée de l'eau**. « Il faut repenser la fourniture des services énergétiques dans les zones rurales ».

Etude de cas: Electrification rurale / Eclairage public

Selon des études menées sur le terrain, plus de 2/3 de la population haïtienne n'ont pas accès à l'électricité, une réalité qui touche principalement les communautés rurales. En complémentarité avec les activités d'expansion, de renforcement et la mise en place d'un réseau électrique national faisant l'objet des priorités de l'ex-président, le projet *d'Electrification rurale et autonomisation de femmes (ERAF)* propose le développement des énergies renouvelables dans les zones rurales et péri-urbaines, ce qui permettrait d'étendre l'accès à une électricité propre, fiable et viable économiquement tout en constituant un moyen efficace de promouvoir la production de biens (transformation de produits, agriculture et pêche) et de services (tourisme, éducation, etc....).

La création en 2012 en Haïti du Bureau du ministre chargé de la Sécurité énergétique à travers le Programme national Ban'm limye – ban'm lavi (BIBL) a voulu marquer un tournant significatif dans l'éclairage public par l'installation de lampadaires solaires dans tous les départements du pays. A terme, ce programme installera 8 lampadaires dans chaque section communale et 25 lampadaires dans chaque ville communale. Cet apport du Projet mis en œuvre avec le soutien technique du PNUD et le support financier du Gouvernement du Japon a permis la construction de trois microsystèmes hybrides d'électrification rurale dans le Nord'Est du pays. N'était-ce la discontinuité du projet (BIBL) en 2015, les zones péri-urbaines et le milieu rural haïtien auraient un tout autre visage.

DEPARTEMENT	Nombre de lampadaires installés
NORD-OUEST	319
NORD-EST	137
NORD	213
GRAND-ANSE	349
SUD	261
SUD-EST	161
CENTRE	118
ARTIBONITE	622
NIPPES	130
L'OUEST	417
TOTAL	2727



Fig. 1. Répartition des lampadaires installés du programme BIBL au 24 mai 2013.

IV.- Elaboration des programmes

Il s'avère évident de contribuer au renforcement des compétences des ingénieurs et des techniciens en portant les Responsables d'Etat à faire des choix en Politiques publiques via les Actions de **formation et d'éducation**. Plusieurs types de programmes peuvent être mis en œuvre pour préparer les étudiants à s'impliquer dans le développement réel de leur communauté dans le but de les porter à devenir de vrais **acteurs du changement**.

L'eau reste et demeure la grande préoccupation de cette Trilogie puisqu'elle est à la base de tous les grands problèmes actuels: **sécheresse** et/ou **inondation** qui auront des conséquences néfastes sur : l'alimentation en Eau potable, la production de l'énergie et la fourniture des services en électricité. Ainsi l'établissement des programmes en Haïti doit être conçu pour montrer aux étudiants que «la compréhension des divers comportements de l'eau est essentielle». Des visites dans les constructions des ouvrages hydrauliques pour qu'ils puissent comprendre la relation entre le **Génie civil et les divers types de captage**, la technique pour **l'érection d'un barrage** dans des formations géologiques différentes, sont autant de bonnes pratiques qui doivent aider à bien élaborer un programme pour transformer toutes les **stratégies pédagogiques**.

V. Pour le renforcement des compétences des ingénieurs et techniciens de l'E³

Le phénomène de réchauffement planétaire a pris un tournant important avec la Révolution industrielle (RI). L'homme a produit en moins de deux siècles, une quantité excessive de Gaz à effet de serre (GES), responsables du susdit réchauffement.



Visite pédagogique au

Sans budget, sans encadrement, sans des séances de travaux pratiques, la formation se donne au rabais aux étudiants des PVD dont Haïti, qui ne peuvent pas déjà bénéficier de la modernité technologique et qui sont tous à l'abri des maladies de civilisation (COVID 19) et de l'insécurité. L'éducation doit conduire à améliorer la qualité des Ressources humaines disponibles pour créer des dispositifs de formation adaptés à la réalité haïtienne (Formation à distance, classe inversée, Webinaire, etc). Le nouveau programme doit les porter à **transformer des stratégies** pour un meilleur

apprentissage des filières porteuses qui vont aider à fournir de meilleurs services aux populations en dépit des contraintes existantes telles la **formation des Enseignants** qui doivent devenir des guides pour orienter les travaux des Apprenants. Les centrales hydroélectriques peuvent répondre à la demande en énergie électrique. Le monde évolue. La communication, la vulgarisation et l'accompagnement des Cadres via les **réseaux sociaux** seront d'un apport appréciable.

Conclusion & Recommandations :

On a toutes les raisons de croire que la République d'Haïti, en tant que petit Etat insulaire, mérite selon l'article 8 de la CCCC de jouir d'un statut exceptionnel au sein de la Communauté internationale. Tandis que la population augmente, les ressources en eau baissent en quantité et en qualité. Haïti est un PMA dont l'économie est fortement tributaire de la **consommation des combustibles et produits fossiles**. Donc Haïti figure parmi les pays qui ont fait les frais de la RI sans pouvoir en bénéficier. Sur ce, des **actions stratégiques** doivent être menées pour atténuer les effets des changements climatiques tels:

- Création de dispositifs de formation adaptés à la réalité haïtienne ;
- Orientation de la recherche dans le domaine de l'Environnement et des CC en général.

Ce colloque m'offre l'opportunité de vous dire que c'est une bonne chose de « contribuer au renforcement des compétences notamment des ingénieurs et des techniciens ». Ce dont on a besoin, c'est de poser le problème du transfert de technologie des pays riches vers les pays pauvres en obtenant que notre pays soit débarrassé, à moindre coût, des énergies fossiles pour accueillir les énergies propres en toute sérénité financière. C'est ce qu'on pourrait appeler pour Haïti, la transition énergétique de cette Décennie.

La gestion de l'eau et de l'énergie au Cameroun

Problématiques actuelles et solutions d'avenir.

Henri WAMBA

Professeur des Universités en Sciences de Gestion, Université de Douala – Cameroun
h_wamba@yahoo.fr

Résumé

Cet article illustre les problèmes de gestion de l'eau et de l'énergie au Cameroun et les conséquences sur le niveau de pauvreté des populations. En même temps, il met en exergue les possibilités de sortir ces derniers de cette situation à travers différents projets basés sur les programmes de gouvernance notamment le développement communautaire territorial décentralisé et la contribution des structures d'enseignement et de recherche, à l'instar des écoles d'ingénieurs, par la prise en compte de ces problématiques. Les solutions envisagées devront tenir compte du potentiel de ressources non négligeables dont dispose le Cameroun, comme la plupart des pays africains.

1. Introduction

Les enjeux et les difficultés d'accès à l'eau et à l'énergie dans les pays en développement ont longtemps fait et continuent de faire l'objet de plusieurs sommets mondiaux. Cette difficulté d'accès à l'eau et à l'énergie se traduit par une pénurie pour certains et, pour la plupart, d'une mauvaise gestion des ressources. Une plus grande maîtrise de l'eau et une réelle efficacité énergétique représentent une des clés du développement local et pérenne des communautés des pays sous-développés.

Au Cameroun où il existe pourtant un important potentiel hydraulique, la pénurie en eau potable est le quotidien des populations ; ce qui entraîne des conséquences dramatiques. En effet, près de 40% de la population n'a pas accès à l'eau potable et un habitant sur deux souffre de maladies hydriques. La qualité douteuse des eaux affecte également le secteur agricole dont dépend la survie de nombreuses familles. Comment expliquer un risque hydrique aussi prégnant alors que le Cameroun, à l'exception de la zone semi-aride, ne manque a priori pas d'eau ? Le Cameroun compte en effet cinq grands fleuves auxquels s'ajoutent de très importantes nappes phréatiques. La dynamique démographique que connaît le pays nous invite à une maîtrise de l'eau. Il faudra notamment songer à une gestion durable des ressources en eau pour les générations futures.

En plus des difficultés d'accès à une eau potable, la majeure partie des populations camerounaises n'a pas accès aux services énergétiques de base. L'électricité demeure pour le Cameroun un luxe que seuls quelques privilégiés des grandes villes comme Yaoundé ou Douala peuvent s'offrir avec une constance somme toute relative. Les quartiers de certaines principales villes du Cameroun sont frappés par des perturbations de réseaux et coupures d'électricité fréquentes. En milieu rural, ce qu'on appelle communément délestage peut s'étendre sur plusieurs jours (Moukengue Imano, 2015). Le potentiel hydroélectrique du pays est pourtant, après celui de la République démocratique du Congo, le meilleur en Afrique (Davoc, 2008). On pourrait ainsi se poser la question de savoir : comment utiliser ces ressources énergétiques pour améliorer le niveau de vie des populations et quel rôle peuvent jouer les enseignants-chercheurs camerounais face à cette situation ? Dans cet état des lieux, nous poserons tout d'abord quelques problématiques importantes comme le facteur démographique, les problèmes techniques, le potentiel humain et le transfert des technologies. Enfin, nous proposerons quelques solutions face à cette crise. Nous discuterons ainsi de l'électrification décentralisée et des énergies renouvelables.

2. Le secteur de l'eau au Cameroun

2.1. Aperçu général sur les ressources en eau au Cameroun

- Les précipitations

Du fait de son allongement du sud au nord sur environ 1200 km, le Cameroun est soumis à deux grands ensembles climatiques: équatorial et tropical. Les précipitations diminuent rapidement de la façade atlantique du Mont Cameroun (8 000 mm à Debundscha) vers les confins du pays à l'est (1600 mm à Lomié) en passant par Douala (4000 mm) et Kribi (3000 mm). Elles décroissent également, mais lentement, du sud (1600 mm à Yaoundé) vers le Lac Tchad (500 mm à Kousséri) en passant par 1000 mm à Garoua. Le volume moyen annuel précipité sur l'ensemble du pays est estimé à 800 km³, inégalement réparti entre le sud (600 km³, soit 75%) et le nord (200 km³, soit 25%).

- Les ressources en eau superficielle

Le Sud-Cameroun est drainé dans sa partie occidentale par de nombreux fleuves côtiers d'inégale importance, et dans sa partie orientale par les affluents du fleuve Congo. Quant au nord du pays, il est drainé par la Bénoué, affluent du Niger et le Logone, tributaire du Lac Tchad. L'évaluation des ressources en eau de surface à partir des travaux de nombreux chercheurs indique des valeurs de 229 km³ pour le sud contre 35.5 km³ pour le nord, soit un total de 265 km³ sur l'ensemble du pays.

- Les ressources en eau souterraine

Sur les 322 milliards de mètres cubes des ressources en eau disponibles totales, les eaux souterraines constituent 21% (57 milliards de mètres cubes) de cette ressource (Sigha-Nkamdjou et al, 2002). Des précipitations élevées signifient un potentiel de recharge élevé dans une grande partie du Cameroun, sauf dans le nord. D'autre part, le potentiel en eaux souterraines est largement lié aux types de roches rencontrées sur le territoire. Dans la région nord par exemple, l'augmentation de la population, combinée à une réduction de la quantité et de la régularité des précipitations, a entraîné une sécheresse persistante et une réduction des ressources en eaux souterraines (Cheo et al, 2013).

- Disponibilité en eau par habitant

L'estimation de la disponibilité en eau par habitant est abordée aux échelles nationale et régionale (sud et nord). Elle est inversement proportionnelle à la croissance démographique. Ainsi, en 2010, elle est passée des 21 000 m³ à 15 000 m³ pour l'ensemble du Cameroun ; de 23 000 m³ à 17 000 m³ pour le sud et de 15 000 m³ à 11 000 m³ pour le nord. Au regard du seuil du stress hydrique (1000 m³/h/an) et de celui de la carence totale en eau (500 m³/h/an) d'après Khroda (1996), la situation ne semblerait guère préoccupante, et même pour les prochaines décennies, si les disponibles moyennes actuelles demeurent stables et bien gérées. En revanche, le changement climatique potentiel et le développement futur des activités à forte consommation d'eau telle que l'agriculture, au travers de l'irrigation, commandent une bonne maîtrise et une gestion plus rigoureuse des ressources.

2.2. Problèmes liés à la gestion de l'eau

Dans l'ensemble, en dépit des disponibilités en eau largement suffisantes pour le pays, les besoins des populations en eau potable présentent un important déficit aussi bien en zone urbaine que rurale (seulement 11% de l'ensemble de la population camerounaise ont constamment accès à l'eau potable). Cette situation tient non seulement à l'inégale répartition spatiale de la ressource, mais aussi et surtout aux problèmes liés au développement socio-économique du pays et au coût élevé de l'eau par rapport aux revenus des populations. Globalement, environ 70% de la population

consomment une eau de qualité douteuse. En résumé, la problématique de l'eau au Cameroun est liée à plusieurs facteurs qui sont la croissance démographique, les menaces anthropiques, les changements climatiques et enfin les pertes lors de la distribution. Il s'agit donc des problèmes physiques et de gestion à résoudre à différents niveaux.

- la croissance démographique

En matière démographique, la population du Cameroun en janvier 2010 est estimée à 19 406 100 habitants dont 55% vit en zone urbaine et 45% en zone rurale. Elle connaît une urbanisation galopante avec un taux de 6 % l'an alors que la croissance démographique se situe à 2.8 %. Cette urbanisation rapide de la population ne s'accompagne guère du développement des infrastructures de base pour améliorer l'accès à l'eau.

- les menaces anthropiques et/ou naturelles

Les menaces anthropiques sur les eaux au Cameroun sont liées à la pollution. L'élimination des eaux ménagères se fait en général directement sur la voie publique, dans un caniveau, dans un puisard ou dans les cours d'eau (Nlend et al. 2018). De même, les eaux provenant des vidanges des fosses septiques sont acheminées vers les rivières des bassins, où elles sont déversées au mépris des dispositions relatives à la protection de l'environnement et celles relatives à la protection des ressources en eau contenues dans la loi portant régime de l'eau au Cameroun (MINEE, 1998). Dans ces conditions, le milieu est caractérisé par un état d'insalubrité généralisé du cadre de vie. Les industries, pour la plupart, rejettent leurs effluents dans les cours d'eau sans traitement préalable. Certaines eaux souterraines contiennent peu d'oxygène et des concentrations élevées en fer et même en hydrogènesulfate (Ketchemen-Tandia, 2011). Les aquifères côtiers peu profonds sont vulnérables aux intrusions d'eau marine. De plus, une contamination bactériologique étendue des eaux souterraines peu profondes dans les zones urbaines telles que Yaoundé et Douala (Kringel et al, 2016) provenant de déchets ménagers, industriels et hospitaliers a été prouvée par plusieurs auteurs. À Douala, des études ont montré une pollution par les nitrates (Ngo Boum-Nkot et al. 2015, Wirmvem et al. 2017) et une pollution organique (Sanou et al, 2015) des eaux souterraines.

2.3. Solutions d'avenir

Les lacunes hydrologiques du Cameroun doivent être clairement identifiées et hiérarchisées. Il est important qu'une réelle synergie soit mise en place entre les différents acteurs de l'eau ; de même qu'un réseau national des spécialistes d'hydrosociétés. Par ailleurs, le renforcement des capacités de toutes les parties prenantes de la gestion de l'eau doit être renforcé. Sur un plan scientifique, les chercheurs et enseignants-chercheurs doivent travailler sur les investigations suivantes sur l'ensemble du territoire :

- *Résilience des eaux souterraines au changement climatique et pérennité des mécanismes de recharge des aquifères*
- *Fonctionnement des aquifères de socle et amélioration des techniques de prospection*

Les aquifères de socle représentent 70 à 80% du territoire du Cameroun. Les recherches d'eau souterraine y sont très difficiles et le taux d'échec en forage pour ces régions est très élevé. Une méthodologie hydrogéologique d'identification des ressources reste donc à proposer afin de limiter ce taux d'échec et améliorer la qualité des prospections et des reconnaissances dès la phase de conception des projets d'adduction.

- *Problématique des interfaces eau douce / eaux marines en zone côtières/estuariennes*
- *Etude hydro-écologique des zones humides littorales (maintien des services écosystémiques des mangroves et estuaires – alimentation humaine, biodiversité, régulation hydrique, ...)*

Le Cameroun dans sa partie littorale est caractérisé par la présence de nombreuses grandes zones humides qui assurent un grand nombre de services écosystémiques auprès des populations (alimentation humaine, maintien de la biodiversité, contribution à la régulation hydrique, ...). Or, ces milieux sont de plus en plus impactés soit par les activités humaines et l'anthropisation du littoral, soit par les perturbations climatiques qui sont à la source d'une augmentation du niveau marin, et d'une grande variabilité de la contribution en eau douce vers les estuaires (via les eaux souterraines et les fleuves). Ainsi, de nouvelles études transdisciplinaires sont nécessaires afin de connaître le comportement hydrologique de ces hydroécosystèmes et surtout de pouvoir estimer leurs comportements futurs sous les nouvelles contraintes imposées par les changements globaux actuels.

- *Mise en œuvre d'une meilleure politique d'opérationnalisation des périmètres de protection autour des captages d'eaux souterraines à vocation de production d'eau potable*

Si des textes existent au Cameroun sur les aspects réglementaires concernant cette question, les documents sur la mise en œuvre satisfaisante et généralisée de périmètres de protection implantés et dimensionnés de façon techniquement valable et scientifiquement juste semblent encore manquer au niveau national. Un effort technique et juridique reste donc à faire dans ce sens et devrait constituer une priorité car, comme il est apparu dans de nombreuses études hydrogéologiques, les pollutions souterraines sont souvent peu limitées à la proximité immédiate des puits et forages à cause de l'inexistence de périmètres de protection adéquats.

- *Problématique de la contamination des eaux de surface et souterraines par les micro-polluants organiques et en particulier les pesticides agricoles.*

Comme tous les pays de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Centrale, le Cameroun cherche à optimiser son potentiel agricole, cela passe par un usage de plus en plus important des molécules agrochimiques comme les pesticides. Ceci se fait de façon incontrôlée avec l'usage de molécules bien souvent réglementées, voire interdites sur d'autres continents. Il en ressort une problématique assez nouvelle pour le Cameroun, qui se voit confronté à une dégradation de la qualité des eaux non plus seulement chimique et bactériologique mais aussi de plus en plus organique à cause de l'usage des pesticides, herbicides et fongicides modernes. Le Cameroun reste sous équipé en moyens analytiques capables d'identifier et de doser ces molécules complexes, ce

qui ; à terme, représente un risque sanitaire majeur pour les populations notamment des régions les plus agricoles qui sont parmi les plus exposées.

- *Soutien à la promotion de la GIRE (Gestion intégrée des Ressources en Eau) au Cameroun*

En effet, s'il est admis que la GIRE est un cadre stratégique très important dans le processus couplé de l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et de la stratégie de développement durable telle que préconisée lors du Sommet Mondial sur le Développement Durable (SMDD) à Johannesburg en 2002, la nécessité de promouvoir une stratégie de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) s'impose aujourd'hui et plus que jamais au Cameroun. Une bonne analyse menée par Kouam **Kenmogne et alii en 2006 sur la question est édifiante.**

3. Le secteur de l'énergie au Cameroun

3.1. Etat des lieux des problèmes d'énergie

La problématique de la situation énergétique du Cameroun ainsi que les conséquences sur le niveau de pauvreté des populations peut être énoncée à partir des facteurs suivants :

- *Le facteur démographique*

Depuis 1976, le taux de croissance annuel est de 3% (Habitat III, 2015). A ce rythme, le pays pourrait compter plus de 30 millions d'habitants en 2030. Il est ainsi nécessaire d'étudier l'adéquation entre croissance démographique et approvisionnement en énergie (électricité, gaz, etc.). Aujourd'hui, le taux de couverture atteint à peine 50% du territoire national (Tchatat, 2014). Les taux les plus élevés se concentrent à Yaoundé et à Douala, où l'on atteint respectivement 98,2% et 97,1%. Les chefs-lieux des autres régions ne sont pas mieux lotis cependant. A Maroua, dans l'Extrême-Nord, le taux d'accès à l'électricité est de 11,8%. Il est de 16,6% à Garoua, dans le Nord, et 25,5% à Ngaoundéré, dans l'Adamaoua (Tchatat op cit.). Avec le rythme de croissance démographique actuel, si aucune investigation n'est faite, la population n'ayant pas accès à l'électricité va presque doubler dans une dizaine d'années pour certaines régions – particulièrement à l'extrême-Nord et à l'Est où le manque d'infrastructures est cruel (Davoc, 2008 ; Tchatat, op cit.). Le tableau 1 donne la proportion de ménage ayant accès à l'électricité entre 1991 et 2011.

Tableau 1. Proportion estimée des ménages ayant accès à l'électricité en 1991 – 2011 (Tchatat op cit.).

	Milieux urbains (%)	Milieux ruraux (%)	Total (%)
1991	63	8,7	29
1998	79,1	22	40,7
2000	79	21	41,3
2005	81,9	21,8	42,8
2006	82,5	22	43,1
2007	83,1	22,1	43,4
2008	83,7	22,3	43,7
2009	84,3	22,4	44,1
2010	84,9	22,6	44,4
2011	85,6	22,8	44,7

- Le manque de formation

En 2008, AES SONEL révélait les principaux problèmes auxquels elle est confrontée (Davoc op cit.): la qualité insuffisante de l'outil informatique de gestion clientèle, l'insuffisance en quantité et qualité du personnel et l'inadéquation entre le profil des agents et le poste qu'ils occupent.

- Les réseaux de distribution non-modernes

Le déficit énergétique que connaît le Cameroun n'est pas simplement le fait de l'insuffisance de la production. Il est aussi en partie dû aux multiples pertes occasionnées par le processus de transport et de distribution. 6,5% de l'énergie produite au Cameroun serait perdu dans le processus du transport, tandis que 29% de cette énergie s'évapore dans les circuits de distribution, du fait notamment de fraudes multiformes et de la qualité des équipements (Investir au Cameroun, 2013). Par ailleurs, selon Moukengue Imano (2015), ces pertes techniques contribuent à 40% du montant des factures des abonnés au réseau public.

Dans le secteur industriel, les technologies utilisées sont souvent vétustes et porteuses de pertes d'énergie importantes. Associées à des coûts de production élevés de l'énergie, cela implique des problèmes importants de compétitivité pour les entreprises.

3.2. Quelques solutions

Face aux maux dont souffre le secteur électrique au Cameroun, l'on pourrait se poser la question de savoir : Que faire pour favoriser l'électrification du pays ? Nous reprenons ici quelques propositions de Ngnikam (2006) :

- Favoriser le développement de nouvelles capacités de production d'électricité en privilégiant certes l'hydroélectricité en vertu de son potentiel, mais tout en visant une diversité des sources de production dans un ratio de 25 à 30% de thermique contre 70 à 75% pour l'hydraulique par exemple.

- Œuvrer en vue de la modernisation et du développement des réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique.

- Mettre en œuvre des mesures permettant d'accélérer l'accès aux services énergétiques modernes, notamment dans les zones rurales.

Il est tout à fait légitime de penser tout particulièrement à l'amélioration de l'accès des services énergétiques en zones rurales. Il faut noter qu'au Cameroun, comme dans plusieurs pays du Sud, la population rurale demeure encore très importante. Une proportion non négligeable habite dans des villages isolés ou dans des habitations dispersées, rendant ainsi l'électrification rurale par raccordement au réseau national très complexe. Les solutions énergétiques décentralisées sont dans ce cas privilégiées à chaque fois que le raccordement au réseau national est jugé très coûteux. Ce développement nécessite néanmoins des capacités technologiques assez avancées. On se heurte ainsi au problème du transfert technologique entre le Nord et le Sud ou à la formation adéquate d'étudiants spécialisés dans les conditions d'exploitations locales dans des structures d'enseignement et de recherche.

- L'électrification décentralisée : énergies renouvelables

Lorsque la distance du site rural au réseau national est importante, l'électrification décentralisée au travers des énergies renouvelables demeure une option idéale. Toutefois, on se heurtera encore à la problématique du transfert de technologies et de connaissances pour permettre aux communes et aux populations locales de s'approprier les techniques.

Les différentes énergies renouvelables (en dehors de l'hydraulique) pouvant être utilisées dans le processus d'électrification décentralisée au Cameroun sont :

➤ l'énergie provenant de biogaz

Par fermentation hors de l'oxygène, les composés organiques (déjections humaines et animales) produisent du méthane appelé biogaz (RECORD, 2009).

➤ l'énergie éolienne

L'utilisation des systèmes éoliens permet de récupérer l'énergie liée au déplacement des masses d'air. Cette énergie récupérée est fonction de la vitesse du vent et de la surface des pâles (UNCC, 2015).

➤ l'énergie solaire photovoltaïque, solaire thermique,

Par l'intermédiaire des cellules photovoltaïques, l'énergie contenue dans le rayonnement solaire est convertie en courant continu basse tension (Slaoui, 2013). Cette solution peut en effet être très bien adaptée dans les régions du Nord Cameroun où les températures avoisinent parfois 35°C à l'ombre (L'Hôte, 2005). Cette alternative permet un service proche du service rendu par le réseau électrique classique au niveau de la qualité de l'éclairage. Néanmoins, elle nécessite un suivi plus important qu'une installation en réseau classique. Elle exige aussi un système de stockage plus conséquent que les systèmes réseaux en vigueur. A titre d'exemple, ces systèmes sont assez répandus pour l'éclairage et l'alimentation audiovisuelle au Kenya, Maroc et Zimbabwe (Davoc, 2008).

Quant à l'énergie solaire thermique, il existe deux principales utilisations :

Les séchoirs solaires qui transforment la chaleur en énergie solaire par interposition d'une matière dense et opaque. Le rendement moyen est de 4 à 6 kWh par mètre carré et par jour en temps clair.

Le chauffe-eau solaire est caractérisé par un capteur solaire avec stockage ou non de l'eau chaude et par la circulation de l'eau chaude. Ces systèmes sont généralement destinés aux milieux urbains.

3.3. Le transfert de technologie

Toutes les solutions qui ont été énoncées précédemment ne sauraient être réalisables si le problème du transfert de technologies ne venait à être résolu. Les chercheurs doivent développer des techniques pour favoriser la gestion de l'eau et l'efficacité énergétique.

Pour un développement local durable, des études doivent être menées pour une optimisation de la gestion de l'eau et de l'énergie. La décentralisation permet également aux communautés territoriales de mieux s'approprier les problèmes inhérents à ces facteurs et de trouver des solutions appropriées, accompagnés, pour cela, par des techniciens issus des structures de formation et recherche ayant intégré les problématiques de gestion de l'eau et de l'énergie dans leurs programmes. Le travail de recherche doit se faire en prenant en compte la définition des besoins et l'impact potentiel sur les communautés. Les étudiants doivent être formés aux technologies susceptibles de répondre à long terme aux besoins des populations camerounaises.

4. Conclusion

Cette synthèse met en évidence les problématiques d'eau et d'énergie au Cameroun mais également des pistes d'amélioration du schéma hydrologique/énergétique national.

Le secteur de l'eau nécessite une réorganisation légale et institutionnelle, une amélioration des compétences de toutes les parties prenantes et un suivi dynamique de la ressource en termes de quantité et de qualité. Compte tenu de la dégradation qualitative de la ressource due à l'urbanisation d'une part et aux activités agricoles d'autre part, il faudrait songer à développer la filière de traitement des eaux.

Quant au secteur de l'énergie, il convient d'envisager une réponse durable au problème d'efficacité énergétique des communautés locales qui passe par le développement d'actions concrètes visant à aider le gouvernement à concevoir des outils réglementaires qui suppriment les gaspillages énergétiques et régulent le secteur de la production ou de la consommation. Il faut diversifier les sources d'énergie et accélérer la diffusion des technologies efficaces, en créant un mécanisme de transfert de technologie souple.

Ces mesures, pour être efficaces, doivent s'adosser sur des structures de formation et de recherche permettant de former des techniciens/experts et d'anticiper sur les problèmes aux fins d'un développement harmonieux et durable, résultat d'une maîtrise de la gestion des problèmes de l'eau et de l'énergie, principaux facteurs du bien être humain dans les pays en développement.

Références

Cheo, AE. Voigt, HJ. Mbua, RL (2013) Vulnerability of water resources in northern Cameroon in the context of climate change. *Environ Earth Sci* 70:1211.

<https://doi.org/10.1007/s12665-012-2207-9>

Davoc (2008) La problématique de l'énergie au Cameroun. 11p

<http://www.davoc.org/documents/resolutions/Actes/Jour3/6-ExposeProblematiqueEnergie.pdf>

Habitat III (2015) Troisième conférence des Nations Unies sur le logement et le développement durable en milieu urbain. Rapport national de contribution du Cameroun. 53p

Ketchemen-Tandia, B (2011) Déterminants hydrogéologiques de la complexité du système aquifère du bassin sédimentaire de Douala (Cameroun). University of Cheick Anta Diop Thesis diss (in French) 211 p.

Khroda, G (1996) Strain, soeial and environmental consequences and water management in most water-stressed systems in Africa, In: *Water Management in Africa and the Middle East, Challenges and Opportunities* (ed. par E. Rached, E. Rathgeber & D. B. Brooks), chapitre 7. 1RDC.

<http://www.idr.cal/books/focus/804/chap7.html>

Kouam Kenmogne Guy-Romain , Hernanie G. Mpakam, Samuel

Ayonghe Ndonwy, Serges L. Djomoudou Bopda et Georges E. Ekodeck (2006)

« Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millenaire pour le développement en Afrique : Cas du Cameroun », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 7 Numéro 2 , mis en ligne le 27 avril 2009, consulté le 30 mars 2020. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/2319> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.2319>

Kringel, R. Rechenburg, A. Kuitcha, D. Fouépé, A. Bellenberg, S. Kengne, I.M.

Fomo, M.A (2016). Mass balance of nitrogen and potassium in urban groundwater in Central Africa, Yaounde/Cameroon. *Sci. Total Environ.* 547, 382–395.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.090>.

L'HÔTE, Y. (2005) Climatologie In: *Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun* [online]. Marseille: IRD Éditions, 2005 (generated 12 mars 2020). Available on the

Internet: <<http://books.openedition.org/irreditions/11550>>. ISBN: 9782709922920.
DOI: <https://doi.org/10.4000/books.irreditions.11550>.

Investir au Cameroun (2013) <https://www.investiraucameroun.com/energie/0305-4172-le-cameroun-perd-6-5-d-energie-electrique-dans-le-transport-et-29-au-moment-de-la-distribution>

Moukengue Imano, A (2015) Problèmes d'électrification urbaine au Cameroun: diagnostic et proposition de solutions curatives. 11p. DOI: 10.13140/RG.2.2.32597.83685

MINEE (1998) Loi N°98/005 Portant régime de l'eau au Cameroun, 79 p

Ngnikam, E (2006) Énergie et écodéveloppement au Cameroun. Observatoire de la viabilité énergétique. Observatoire mondial de viabilité énergétique : Rapport du Cameroun. Disponible sur le site web d'HELIO International, www.helio-international.org. 42p

Ngo Boum Nkot, S. Ketchemen-Tandia, B. Ndje, Y. Envoutou, H. Ebonji, CR. Huneau, F. (2015) Origin of mineralization of groundwater in the Bassa watershed (Douala-Cameroon). J Hydrogeol Hydrol Eng. 4:1–9

Nlend, B. Celle-Jeanton, H. Huneau, F. Ketchemen-Tandia, B. Fantong, WY. Ngo Boum-Nkot, S. Etame, J. (2018) The impact of urban development on aquifers in large coastal cities of West Africa: Present status and future challenges, Land Use Policy, Volume 75, Pages 352-363, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.007>.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026483771830125X>)

RECORD (2009) Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse. 253 p, n°07-0226/1A.

Sigha-Nkamdjou, L. Sighomnou, D. et Lienou, G (2002) Vers une approche globale de la gestion de la ressource comme solution aux crises d'eau des dernières décennies au Cameroun. Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice. Proceedings of the fourth International I-KIHND Conference held at Cape Town. South Africa. March 2002). IA1 IS Publ. no. 274.

Slaoui, A (2013) Electricité photovoltaïque – principes. Editions T.I . <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/energies-renouvelables-42594210/electricite-photovoltaïque-be8579/>

Tchatat, G (2014) Cameroun – Contribution à la préparation du rapport national pour la formulation du livre blanc régional sur l'accès universel aux services énergétiques intégrant le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Rapport final PNUD . 245p

UNCC (2015) L'énergie éolienne en croissance dans le monde.

<https://unfccc.int/fr/news/lenergie-eolienne-en-croissance-dans-le-monde>

Wirmvem, M.J. Ohba, T. Anye Nche, L. Tchakam Kamtchueng, B. Kongnso, W.E. Mimba, M.E. Bafon, T.G. Yaguchi, M. Takem, G.E. Fantong, W.Y. Ako, A.A. (2017) Effect of diffuse recharge and wastewater on groundwater contamination in Douala. Cameroon Environ. Earth Sci. 76, 354. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6692-8>.

Transition énergétique Rêve ou réalité pour les pays en développement ?

Dominique RAKOTO

Maître de Conférence, Institut Supérieur de Technologie Antsiranana – MADAGASCAR
rakoto.dominique@gmail.com

Jusqu'à présent, d'immenses problèmes énergétiques se posent pour les pays en développement, surtout africains et avec encore plus d'acuités pour les pays non producteurs de pétroles. Madagascar est dans le lot. Avec les prix extrêmement fluctuants de ce produit, comment pourrait on imaginer ou projeter « un développement et une stabilité économiques » malgré les efforts des dirigeants ?

Pour une population totale de 25,5 million, Madagascar compte 85% de population rurale très pauvre et dont seulement 10 % ont l'énergie électrique. Et même parmi les 15% restants urbains, seuls près de 50% ont l'énergie à domicile. 95% des Malagasy utilisent du bois énergie en cuisson. 70% des centrales électriques malagasy fonctionnent au gasoil, fuel ou huile lourde contre 30 % en hydraulique. Actuellement, le solaire commence à s'afficher un peu et grignoter du terrain. Et pourtant avec les richesses et ressources énergétiques potentielles du pays sont immenses : Hydraulique : 150 Mw seulement exploités sur 9 000 Mw, solaire : moyenne 2000 (Kwh/m²/an), à plus de 4000 dans le sud, on pourrait, un jour, **transformer caresser** le rêve d'autosuffisance énergétique en réalité. Il serait ainsi possible de s'affranchir, pour un gros pourcentage, de la facture pétrolière.

Imaginons qu'il ne restera plus que 40% pour les centrales thermiques, avec une augmentation de l'ordre de 30% pour le solaire et 40% pour l'hydraulique !! Quelle économie ferait – on ! Même les voitures basculeraient vers l'électrique (*dans l'état actuel des choses, avec le rendement des centrales thermiques il est impensable d'utiliser des voitures électriques à Madagascar*). La vision est certes idyllique mais on peut toujours commencer par rêver.

Les espaces de construction sont disponibles et les sources très favorables. Les acteurs et compétences sont là et la volonté politique également. On peut citer pour les écoles spécialisées : IST, Polytechnique etc... et pour les sociétés : GREEN YELLOW, GC Solar, ANKA etc... Quelques villes ont actuellement des systèmes d'injection directe aux réseaux dont le plus important est d'une puissance de 20 (MW) et d'autres en cours.

Hormis les grands projets étatiques, l'option de petites centrales indépendantes pourrait faire des résultats mais comment faire en sorte que ces 85% bénéficient de l'énergie électrique sans que l'opérateur soit perdant au vu des coûts d'installation? **Le frein est là** et ce sera les moyens financiers. Comment trouver un montage financier viable pour tous les acteurs et bénéficiaires ? Actuellement les institutions ou projets comme EDBM, ONUDI et OMDF sont en train de proposer des modèles de financement. OMDF développe seulement pour l'éclairage rural

Ce sera un travail de longue haleine mais Arriver à faire ces montages transformerait le REVE EN REALITE. Les impacts seront socio-économiques, culturels et environnementaux seront considérables

L'énergie solaire photovoltaïque, une alternative pratique au système de pompage d'eau et l'électricité autonome

Merthon Simon ANDRIAMBEROMANGA

Enseignant de l'Ecole du Génie Civil, Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana

merthon.andriamberomanga@ist-antsiranana.mg

Résumé – L'accès en électricité et en eau potable fait partie d'un indicateur de freinage au développement durable d'un pays. Pour un choix de système de production énergétique quelconque, la vision primordiale à adopter c'est de comment pouvoir couvrir les besoins en eau et en électricité de façon bien précise. Le présent article nous propose le choix du système énergétique afin d'assurer l'alimentation en eau et en électricité d'un ménage. L'utilisation du générateur photovoltaïque comme source d'énergie au groupe moteur-pompe et alimentation électrique domestique, constitue une alternative pratique avec un meilleur rendement pour résoudre de manière pérenne et autonome le problème de manque d'eau et l'électrification en petite ou grande échelle. On trouve aussi dans cet article un aperçu général du fonctionnement du système de pompage et de production d'électricité, avec analyse numérique afin de dimensionner le système d'installation en fonction des divers éléments.

Abstract – The access in electricity and drinking water belongs to an indicator of braking to the durable development of a country. For a choice of system of energy production unspecified, the vision paramount to adopt it is of how to be able to meet the requirements out of water and electricity in a quite precise way. This article proposes the choice of the energy system to us in order to ensure water and the electricity supply of a household. The use of the photovoltaic generator like source of energy to the engine-pump group and power supply domesticates, constitutes a practical alternative with a better output to solve in a perennial and autonomous way the problem of lack of water and the electrification in small or great scale. We find also in this article, the highlights of the operation of the system of pumping and production of electricity, with numerical analysis in order to dimension the system of installation according to the various elements.

Mots clés : Pompage solaire - Dimensionnement - Photovoltaïque - Electricité solaire

INTRODUCTION

L'utilisation d'un système ancestral par l'effort physique tout en tirant de l'eau du puits à l'aide d'un seau d'eau reste encore un défi à relever pour couvrir les besoins en eau potable dans les pays en développement. L'approche par un système de pompage motorisé via de l'énergie propre, disponible, et autonome fait partie d'une alternative pratique pour permettre aux usagers de diminuer la pénibilité de la collecte d'eau voire même le gain de temps pour effectuer d'autres tâches ou activités quotidiennes [1]. Puiser de l'eau dans certains villages nécessite des efforts manuels avec du système de pompe à main [2], mais prenons comme alternative à développer, le système de pompage photovoltaïque qui constitue déjà une solution très prometteuse sur le plan économique d'un pays [3]. Le générateur solaire photovoltaïque (pv), étant choisi comme source d'énergie électrique autonome pour faire fonctionner le système de pompage [4], réside non seulement pour servir ce dernier mais aussi pour l'alimentation électrique d'un foyer en terme d'éclairage ou autres types de charges d'un ménage.

1. METHODOLOGIE ET DESCRIPTION DU SYSTEME ETUDIE

En général, le système de pompage solaire pv est constitué de quatre éléments essentiels dont : le générateur photovoltaïque, le groupe moteur-pompe, les éléments

électroniques de commande et contrôle et le système de stockage en énergie électrique et/ou en eau [4].

1.1. Description et principe de fonctionnement :

Les rayonnements solaires sont captés par des modules solaires pv qui les convertissent en énergie électrique. L'électricité ainsi produite est un courant continu qui pourrait être transformé aussi en courant alternatif selon le besoin.

Cette énergie électrique va servir de l'alimentation du groupe moteur pompe qui va à son tour pomper l'eau vers un réservoir de stockage ou directement vers les espaces de culture afin de résoudre les besoins en eau [1,2].

La figure 1 montre le schéma de fonctionnement d'un système de pompage solaire utilisant un moteur pompe à courant continu (DC) avec ou sans stockage d'énergie électrique (batterie accumulateur DC). La figure 2 par contre c'est pour le système utilisant un moteur pompe à courant alternatif (AC).

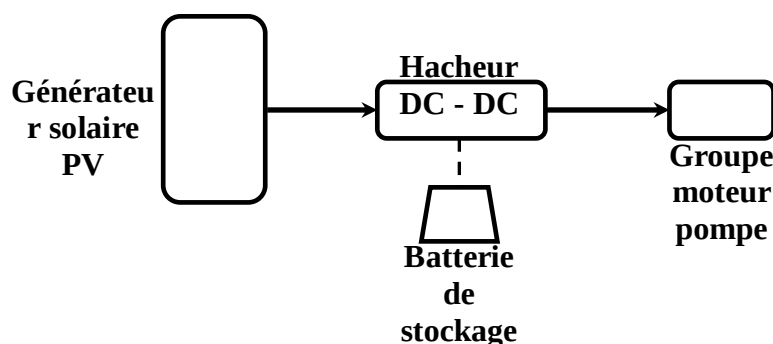


Figure 1 : Système de pompage solaire à courant continu

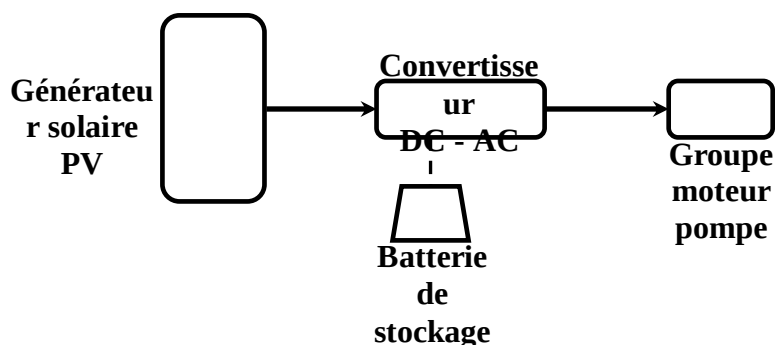


Figure 2 : Système de pompage solaire à courant alternatif

1.2. Système solaire photovoltaïque

Pour pouvoir générer de l'énergie électrique utile pour faire bien fonctionner le groupe moteur pompe, un système à énergie renouvelable dont le solaire photovoltaïque est notre choix. Les modules solaires pv reçoivent de l'énergie solaire et le converti en énergie électrique. Directement à la sortie des modules solaire pv, on trouve du courant continu (DC) et selon les besoins en charges, on pourrait convertir en courant alternatif (AC) par un dispositif appelé « Convertisseur DC/AC » si le groupe moteur pompe fonctionne avec un courant alternatif.

Afin de préserver le bon fonctionnement de notre moteur pompe, il faut respecter l'ordre et la classe de l'utilisation s'il fonctionne en courant continu ou en courant alternatif, et cela est précisé sur la plaque signalétique de l'appareil.

La figure 3 ci-dessous montre le schéma de principe d'un système de pompage solaire avec un puits et réservoir de stockage d'eau à une hauteur au dessus du sol.

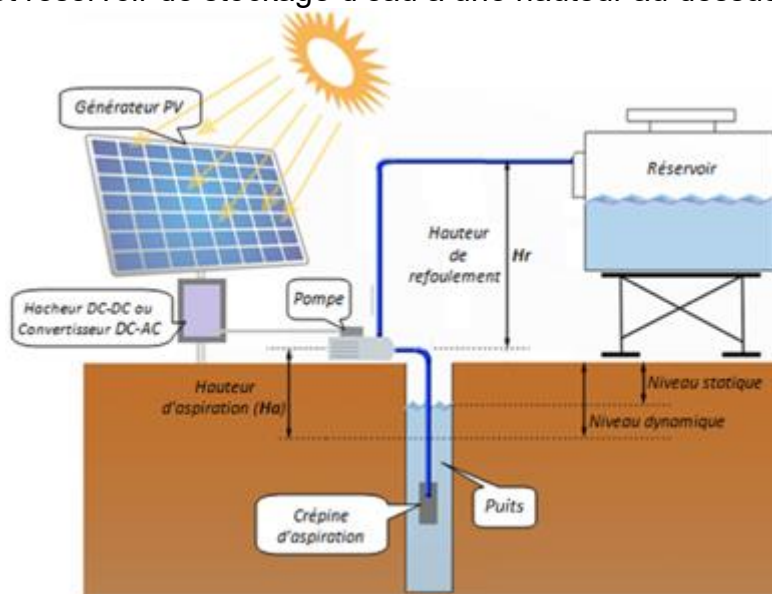


Figure 3 : Schéma de principe d'un système de pompage solaire

2. IRRADIATION SOLAIRE A ANT SIRANANA MADAGASCAR

Pour évaluer et concevoir une étude d'installation d'un système de pompage solaire photovoltaïque, on a besoin primordialement de recueillir les données climatologiques afin de déterminer le bon moment de faire l'exécution du projet. L'irradiation solaire, mesurée en $[kW/m^2]$ c'est l'énergie incidente du soleil qui frappe la surface de la terre. Et l'intensité de cette énergie varie selon la localisation géographique de la terre [4]. L'allure de la courbe représentative de l'irradiation solaire selon les données climatologiques reçues est vue sur la figure 4 ci-dessous :

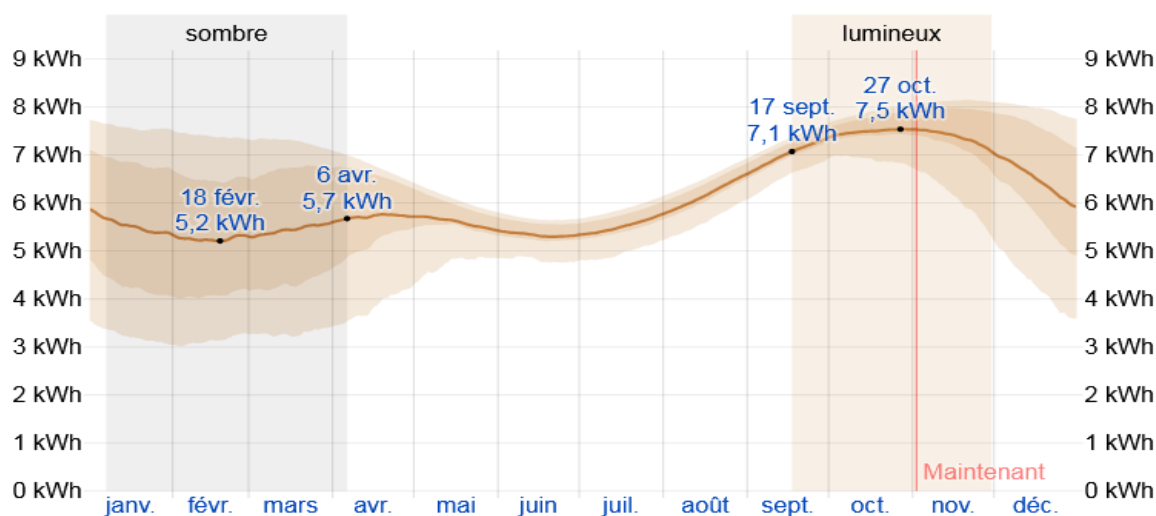


Figure 4 : Courbe de variation d'irradiation solaire annuelle à Antsirana

A l'issu de cette courbe (Fig. 4), les valeurs moyennes de l'irradiation solaire mensuelle sont récapitulées sur le tableau 1 ci-dessous.

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Energie solaire (kWh)	5,5	5,3	5,5	5,7	5,6	5,3	5,5	6,2	7,0	7,5	7,4	6,5

Tableau 1 : Irradiation solaire moyenne mensuelle à Antsiranana

3. EVALUATION DU BESOIN EN EAU QUOTIDIEN DE LA POPULATION

Les principales utilisations de l'eau pour la population sont :

- Le bain quotidien
- La cuisson en cuisine
- La lessive fréquente
- La survie quotidienne des animaux et des végétaux

Afin de déterminer ces besoins en consommation, on doit considérer les paramètres tels que le niveau de vie, l'environnement et les conditions climatiques de la région [5].

Population	Besoin journalier (l)	Observation
Humain	5 - 10 l	Survie humaine d'une personne
	35 l	Condition de vie normale d'une personne en Afrique
Animal	5 l	Chèvre et/ou Mouton
	20 l	Porc

Tableau 2 : Besoin moyen en eau journalier d'une personne et d'un animal

Ainsi, pour un cas d'un ménage bien précis, on pourra déterminer les besoins quotidiens en eau à partir de ces données récoltées suivant le Tableau 2.

4. DETERMINATION DE PUISSANCE DE POMPE A UTILISER

Pour avoir un très bon rendement de production de pompage afin de satisfaire les besoins en eau d'un ménage ou population définis, il faut arriver à dimensionner correctement la puissance de la pompe installée.

Les propriétés ou caractéristiques d'une pompe sont donnée par les constructeurs et le choix varie selon les caractéristiques des besoins étudiés à l'installation du système [3].

Les formules classiques pour calculer et déterminer la puissance utile et nominale d'une pompe à eau sont stipulées par :

$$P_u = H_{mt} \times Q \times \rho \times g \quad (1)$$

où : P_u , la Puissance utile en **W**
 H_{mt} , la Hauteur manométrique ou géométrique totale en **m**
 Q , le Débit en **m³/s**
 ρ , la masse volumique de l'eau qui est égale à **1000kg/m³**
 g , la constante gravitationnelle qui est égale à **9,81**

$$P_n = \frac{P_u}{r} \quad (2)$$

où : P_n , la Puissance nominale en **W**
 r , le rendement d'une pompe, estimé à **50%** soit **0,5**

5. RESULTATS DE L'ETUDE DE CAS

Les résultats d'une étude de cas d'un ménage résidant à Mangaoka situé à 25km de la ville d'Antsiranana, sont énumérés ci-dessous :

5.1. Les données recueillies :

Un ménage à 08 personnes ayant 05 moutons et 04 chèvres, 01 puits de 1m de diamètre et 6m de profondeur.

5.2. Estimations et réalisation du projet de pompage solaire pv :

Désignations	Valeurs estimées	Observation
Besoin en eau quotidien	0,45 m ³ /j	Résultat enquêté
Réservoir de stockage	0,5 m ³	Estimé et installé
Hauteur du réservoir	5 m	Estimée et installée
Panneau solaire pv	200 W	Un module installé
Régulateur simple	12-24V 30A	Une unité installée
Batterie solaire à gel	12V - 100Ah	Une unité installée
Convertisseur DC/AC	500 W	Une unité installée
Puissance du moteur pompe	350 W	Une pompe à courant alternatif installé
Lampe LED	12V	Deux lampes à courant continu

Tableau 3 : Résultats d'étude d'installation d'un pompage solaire pv à Mangaoka

6. CONCLUSION

Dans cet article, on a souligné que l'utilisation de l'énergie renouvelable, en particulier le solaire photovoltaïque, pour le système de pompage de l'eau potable pour une population ou ménage bien déterminé, est une alternative pratique et pérenne afin de réduire le problème de manque d'eau et surtout d'améliorer les conditions de vie meilleures des usagers.

Avec un choix de l'utilisateur sur le système de stockage soit en énergie électrique ou en stockage d'eau dans un réservoir, ou en se basant sur les deux systèmes à la fois, on trouve un résultat pertinent sur le confort avec une autonomie en électricité de

puissance basse ou moyenne et en stockage d'eau pour une utilisation propre pour un ménage.

Dans notre cas, on n'a pas envisagé de vendre de l'eau sortie du stockage car nous avons un puits ouvert et accessible à tous les environnants.

REFERENCES

- [1] S. Meunier, "Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque pour les communautés rurales des pays en voie de développement", ARRAS – 30 mai-1er juin 2017, JCGE 2017
- [2] WaterAid, "Handpumps Technical Brief," 2013.
Available at :
<http://www.wateraidamerica.org/files/attachments/Handpumps.pdf>.
- [3] S. S. Chandel, M. Nagaraju Naik, and R. Chandel, "Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 1084–1099, Sep. 2015
- [4] M. T. Boukadoum, A. Hamidat et N. Ourabia, "Le Pompage Photovoltaïque", *Rev. Energ. Ren. : Zones Arides* (2002) 69-73
- [5] M. Saïdou, K. Mohamadou and S. Gregoire, "Photovoltaic Water Pumping System in Niger", *Application of Solar Energy* 2013

Atelier Traitement de l'eau

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des différents mélanges des déchets organiques

Ayoub DOUGHMI, Ghizlane ELKAFZ, Fatima BENRADI, Essediya CHERKAOUI,
Mohamed KHAMAR & Abderrahman NOUNAH

Laboratoire Génie Civil et Environnement (LGCE), Salé, Maroc
Université Mohammed V de Rabat

Résumé

Le Maroc produit annuellement environ 62 millions de tonnes (MT) des déchets organiques, dont 52 MT sont des résidus de l'agriculture (15 MT fumier de bovin et 8 MT fumier fiente de volaille), 8,3MT sont des déchets ménagers et 3 MT sont des déchets d'industrie agro-alimentaire dont 600000 à 700000 tonnes sont des déchets d'huile d'olive (grignons). Le rejet de ces déchets sans aucun traitement contribue à détériorer l'environnement, d'ailleurs, une bonne partie de ces déchets demeure toutefois valorisable, ce qui réduirait à la fois le volume des déchets à éliminer et le coût de gestion associés, ce qui aura comme impact la diminution du coût de dégradation de l'environnement, et assurer une transition vers une économie circulaire.

Notre travail s'est orienté vers la valorisation des grignons par compostage, en le mélangeant avec différents pourcentages des déchets verts (gazon), des déchets ménagers organiques et des fientes de volailles. Les résidus du processus de fermentation peuvent être valorisés dans l'agriculture.

Ainsi, une fois les mélanges sont préparés, et avant le commencement du procédé de compostage, une caractérisation physico-chimique (pH, Température, conductivité...) et bactériologique (indicateurs de la pollution fécale, FMAT, champignons...) des différents pourcentages ont été réalisés.

Mots clés : grignons d'olives, compost, déchets verts, déchets ménagers organiques, fiente de volaille, caractérisation physico-chimique et bactériologique.

Introduction

Le Maroc compte parmi les grands pays producteurs d'olives avec une production annuelle de 1.414.000 tonnes. La production nationale de l'huile d'olive est estimée à 142.000 t/an en moyenne entre 2015 et 2019 (Ministère de l'agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, 2021).

L'accroissement de cette production et l'introduction des techniques modernes pour l'extraction de l'huile au cours de la dernière décennie ont placé l'olivier dans une position délicate de pollueur potentiel. La problématique environnementale des margines et des grignons d'olives demeure entière dans les pays oléicoles et plus particulièrement dans les pays des rives Sud de la Méditerranée tel que le Maroc, qui connaissent de vastes programmes de plantation et de modernisation du secteur industriel pour l'accroissement et l'amélioration de la qualité de leur production oléicole. Ainsi, la nécessité de trouver des solutions efficaces et réalisables dans ces pays oléicoles en voie de développement a amené le Conseil oléicole international, en partenariat avec le Fonds commun pour les produits de base, à s'intéresser à ce problème environnemental désormais inquiétant pour toute la rive méditerranéenne.

D'autre part, les pratiques agricoles intensives contribuent à appauvrir les sols en matière organique. Cette déperdition en matière organique provoque une diminution de la stabilité structurale des sols, une diminution de la rétention des polluants (organiques ou minéraux), et l'une des réponses à ces divers problèmes des sols est l'apport de matières organique exogènes.

Pour lutter contre ces problèmes environnemental et agronomique, il existe de différentes solutions parmi lesquelles s'inscrit le compostage. En effet, la richesse en

matières organiques des grignons justifie cette méthode qui pourrait créer des liens entre la gestion de ces sous-produits oléicoles et l'agriculture.

Le compostage est une des solutions proposées afin de valoriser les déchets d'huileries d'olive (en particulier les grignons). Il a été prouvé que le compostage des déchets oléicoles donne un compost de très bonne qualité. Le compostage a pour but la transformation aérobie des matières organiques en substances humiques, tout en détruisant les parasites et les microorganismes pathogènes (Hay et al, 1996).

En plus l'utilisation du compost en agriculture aide à la protection des sols par une diminution d'utilisation d'engrais chimique.

C'est dans ce cadre que ce travail met l'accent sur la valorisation des sous-produits de l'industrie oléicole. Il s'agit de valoriser par compostage les grignons d'olives issus du système traditionnel afin d'évaluer la qualité agronomique de ces grignons pour son utilisation comme amendement des sols. Pour cela, on a confectionné 13 barils de composition différent à base de grignons d'olive associés aux différents pourcentages de déchets ménagers organiques, fiente volaille et des déchets verts.

Matériels et méthodes

Les olives triturées sont originaires de la ville Tiflet, c'est une ville de la province de Khémisset, dans la région Rabat Salé Kénitra.

Les grignons utilisés dans cette étude ont été collectés d'une unité de trituration avec un système traditionnel basé sur le pressage manuel de la pâte, et la séparation naturelle de l'huile des margines par décantation.

Déchets organiques	Grignon d'olive 100%	Déchets verts 100%				Déchets ménagers organiques 100%				Fiente de volailles 100%			
Mélanges		GG 1	GG 2	GG 3	GG 4	GD 1	GD 2	GD 3	GD 4	GF 1	GF 2	GF 3	GF 4

Tableau 1 : présentation des mélanges des composts

Caractérisation physico chimique

Pour effectuer la caractérisation physico-chimique des mélanges, un échantillon représentatif est séché dans une étuve à 60°C, broyée et tamisée à 0,2 mm pour déterminer le pH, la conductivité électrique (CE), mesurer par un pH mètre et un conductimètre bien étalonnés.

La teneur en humidité est déterminée en séchant l'échantillon à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Pour la matière organique, un échantillon séché à l'étuve est brûlé à 525°C pendant 4h (Rodier et al, 2009).

Caractérisation microbiologique

Dans le premier lieu pour la préparation de la solution mère, deux grammes de chaque mélange ont été mis en suspension dans 18 mL de l'eau distillée stérile. Dilutions en série de chaque suspension (de 10^{-1} jusqu'à 10^{-9}).

Les micro-organismes ont été dénombrés par la méthode NPP à 3 tubes pour les coliformes totaux sur milieu BCP dans le test présomptif à 37°C, et sur milieu BLBVB pour les coliformes fécaux et sur l'eau peptonée pour E.Coli dans le test confirmatif à 44°C, et par dénombrements sur gélose sur PCA pour l'isolement de la flore mésophile aérobie totale à 30°C et la flore thermophile à 44°C, sur MRS pour l'isolement des

bactéries lactique à 30°C, et sur gélose Sabouraud au chloramphénicol à 0,5 g/L pour les champignons (levures et moisissures), et sur S-S Agar pour déterminer la présence des Salmonelles à 37°C. Les données étaient exprimées en unités formant colonie (UFC/g).

Résultats et discussion

Paramètres physico chimiques

Le pH des 4 déchets utilisés sont acides. Le pH des grignons (5,05) ceci rejoint le résultat de l'étude des grignons d'olives qui ont un pH de l'ordre de 5,9 pour les grignons issues du système à deux et trois phases et de 6,04 ceux issues du système traditionnel (Ameziane et al., 2018). Cependant, pour la fiente des volailles le pH est neutre (7,52) qui reste presque identique à celui du fumier des volailles (7,6) (Bernal et al., 2009).

Tant qu'amendement du sol, ce pH est favorable pour l'assimilation d'azote, phosphore et potassium, ce qui est nécessaire pour le développement des plantes (Nefzaoui et al., 1985). Aussi, le développement des bactéries et des champignons responsables de la dégradation de la matière organique est assuré lors d'un pH est proche de 6 à 8 ou légèrement acide (Mennane et al., 2010). Un pH proche a été observé dans une étude italienne sur l'utilisation des déchets solides oléicoles comme amendement du sol (pH=6,6) (Nasini et al., 2013).

La conductivité des déchets ménagers organiques est très basse avec une valeur de 0,715 mS/cmelle est largement dépassé par les autres déchets surtout par les déchets verts qui ont une conductivité qui dépasse 3 mS/cm, et d'une valeur de 1,77 mS/cm pour les grignons d'olive qui est très proche de celle trouvée par Ameziane et al., 2020 ($1,883 \pm 0,56$). L'humidité quant à elle est élevée pour le gazon et les déchets ménagers organiques avec des valeurs supérieures à 80%, contrairement aux grignons d'olives et à la fiente des volailles qui ont respectivement une humidité égale à 26,5 % et 15,7 %. La perte au feu de tous les déchets est au-dessus de 79%, celle des grignons d'olives est la plus élevée, elle est égale à 92,35% par contre une étude faite par Ameziane et al., 2020, ont trouvé que les grignons d'olive ont une teneur en matière organique de ($77,02 \pm 0,08$) et ($63,75 \pm 0,28$) pour la fiente des volailles.

Les résultats de l'analyse physico-chimique des échantillons sont regroupés dans les figures 1 et 2.

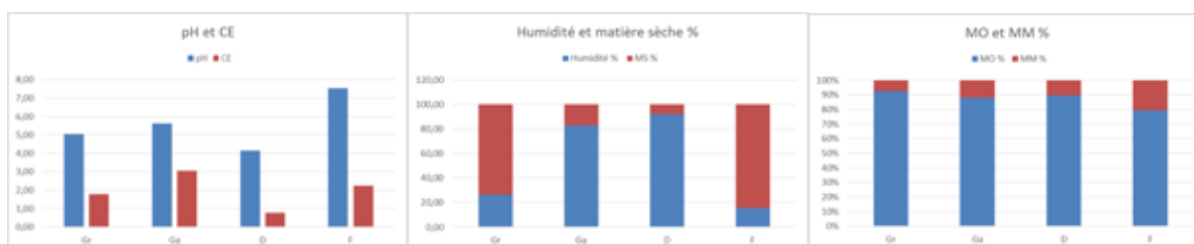


Figure 1 : caractérisation physico chimique des déchets organiques



Figure 2 : caractérisation physico chimique des différents mélanges des déchets organiques

Paramètres microbiologiques

Dans le processus de compostage, les micro-organismes jouent un rôle clef. La présence de certaines espèces reflète les qualités d'un compost mature (Ryckeboer et al., 2003).

Les grignons d'olive ont été principalement colonisés par la flore mésophile aérobie totale, y compris les bactéries lactiques, champignons et coliformes totaux.

Cette étude révèle que ces déchets contiennent une quantité assez riche avec une charge microbienne importante. (Figures 3 & 4).

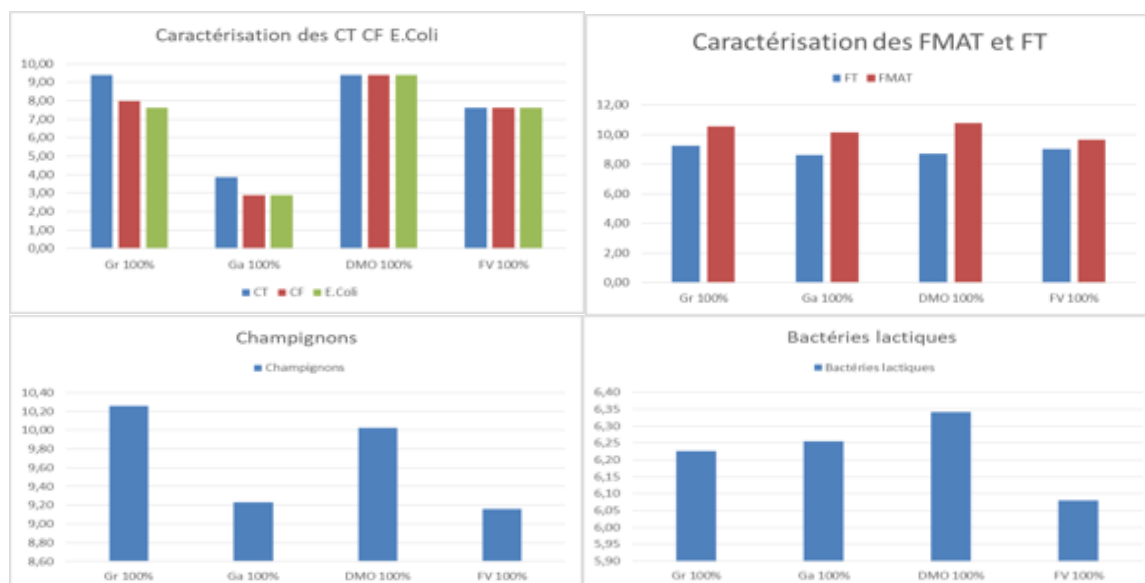


Figure 3 : caractérisation microbiologique des déchets organiques

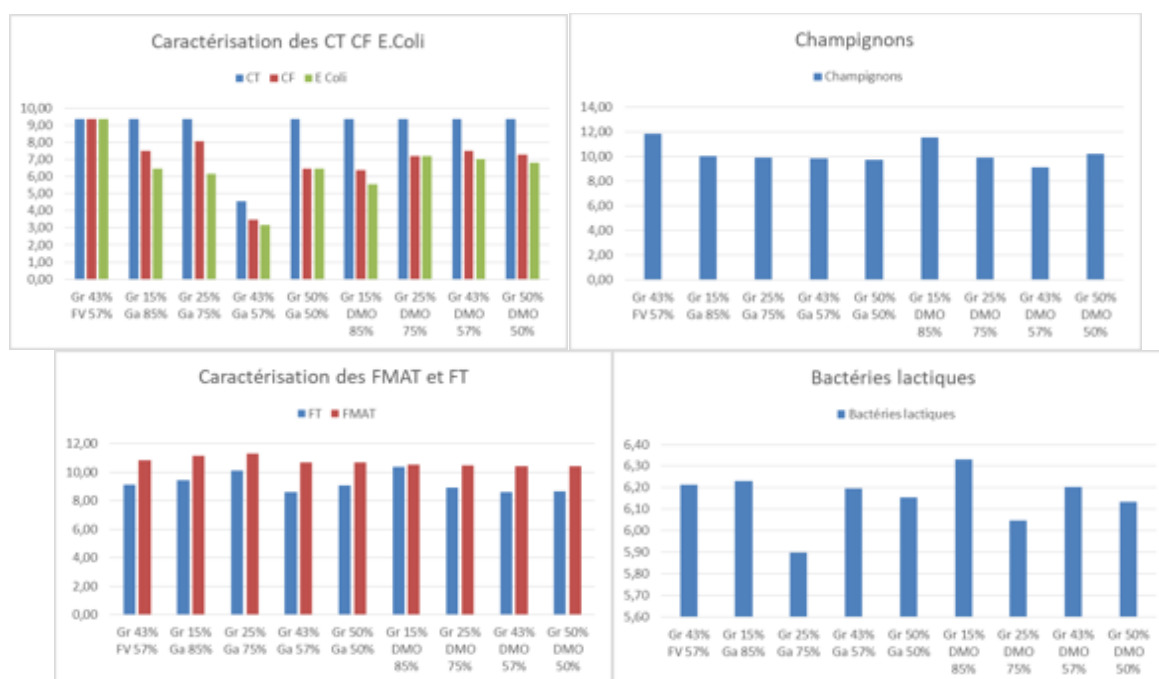


Figure 4 : caractérisation microbiologique des différents mélanges des déchets organiques

Ces résultats sont presque similaires à celle rapportée par (Mennane et al., 2010). La flore mésophile aérobie totale des échantillons a atteint des valeurs élevées pour le mélange des grignons avec les déchets verts. Selon les auteurs, c'est probablement favorisée au contact du sol et dans l'exposition des contaminants microbiens, ainsi que dans la multiplication des micro-organismes au niveau des opérations de trituration et de pressage des olives et un stockage prolongé à l'air libre dans les moulins à huile (Boutiche et al., 2020). Ils ont également constaté que les olives sont chargées de micro-organismes tels que : champignons et bactéries lactiques qui présentent un intérêt technologique. De même, il existe une grande variété de filaments champignons dans des substrats mal analysés au temps présent, comme l'olive, la pâte et les grignons d'olive. (Baffi et al., 2012)

La flore fongique commence avec une concentration bactérienne au début du processus du compostage et commencera à diminuer lors de la fermentation, ensuite va augmenter pour dégrader les substances qui n'ont pas été dégradées par les bactéries. Les populations de champignons montrent une diminution en début de compostage suivie d'une augmentation en fin de processus. (Tiquia et al., 2002)

La présence de micro-organismes pathogènes dans les déchets compostés peut représenter un risque potentiel de contamination des plantes récoltées sur les parcelles où ont été épandus les composts issus du traitement de ces déchets. L'utilisation agronomique de composts urbains requiert la validation de leur efficacité agronomique mais surtout l'assurance de leur innocuité environnementale et sanitaire. Pour garantir la qualité des composts utilisés en agriculture, les normes concernant les amendements organiques, fixent des valeurs seuils pour certains germes pathogènes pouvant être à l'origine de toxi-infections alimentaires comme les Salmonelles ; La présence des Salmonelles est considérée comme le problème majeur et spécifique de la qualité hygiénique du compost et les microorganismes indicateurs de traitement tel qu'*Escherichia coli* (Yanko, 1995; Hussong and Burge, 1985; Brinton and Droffner, 1994; Hay, 1996). Les critères microbiologiques et les méthodes analytiques utilisés dans ces normes correspondent à ceux des normes alimentaires (Houot et al., 2009).

Conclusion

Le suivi des caractéristiques physico-chimiques des composts des grignons d'olives nous a fait comprendre que plusieurs paramètres (variation du pH, diminution de l'humidité et de la matière organique...) et procédures sont à prendre en compte pour obtenir de meilleurs résultats et une réussite du processus de compostage.

Le suivi des paramètres microbiologiques reste une étape très importante et primordiale dans le but de savoir les différents phases et mécanismes de croissance des différents microorganismes qui influencent l'évolution du compost vers la maturité. A la fin du procès de ce compostage, les indicateurs de pollution comme les salmonelles et les Coliformes totaux, fécaux et *E. Coli* vont diminuer pour ne pas causer des risques.

Références bibliographiques

- Baffi, M.A.; Romo-Sanchez, S.; Ubeda-Iranzo, J.; Briones-Pérez, A.I. Fungi isolated from olive ecosystems and screening of their potential biotechnological use. *New Biotechnology* 29 (2012) 451-456.
- Bernal M.P et al. / *Bioresource Technology* 100 (2009) 5444–5453.
- Boutiche M., Sahir-Halouane F., Meziant L., Boulaouad I., Saci F., Fiala S., Bekrar A., Mesbah R., Abdessemed A., Characterization and valorization of olive pomace for production of cellulase from

- Trichoderma reesei* RUT C30 in solid-state fermentation, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 6:2 (2020) 1381-1387.
- Brinton, W.F., Droffner, M.W., 1994. Microbial approaches to characterization of composting process. *Compos. Sci. Util.* 2, 12-17.
- Hay, J.C., 1996. Pathogen destruction and bio-solids composting Biocycle, *J. Waste Recycl.* 46, 67-76.
- Houot S., Philippe Cambier, Marjolaine Deschamps, Pierre Benoit, Guillaume Bodineau, et al.. Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2009, 5, pp.69-81. fffhal- Salmaoui, S. Physico-chemical and microbiological characterization of the olive residue of 26 traditional oil mills in Beni Mellal (Morocco). *Les technologies de laboratoire* 5 (2010) 4 -9.
- Nasini L., G. Gigliotti, M.A. Balduccini, E. Federici, G. Cenci, P. Proietti,. Effect of solid olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (*Olea europaea* L.) tree activity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2013, 164, 292-297.
- Nefzaoui A., Valuation of lignocellulosic residues in the diet of ruminants by treatment with alkali, Application to pomace oil, Catholic University of Leuven, 1985, Pp: 345.
- Rodier J., B. Legube, N. Merlet, *L'Analyse de l'eau*, 9 th (Edn.), Dunod, Paris, 2009.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K. & Swings, J. 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology* 94, 127-137.
- Sabine Houot, Philippe Cambier, Marjolaine Deschamps, Pierre Benoit, Guillaume Bodineau, et al.. Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains. *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2009, 5, pp.69-81. fffhal-01192045f.
- Tiquia, S. M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology* 99, 816-828.
- Yanko, W.A., 1995. Enumerating Salmonella in biosolids for compliance with pathogen regulations. *Water Environ. Res.* 67, 364-368. 01192045.
- Hussong, D., Burge, W.D., 1985. Occurrence, growth and suppression of Salmonella in composted sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 887-893.
- Mennane, Z.; Tada, S.; Aki, I.; Faid, M.; Hassani, S.;

Impact du projet de dépollution sur la qualité environnementale au niveau de Rabat-Salé

Soraya EL HAMDOUNI, Yousef IDRISSE, Essediya CHERKAOUI, Abderrahman NOUNAH & Mohamed KHAMAR

Civil Engineering and Environment Laboratory (LGCE); Higher School of Technology of Salé, Mohammed V University in Rabat, Morocco
elhamdounisoraya@gmail.com

Introduction

Situé au nord-ouest du continent africain, les deux préfectures de Rabat et Salé appartiennent au Royaume du Maroc et constituent des villes jumelles avec une forte relation historique et fonctionnelle.

Les deux préfectures objet d'étude se situent au sein de la région Rabat-Salé-Kenitra suite au nouveau découpage administratif de 2015. La préfecture de Rabat est la capitale du Maroc ainsi que le chef-lieu de sa région.

Les deux préfectures sont délimitées au :

- Nord : la province de Kénitra
- Sud : la préfecture de Skhirat-Témara
- Est : la province de Khémisset
- Ouest : l'océan Atlantique

La préfecture de Rabat s'étale sur une superficie de 118Km² et est composée de deux communes :

- La commune de Rabat, qui comprend cinq arrondissements : Agdal-Ryad, El Youssoufia, Hassan, Souissi et Yacoub El Mansour.
- La commune de Touarga, où siège le palais royal.

Avec une superficie de 672 km², la préfecture de Salé est composée de quatre communes :

- Deux communes à caractère urbain : Salé (chef-lieu) et Sidi Bouknadel .
- Deux communes à caractère rural : Shoul et Ameer

La commune urbaine de Salé est divisée en cinq arrondissements ainsi fixés en 2003 : Bab Lamrissa, Bettana, Hssaine, Layayda et Tabriquet.

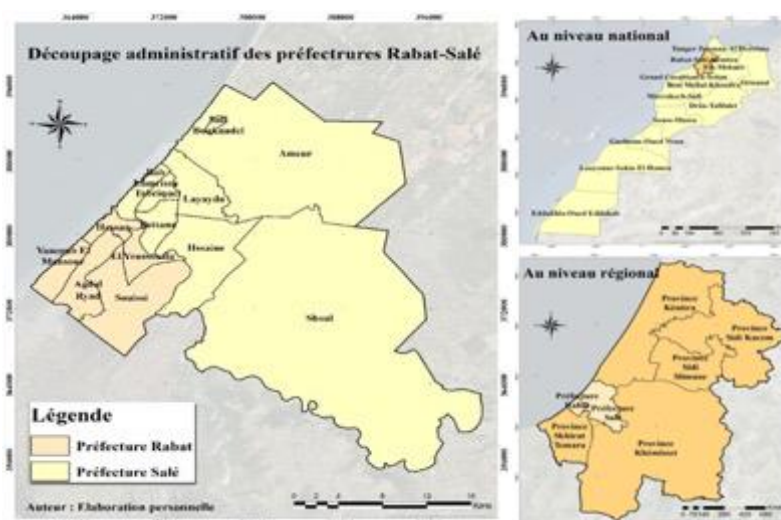


Figure 1 : Situation géographique de la Région Rabat Salé

Les deux préfectures partagent le littoral (Océan Atlantique) et l'Oued Bouregreg. Sur le plan environnemental, le littoral et l'Oued ont été assujettis à de multiples actions de dégradation de leur milieu naturel tel que le rejet des eaux usées, le dépôt des déchets solides, etc. La pollution de l'air est aussi un des problèmes auxquels font face les deux villes¹.

Après le projet d'aménagement de la vallée Bouregreg regroupant le projet de dépollution de l'oued et du littoral qui a vu la lumière en 2006, le lancement du programme intégré de développement urbain de la ville de Rabat, baptisé « Rabat ville lumière, capitale marocaine de la culture » en 2014. Ce projet et ce programme se déclinent sur de nombreux projets spécifiques à chaque secteur pour assurer son aboutissement. Dans notre cas d'étude, nous allons nous focaliser sur la pollution de l'air et la pollution du littoral et de l'Oued Bouregreg ainsi que l'impact des projets :

- Projet de dépollution de l'Oued et du littoral ;
- Programme national d'assainissement liquide et d'épuration des eaux usées ;
- Programme national des déchets ménagers

Dépollution du littoral et de l'Oued Bouregreg

La vallée du Bouregreg subissait les rejets des effluents urbains sans aucun traitement au niveau de l'oued, la prolifération de l'habitat insalubre et l'installation des activités anarchiques, l'existence des dépotoirs d'ordures non contrôlés et de carrière pour l'extraction des matériaux de construction³.

Quant au littoral, il subit également le rejet de l'émissaire des eaux usées au niveau des deux villes.

L'ensemble de ses facteurs ont fait que la vallée du Bouregreg et le littoral nécessitent un intérêt majeur auprès de l'État, des acteurs locaux et de la société civile.

Face à la pollution de l'oued et du littoral et dans le cadre du programme "**Rabat ville lumière, capitale marocaine de la culture**" il a été lancé le projet de **dépollution de l'oued et du littoral** qui entre dans le cadre du projet d'aménagement de la vallée du Bouregreg et du Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA). Dans ce sens il a eu l'interception de la totalité des rejets et l'installation des stations de pompage. Ainsi, la totalité des eaux usées domestiques va être traitée par la station de prétraitement avant d'être rejetée dans l'océan à travers un émissaire de 2 km au nord du côté Salé et au sud du côté Rabat. Ces stations constituent un mécanisme important environnemental elles permettront de respecter les normes environnementales, de valoriser le littoral atlantique et l'estuaire du Bouregreg et d'améliorer la qualité de l'eau de baignade².

Le système de dépollution se base ainsi sur :

Rabat :

- 1 station de prétraitement des eaux usées (2013)
- 1 émissaire marin
- 18 km de collecteurs
- 6 stations de pompage

Salé :

- 1 station de prétraitement des eaux usées (2020)
- 1 émissaire marin (en projet)
- 20 km de collecteurs
- 9 stations de pompage



Figure 2 : Localisation des deux stations de prétraitement des eaux usées

Concernant la qualité des eaux, des analyse physico-chimiques et bactériologiques de l'eau ont été réalisé au niveau de 3 stations sur le littoral de Salé et 3 stations au niveau du littoral de Rabat. la concentration des coliformes fécaux varie entre $24 \cdot 10^8/100\text{ml}$ pour la station proche de l'embouchure contre $75 \cdot 10^6/100\text{ml}$ pour la zone loin de l'embouchure. De même, le DBO_5 passe de $308 \text{ mg O}_2/\text{l}$ contre $217 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Ces analyses ont révélé que la qualité des eaux ont subi une amélioration pour les stations le plus loin de l'embouchure et ceci revient à l'interception et l'élimination de presque la totalité des rejets après l'installation des deux stations de prétraitement. Cependant l'effet de certain rare rejets qui diverse dans l'estuaire reste toujours visible

Gestion des déchets solides

Il est à savoir que le Maroc encadre juridiquement la gestion des déchets solides par le biais :

- Loi 28-00 sur la gestion des déchets solides et la disposition adoptée en 2006 fixant le statut et fournissant le cadre général pour le secteur au Maroc ;
- Décrets d'application et Dahirs portant sur la promulgation de la Loi 28-00, certains sont spécifiques aux flux de déchets solides ;

Concernant les déchets solides, les deux préfectures ont assisté à la fermeture et la réhabilitation des deux décharges sauvages Oulja et Akreuch qui jadis étaient source de nuisance olfactive et de pollution.

C'est avec le Programme National des Déchets Ménagers (PNDM) que va naître le centre de valorisation technique Oum Azza. Lancé en 2007, le centre s'étale sur une superficie de 100Ha et est entouré de 3 centres de transferts. Il traite annuellement 850.000 tonnes de déchets issus des 13 collectivités territoriales de la zone Rabat/Témara/Salé.

Parmi les objectifs majeurs du centre est la protection de l'environnement, cette approche se concrétise par le traitement de 200000m^3 des lixiviats produit annuellement par

l'évaporation naturelle, l'évaporation forcée, l'osmose inverse et le traitement biologique. Il a également développé 4 axes de valorisation des déchets. Le 1^{er} axe est celui de l'ouverture du centre de tri constituée exclusivement des anciens trieurs de la décharge d'Akreuch dans le cadre de la coopérative Attawafouk. Il permet la récupération de 35000T/an des matériaux valorisables soit un chiffre d'affaires de 4500000 Dhs. Le centre de valorisation technique Oum Azza s'est lancé également dans le Programme de collecte, de torchage et de valorisation du gaz de décharge par le biais du Mécanisme de Développement Propre depuis 2015. Ce programme se veut un moyen pour limiter la production des gaz à effet de serre et générer des crédits carbone. Ce programme ne se limite pas uniquement à la réduction de l'émission des gaz à effet de serre, il a également des conséquences générales sur l'environnement et la santé publique.

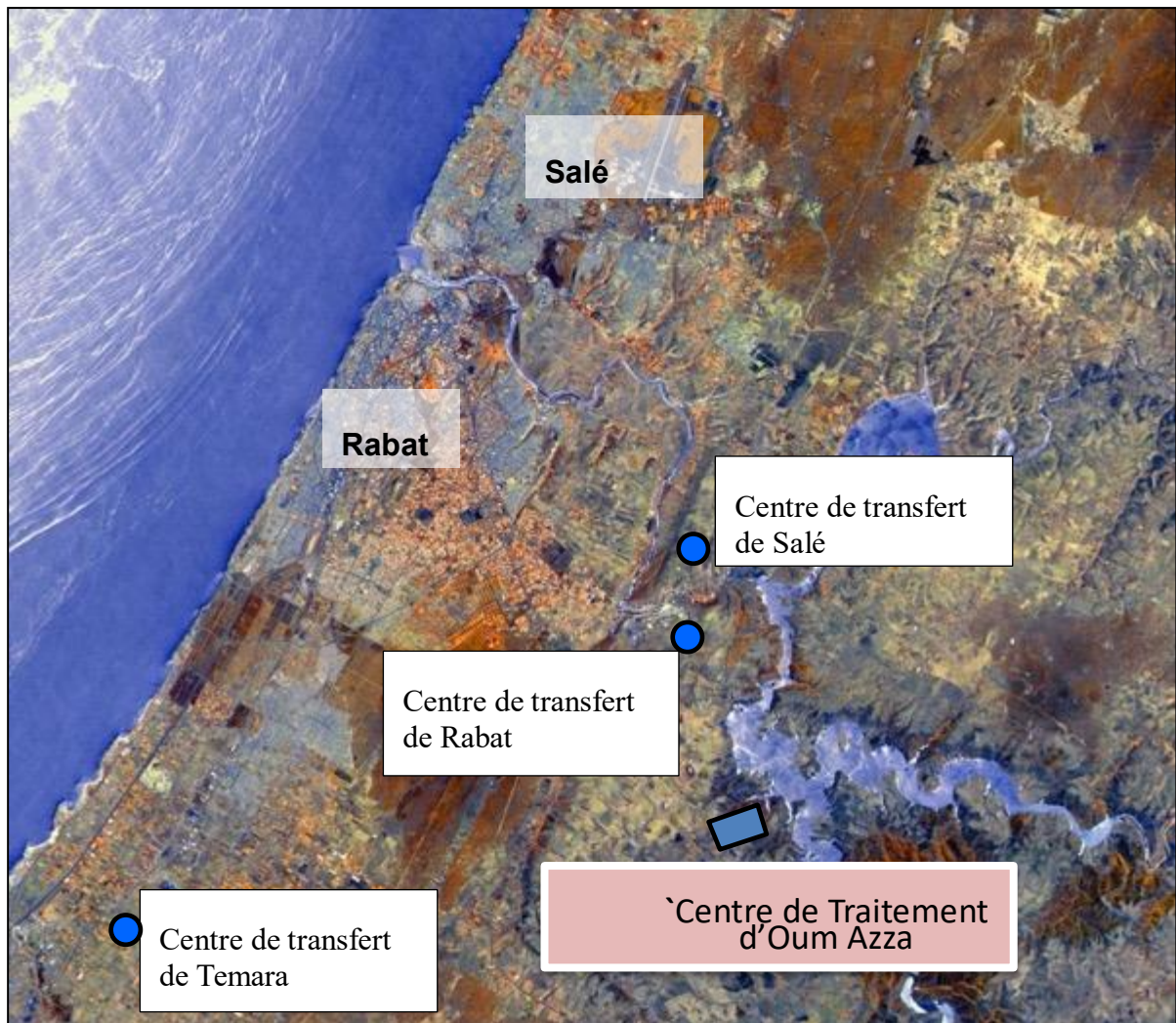


Figure 3 : Localisation du centre de traitement technique Oum AZZA

Pollution de l'air

Les jumelles souffrent de la pollution de l'air causée principalement par les gaz émis par les véhicules. Les deux villes entretiennent une forte relation de complémentarité :

- Rabat étant une ville administrative attractive à l'échelle nationale ;
- Salé joue le rôle de ville dortoir.

Toujours dans le cadre du projet « Rabat ville lumière, capitale marocaine de la culture », il s'est avéré que résoudre la problématique de transport est parmi les piliers de la réussite du projet. Le parc automobile de Rabat Salé a connu une augmentation vertigineuse, ce phénomène a engendré un problème tantôt au niveau de la pollution de l'air tantôt sur la circulation.

Le Tramway de Rabat Salé se veut une des solutions pour répondre aux deux problèmes causés par les véhicules. Inauguré en 2011, le Tramway relie les principaux pôles d'activité au niveau de l'agglomération Rabat-Salé. Il s'étale actuellement sur un linéaire de 20km et est en phase d'extension. Aujourd'hui, le tramway accueille 110.000 voyageurs par jour majoritairement des étudiants.

Mais en vain, l'impact environnemental du tramway sur la conurbation Rabat-Salé reste très timide. Il n'a toujours pas atteint l'objectif de devenir le moyen de transport incontournable pour se déplacer en ville. En effet il s'est ajouté, et ne s'est pas substitué à la flotte automobile.

Il est tout de même très important de souligner que le tramway a un grand impact organisationnel et sécuritaire pour ses pratiquants, il a également facilité l'accessibilité entre les deux jumelles.

Conclusion

Les préfectures jumelles sont en pleine métamorphose, les projets d'aménagement sont structurants sur divers plans. Sur le plan technique et étude, les projets sont très prometteurs, sauf que l'apport de ses projets à l'échelle environnementale demeure encore timide. Ce constat nous mène à divers questionnements, tel que : Est-ce que les solutions proposées par le projet de dépollution de l'Oued Bouregreg et du littoral sont opérationnelles et efficaces ? Est-ce que le mode de transport proposé répond aux attentes sociales, économiques et environnementales ? Est-ce qu'on peut dire que les deux villes Rabat-Salé sont des villes non polluées ?

Bibliographie

1. -CID-LPEE-INGEMA-SEGUR, 2003, Projet d'Aménagement de la Vallée du Bouregreg, Etudes Techniques et d'Infrastructures.
2. Alillouch R. 2019, Le Projet d'Aménagement de la Vallée du Bouregreg. Contexte de Modalités de Conception et de Mise en Œuvre d'un Projet Urbain pour un Site Vulnérable. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/18885-48438-1-PB.pdf>
3. Rapport national, 2018. Ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement, département de l'environnement, Surveillance de la qualité des eaux de baignade des plages du Royaume.

Exploitation de l'eau souterraine issue d'une formation tourbeuse en vue d'approvisionnement en eau potable des communes rurales de Madagascar

Marie Hanitriniaina RATSIMBA⁽¹⁾, Tahiry Haga RATSIMBAZAFY⁽¹⁾,
Jean de Dieu RAMAROSON⁽²⁾, Philippe Antoine ANDRIANARY⁽¹⁾,
Rijalalaina RAKOTOSAONA⁽¹⁾

(1) Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo Madagascar

(2) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique Antananarivo Madagascar

Correspondance : ratsimbamarie@gmail.com

Résumé

Madagascar dispose beaucoup de ressources. L'estimation est de 23057 m³ de ressources en eau exploitables par habitant par an, mais malheureusement, comme tout pays, cette grande île souffre aussi du manque d'eau suite à la déforestation et le changement climatique. A Madagascar, 80 % de l'eau sont utilisées en agriculture, 10% pour la consommation humaine. L'accès à l'eau et à l'électricité est l'une des priorités de l'Etat malagasy actuellement. Avec sa politique « garantir l'accès de tous à l'eau, à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau », l'objectif en 2023 est d'atteindre un accès à l'eau potable de 70% pour la population malagasy. Actuellement, avec un taux d'accès à l'eau potable inférieur à 50%, Madagascar est parmi les derniers dans l'Afrique subsaharienne. Pour faire face à cette situation, la présente contribution a pour objectif d'améliorer l'accès en eau potable à Madagascar en exploitant l'eau souterraine issue d'une formation tourbeuse dans la région Côte Est de Madagascar, commune rurale Foulpointe. Notre méthode comprend les analyses physico-chimiques des eaux souterraines, les essais de traitements, et les analyses des eaux traitées. Les résultats d'analyses ont montré que ce type d'eaux souterraines a une turbidité très élevée, de l'ordre de 970 NTU et est très riche en matières organiques, dépassant les 200 mg/l. Les analyses des eaux traitées ont montré que le traitement par filtration sur des couches alternées de sable-charbon-sable suivi de désinfection avec l'hypochlorite de calcium est efficace et permet d'avoir de l'eau potable respectant les normes, à part le taux résiduel de 27 mg/l de matières organiques, mais ces dernières sont inoffensives pour le cas de la tourbe. Cette étude a montré que l'eau brute issue de formation tourbeuse pourrait donc être exploitée en eau potable par instauration d'un puits de 7 mètres de profondeur en moyenne et muni de système de filtration et de désinfection.

1-Introduction

A Madagascar, ces dernières années, une cinquantaine de projets sont entrepris afin d'améliorer le taux d'accès en eau potable à Madagascar qui est encore inférieur à 50% actuellement (Midi Madagascar, 2020). Le 21 octobre 2021, le Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène de Madagascar et l'UNICEF ont signé un nouveau programme visant l'atteinte de l'ODD (Objectif de Développement Durable) N°6 : Eau propre et assainissement » d'ici 2023.

Parallèlement à ces projets, des recherches sur l'exploitation de différentes ressources en eau à Madagascar sont aussi menées dans cette même vision. RAZAFITSIATOSIKA a étudié l'évaluation des ressources en eau du socle cristallin malgache dans les zones rurales d'Antananarivo (RAZAFITSIATOSIKA, 2008). RABEMANANTSOA a étudié la qualité physico-chimique des eaux de puits de la ville d'Antsirabe (RABEMANANTSOA, 2006). MAHAMOUD Daroussi a fait des études pour une gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant lacustre d'Alaotra, à l'Est de Madagascar (MAHAMOUD, 2010). HOUMADI Zaido Issouf a étudié le traitement d'eau potable des régions de Nosy-Be, au Nord de Madagascar et de Fianarantsoa au Sud (HOUMADI, 2012).

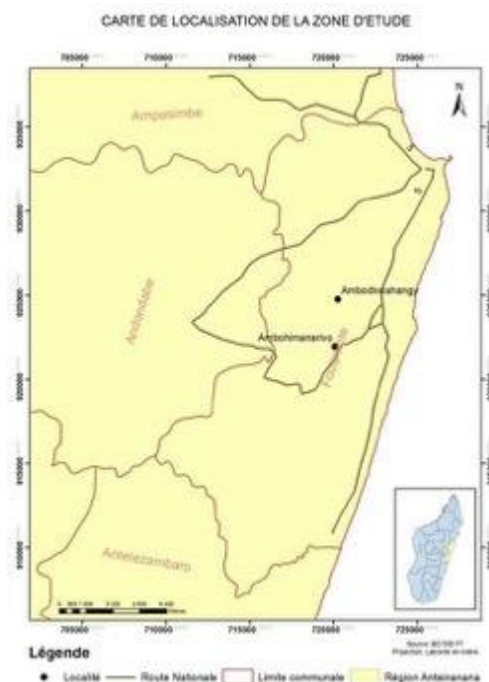
Pour apporter sa part au développement du pays, face à ce problème d'accessibilité en eau potable, le projet Santé de l'ONG française Aide Médicale et Développement a pris naissance en 2012. L'un des principaux objectifs de ce projet est d'améliorer la qualité de l'eau consommée dans la région Est de notre île. Le projet a été confronté à un

problème sur la qualité de l'eau à approvisionner pour deux communes rurales de Foulpointe à L'Est de Madagascar : Ambodivoahangy et Ambohimanarivo, district de Tamatave II car l'eau de ces communes provient d'une formation tourbeuse. La présente étude s'est focalisée alors sur les analyses physico-chimique et bactériologique des eaux, la proposition d'un procédé simple spécialement adapté aux besoins de petites collectivités et la conception d'un ouvrage d'approvisionnement en eau compatible à ces communes rurales.

2 - Matériels et méthodes

2.1- Présentation du cadre d'étude et méthodologie

Le site d'étude se situe à Ambodivoahangy et Ambohimanarivo, dans la commune rurale de Foulpointe, région Est de Madagascar (carte 1). Après des études hydrogéologiques, des sondages de terrain à l'aide de tarière manuelle ont été effectués pour mieux connaître les différentes couches géologiques du milieu ainsi que le niveau statique de l'eau souterraine. Des échantillons ont été prélevés pour les analyses au Laboratoire Qualité-Eau de la société JIRAMA (JiRo sy RANo MALagasy). Un puits a été conçu à l'issue de cette étude.



Carte 1: Carte de localisation de la zone d'étude

2.2 - Descente sur terrain

La descente sur terrain comprend les étapes suivantes : les sondages de reconnaissance, la construction des puits (un par commune rurale) et les prélèvements des échantillons d'eau à analyser.

Quatre prélèvements ont été faits suivant l'avancement des travaux de construction des puits :

*Pour le puits d'Ambohimanarivo :

- Echantillon n°1 : prélèvement à ciel ouvert : au début de la phase de construction du puits

- Echantillon n°2 : prélèvement après la construction du puits. Le puits est muni d'un couvercle en béton avec une petite ouverture pour faire entrer l'oxygène.

*Pour le puits d'Ambodivoahangy :

- Echantillon n°3 : prélèvement après la construction du puits: Le puits est muni d'un couvercle en béton sans aucune ouverture. L'eau est privée d'oxygène ;
- Echantillon n°4 : prélèvement après la construction du puits. Le couvercle en béton est muni d'une petite ouverture pour faire entrer l'oxygène.

2.3 - Analyses au laboratoire

Les principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et des eaux traitées sont analysés par les différentes méthodes normalisées d'analyse des eaux :

- mesure directe à l'aide des appareils de laboratoire pour le pH, la turbidité, la conductivité et la minéralisation et la DBO (Demande Biochimique en Oxygène)
- méthode spectrophotométrique pour les dérivés azotés et les sulfates
- méthode colorimétrique pour les fers
- méthode volumétrique pour les chlorures, matières organiques (MO), les duretés et les titres alcalimétriques de l'eau
- méthode à reflux en système ouvert pour la détermination de la demande chimique en oxygène (DCO). Cela consiste à oxyder les matières oxydables (et en particulier les matières organiques) de l'échantillon par un excès de dichromate de potassium, à l'ébullition (150 °C), en milieu acide et en présence de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorures. A partir de la quantité de dichromate de potassium consommé lors de l'essai, on déduit la quantité d'oxygène équivalente, d'où la détermination de la valeur de la DCO.
- méthode de filtration sur membrane suivie de culture bactérienne pour les quatre germes tests de potabilité de l'eau : coliformes totaux (CT), Escherichia Coli (EC), Entérocoques intestinaux (EI) et Clostridium sulfito-réducteurs (ASR).

2.4 - Essais de filtration

Au cours de cette étude, nous avons conçu différents types de colonne de filtration de 10 cm de diamètre et de 130 cm de hauteur.

Les matériaux filtrants utilisés sont le sable fin et le charbon de bois parce que ces matières premières sont en abondance sur le site et même partout à Madagascar. Le sable est d'abord tamisé et lavé. Pour augmenter la surface spécifique du charbon, les blocs de charbon de bois ont été broyés jusqu'à des granulométries entre 3 à 10mm. Quatre types de colonne de filtration sont préparés lors de nos essais au laboratoire. De bas en haut le long de la colonne, nous avons la succession des couches suivantes :

- premier filtre **F1** : 10cm de sable fin, 20cm de charbon de bois, enfin 10 cm de sable fin. La hauteur totale de ce filtre est de 40cm
- deuxième filtre **F2** : 20cm de sable fin, puis 30cm de charbon de bois, enfin 10cm de sable fin. Et la hauteur totale du filtre est de 60cm.
- troisième filtre **F3** : 10cm de sable fin, puis 40cm de charbon de bois, enfin 10cm de sable fin. En total la hauteur du filtre vaut 60cm.
- quatrième filtre **F4** : 40cm de sable fin, 40cm de charbon de bois, et 20cm de sable fin. Et la hauteur totale du filtre est de 100 cm.

2.5 - Essais de désinfection

La méthode consiste à ajouter à un même volume d'eau des doses croissantes d'hypochlorite de calcium. Le taux de chlore résiduel mesuré au bout d'un temps donné en fonction de la dose ajoutée passe par un minimum appelé Break Point avant d'augmenter régulièrement. Le taux de chlore optimal sera supérieur à ce taux minimal. Au-delà de ce taux optimal, le chlore résiduel sera en quantité supérieure, ce qui est néfaste pour l'homme et l'environnement.

3 – Résultats et discussion

3.1 – Résultats d'analyse des eaux souterraines d'Ambohimamarivo et d'Ambodivoahangy

Paramètres physico-chimiques	Unités	Eau souterraine d'AMBOHIMANARIVO		Eau souterraine d'AMBODIVOAHANGY		Norme de potabilité malgache
		Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	
Aspect et couleur		Très trouble, marron foncée	Brun jaunâtre	Brun jaunâtre	Brun jaunâtre	Limpide et incolore
Odeur		inodore	inodore	inodore	inodore	
Température	°C	20,2	17,9	20,4	18,6	25
Turbidité	NTU	973	4,8	26,9	4,2	< 5
pH		7,3	6,31	9,46	6,96	6,5 à 9
Conductivité	µS/cm	135	92,8	336	277	< 3000
Minéralisation	mg/l	125	86	331	256	
MES	mg/l	424	-	20	-	
Matières Organiques	mg/l	224	27,4	11,2	19,8	< 2
TH	°F	12,4	8,6	27,6	23	
THCa	°F	6	6,7	23,7	18,8	
TA	°F	0	0	0	0	
TAC	°F	3,9	2,1	8,2	3,4	
Ca ⁺⁺	mg/l	24	26,8	94,8	75,2	400
Mg ⁺⁺	mg/l	15,55	4,62	9,48	10,21	50
Na ⁺	mg/l	13,8	8,05	13,8	12,65	150
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	0	0	0	
HCO ₃ ⁻	mg/l	47,58	25,62	100,04	41,48	
OH ⁻	mg/l	0	0	0	0	
Cl ⁻	mg/l	21,3	12,42	21,3	19,52	< 250
Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	mg/l	0,06	0	0,04	0	< 0,5
SO ₄ ²⁻	mg/l	7,03	3,37	12,4	29,99	< 250
NH ₄ ⁺	mg/l	0,31	0,16	0	0,09	< 0,5
NO ₂ ⁻	mg/l	0,04	0,05	1,39	2,18	< 0,1
NO ₃ ⁻	mg/l	4,11	4,09	80,19	120,04	< 50
DCO	mg/l	643,2	-	-	-	
DBO ₅	mg/l	5	-	2	-	5

Tableau 1 : Résultats d'analyse physico-chimique des eaux souterraines

3.2 – Résultats des essais de filtration

A l'issue de chaque essai de filtration, l'aspect, la couleur, la turbidité, et les taux de nitrites, nitrates et des matières organiques sont analysés.

Paramètres	Unités	Eau brute	Filtre F1	Filtre F2	Filtre F3	Filtre 4	Norme de potabilité malgache
Aspect et couleur		Brun jaunâtre	Claire et légèrement jaune	Claire	Claire et légèrement noire	Claire	Limpide et incolore
Turbidité	NTU	4,2	4,7	7,5	15,7	4,6	< 5
NO ₂ ⁻	mg/l	2,18	0,5	0,08	0,4	0,04	0,1
NO ₃ ⁻	mg/l	120,04	19,75	12	18,1	4,74	50
Matières Organiques	mg/l	19,8	15,05	12,8	16,7	9,2	< 2

Tableau 2 : Résultats d'analyse de l'eau après les essais de filtration

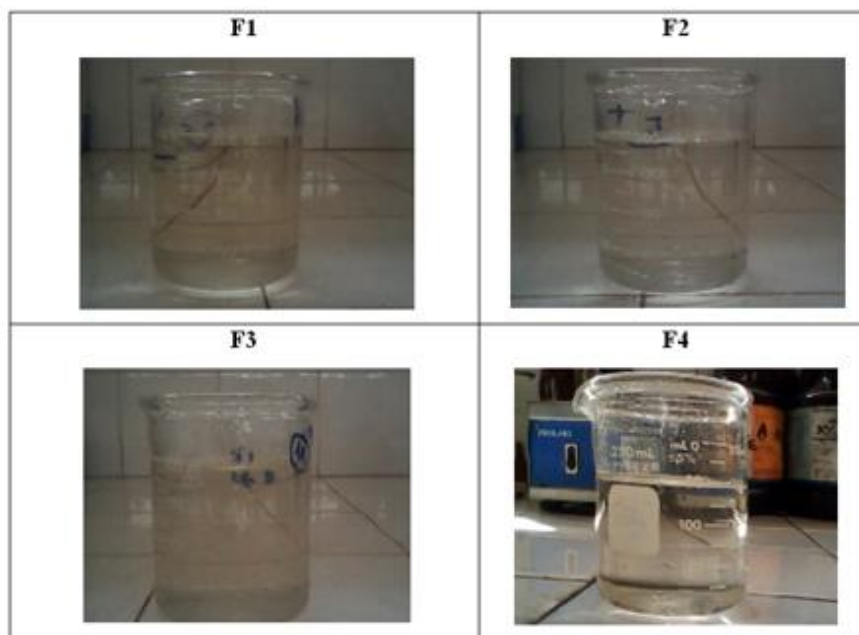


Photo 1 : Eaux filtrées

D'après ces résultats, le filtre F4 est donc le plus efficace.

3.3 –Résultats des essais de désinfection

Le tableau suivant montre les résultats des essais de désinfection en variant le taux d'hypochlorite de calcium.

N° Essai de désinfection	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Taux de désinfectant $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ en [mg/l]	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Chlore résiduel après 30min en [mg/l]	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3	0,4	0,7	1	1,4	1,4

Tableau 3 : Détermination du taux de traitement optimal en hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

D'après la méthode Break-Point, le taux de 5mg/l de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ est le taux optimal pour la désinfection : le taux de chlore résiduel après 30 mn de contact est de 0,4mg/l.

3.4- Résultats d'analyses de l'eau traitée

Le tableau suivant nous montre les caractéristiques de l'eau traitée, après la filtration avec le filtre F4 et après la désinfection avec 5mg/l de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

D'après ces résultats d'analyse, le traitement sur des couches alternées de sable et charbon (Filtre F4) a amélioré la qualité de l'eau. L'eau potable obtenue est prête à la consommation humaine, sans risque à la santé.

Tous les paramètres sont dans les normes à part le taux des matières organiques. Avec notre traitement, les matières organiques sont éliminées à 53,54%. Le taux de 9,4 mg/l dépasse les normes mais les matières organiques issues de l'humus de la tourbe sont inoffensives à l'homme (Rodier, 2009). Une augmentation des épaisseurs des matières filtrantes serait envisageable.

La couleur, les bactéries pathogènes et l'ammonium sont entièrement éliminées. Les nitrites sont éliminés à 98,16 %, nitrates à 96,05% et les sulfates à 31,84%.

Les matières filtrantes n'ont pas d'effet sur le pH, celui-ci est resté neutre. Cependant, ces matières filtrantes, dont la composition physico-chimique est constituée de divers minéraux, ont fait augmenter la minéralisation et la conductivité électrique de l'eau, son alcalinité et sa dureté.

La turbidité a légèrement augmenté. Le lavage du filtre devrait être accentué.

Paramètres	Unités	Eau brute	Eau filtrée avec F4 et désinfectée	Norme de potabilité malgache	Efficacité d'abattement du traitement (%)
Aspect et couleur		Brun jaunâtre	Claire et incolore	Limpide et incolore	Efficace
Odeur		inodore	Inodore		Efficace
Température	°C	18,6	24,3	25	-30,65
Turbidité	NTU	4,2	4,6	< 5	-9,52
pH		6,96	7,28	6,5 à 9	-4,60
Conductivité	µS/cm	277	353	< 3000	-27,44
Minéralisation totale	mg/l	256	297		-16,02
Matières Organiques	mg/l	19,8	9,2	< 2	53,54
TH	°F	23	29		-26,09
THCa	°F	18,8	21,8		-15,96
TA	°F	0	0		100,00
TAC	°F	3,4	12		-252,94
Ca ⁺⁺	mg/l	75,2	87,2	400	-15,96
Mg ⁺⁺	mg/l	10,21	17,49	50	-71,30
Na ⁺	mg/l	12,65	14,95	150	-18,18
CO ₃ ²⁻	mg/l	0	0		100,00
HCO ₃ ⁻	mg/l	41,48	146,4		-252,94
OH ⁻	mg/l	0	0		100,00
Cl ⁻	mg/l	19,52	23,08	< 250	-18,24
Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	mg/l	0	0	< 0,5	100,00
SO ₄ ²⁻	mg/l	29,99	20,44	< 250	31,84
NH ₄ ⁺	mg/l	0,09	0	< 0,5	100,00
NO ₂ ⁻	mg/l	2,18	0,04	< 0,1	98,17
NO ₃ ⁻	mg/l	120,04	4,74	< 50	96,05
Coliformes totaux	N/100ml	Non déterminé	0	0	100,00
Escherichia Coli (EC)	N/100ml	Non déterminé	0	0	100,00
Entérocoques intestinaux (EI)	N/100ml	Non déterminé	0	0	100,00
Clostridium sulfito-réducteurs (ASR)	N/20ml	Non déterminé	0	0	100,00

Tableau 4 : Résultats d'analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau traitée issue du filtre F4

3.5 -Conception de puits

La conception technique de l'ouvrage repose sur la profondeur de puits, l'emplacement de filtre et de réservoir et le périmètre de distribution.

D'après les mesures du niveau piézométrique, la profondeur du niveau de la nappe phréatique de zone d'étude est de 4 mètres en moyenne. Pour éviter le tarissement du puits à l'étiage, l'excavation s'est arrêtée lorsque l'épaisseur de l'eau est de 3 mètres. Compte tenu des résultats des essais de traitement de l'eau et les résultats d'analyse, le puits conçu est muni d'un système de filtration composé de sable et charbon, d'un réservoir de stockage et de désinfection et d'un réseau de distribution. La figure ci-dessous montre la coupe longitudinale de l'ouvrage.

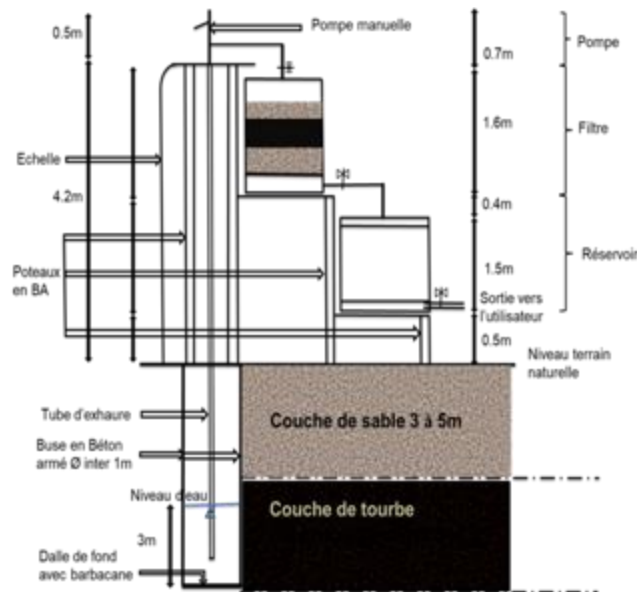


Figure 1 : Coupe longitudinale du puits

Les matériaux filtrants (graviers, sables et charbon) sont maintenus sur un support en béton perforé, à l'intérieur du réservoir de filtration. Ce dernier de dimension 1,6m de hauteur et 1m de diamètre est muni de trois ouvertures : la première pour l'entrée d'eau provenant de la pompe manuelle, la deuxième pour sa sortie vers le réservoir de stockage d'eau, et la troisième qui sert de vanne de vidange. Les détails sur ce réservoir de filtration sont illustrés sur la figure suivante.

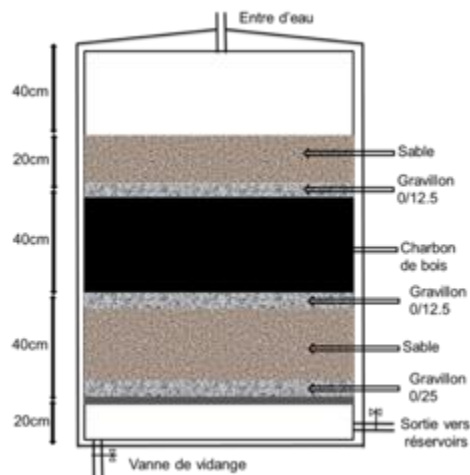


Figure 2 : Réservoir de filtration

4- Conclusion

L'intérêt de cette étude est l'exploitation d'eau souterraine qui est le plus courant pour les projets d'approvisionnement en eau potable des communes rurales malgaches. Cependant, à l'issue d'une formation tourbeuse, celle-ci nécessite des traitements adéquats avant d'être destinée à la consommation humaine. Notre étude a montré que, pour le cas des communes rurales de Foulpointe, à l'Est de Madagascar, les eaux souterraines de formation tourbeuse peuvent être traitées par un système de filtration constitué de bas en haut par 40cm de sable, 40cm de charbon, et 20cm de sable suivi d'un traitement de désinfection avec une dose de 5mg/L d'hypochlorite de calcium. L'eau

traitée peut-être consommée sans danger pour la santé .Ces matières filtrantes sont recyclables, mais la détermination de leur durée de vie, leur entretien seraient l'objet d'une étude postérieure. Comme la plupart des systèmes de filtration, nous supposons que le renouvellement des matières filtrantes serait tous les semestres. Des améliorations peuvent être menées tant par l'utilisation d'autres matières filtrantes que dans la présentation du filtre.

5 - Références bibliographiques

BESAIRIE H., *Contribution à l'étude des sources minérales et des eaux souterraines de Madagascar*.

HOUMADI Zaido Issouf, 2012. *Contribution à l'étude du traitement d'eau potable à Madagascar : Cas de Nosy-Be et Fianarantsoa*, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées Option : Etude d'impacts environnementaux, en co-diplomation entre l'Université d'Antananarivo et l'Université Montesquieu – Bordeaux IV, 67 pages.

Journal Midi Madagasikara, 16 septembre 2020. *Accès à l'eau potable : Plus de 50 grands projets menés par le MEAH dans tout Madagascar*.

LARBALÉTRIER Albert, *La tourbe et les tourbières*, Encyclopedie scientifique des Aide-memoire publiés sous la direction de M. LEAUTE, Membre de l'Institut, MASSON et Cie, Gauthier-Villars, 189 pages.

MAHAMOUD DAROUSSI, 2010. *Modélisation avec Weap 21 en vue d'une gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant lacustre d'Alaotra 2010*, Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies, Option Génie Minéral, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, 67 pages.

RAZAFITSIATOSIKA M. L, 2008. *Evaluation des ressources en eau du socle cristallin malgache dans quelques districts d'Analamanga en vue d'alimenter en eau potable les périphéries d'Antananarivo*. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur, Mention Géologie, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

RABEMANANTSOA E., 2006. *Analyse physico-chimique des eaux de puits de la ville d'Antsirabe*. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies, Option Chimie Minérale, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences.

RODIER J., Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et Coll, 2009. *L'analyse de l'eau*, Ed. Dunod, 9^{ème} édition.

UNICEF Madagascar/2021/Ramasomanana, 21 octobre 2021.

Rural Water Supply Network (RWSN), 2012. *Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages*, 36 pages.

WEHBE Najah, 2008. *Dénitrification de l'eau potable en réacteur catalytique membranaire et photocatalytique*, Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Chimie, secteur Catalyse Et Chimie Physique, Université Claude Bernard Lyon 1, 211pages.

Potabilité des eaux et analyses réalisées

Jean-Noël, JOFFIN

Professeur retraité, Vice-Président de l'ASSITEB-BIORIF,

jnoel.joffin@orange.fr

Résumé

Que ce soit pour l'eau de boisson ou les eaux utilisées dans l'agroalimentaire, celles-ci se doivent d'être sûres : leur composition doit obéir à des critères tant d'ordre chimique pour la composition en ions minéraux, que microbiologique, en particulier l'absence de microorganismes pathogènes, qu'organoleptique ou physique (turbidité en particulier).

Des critères réglementaires : Chaque pays définit des critères pour chaque élément contrôlé et des techniques associées, souvent normalisées. La présentation de ces critères sera réalisée à partir des textes officiels français.

Des analyses chimiques : Les dosages ioniques sont classiques en fonction des normes.

Des analyses microbiologiques : Les analyses microbiologiques ont pour but de déterminer la présence de pathogènes. Malheureusement, les techniques utilisées ne permettent pas d'avoir l'assurance de l'absence de pathogènes. Comme ceux-ci sont avant tout dans les matières fécales, la recherche ou le dénombrement de bactéries d'origine fécale est réalisé, et plus particulièrement *Escherichia coli* (*E. coli*).

Moyens

Dans les pays pauvres

Les techniques utilisées dans les pays pauvres, n'ayant pas les moyens financiers de déployer des laboratoires suffisamment performants et ne disposant pas des fonds pour payer les analyses, la recherche ou le dénombrement d'*E. coli* est souvent la seule analyse réalisée par des techniques très simples utilisant des bouillons utilisables sans autoclavage.

Dans les pays riches

La technique de base et de référence est la filtration qui impose un laboratoire bien équipé, capable de produire des milieux stériles, disposant des moyens de culture et d'identification des microorganismes, possédant des appareils de filtration et des pompes à vide. La filtration permet de récupérer, pour des eaux claires, l'ensemble des microorganismes sur un filtre placé ensuite sur un milieu de culture spécifique qui est ensuite placé dans une étuve à une température déterminée.

Les coliformes (y compris *E. coli*) et les Entérocoques sont les microorganismes d'origine fécale dénombrés. D'autres microorganismes peuvent être recherchés et dénombrés (*Clostridium perfringens*, *Salmonella*, virus, parasites...)

Conclure

L'ensemble des résultats est analysé pour déterminer la potabilité de l'eau, en fonction de différents critères dépendant éventuellement de l'utilisation de l'eau.

Désinfection de l'eau

L'eau peut être analysée avant ou après les traitements de fabrication. Une eau de source n'est en général pas traitée par un désinfectant. Les eaux distribuées dans les réseaux d'adduction sont généralement traitées pour les désinfecter/stériliser et maintenir la qualité microbiologique jusqu'au robinet de l'utilisateur.

Formations professionnalisantes pour les analyses

Les formations de techniciens d'analyse reposent sur les BTS (BTS bioanalyses et contrôles) et les DUT (Biologie appliquée).

Atelier Formation

Contribution de l'IST-D au renforcement de compétences des ingénieurs et techniciens supérieurs en eau, énergie et électrification à Madagascar

Liva Falisoa RAFANOTSIMIVA, Eliasy Andriamanantsoa RAZAFINDRAKOTO,
Pierre TONIZATOVO, Dominique Benoît Marcellin Gérard RAKOTO,
Eric Jean Roy SAMBATRE

Institut Supérieur de Technologie D'Antsiranana, Madagascar
liva.rafanotsimiva@ist-antsiranana.mg

Résumé : La gestion et le traitement de l'eau ; la production, le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie et l'électrification tant urbaine que rurale figurent encore parmi les problèmes majeurs dans les pays en voie de développement comme Madagascar.

Certains parmi les 23 Régions du pays, surtout au Sud de l'île comme la Région Androy et la Région Atsimo Andrefana, sont frappés par le phénomène « kere » qui traduit la famine et la sécheresse presque tous les ans. Dans les grandes villes comme Antsiranana, d'une part, on souffre de manque d'eau et d'autre part, l'eau commercialisée par la JIRAMA, la compagnie nationale de l'eau et de l'électricité malgache, est bouatre durant les périodes de pluie alors que la société prétend que c'est toujours potable. D'ailleurs, peu d'entreprises disposent de système de traitement et/ou de recyclage des eaux usées.

En ce qui concerne le domaine de l'énergie, le bois est encore largement utilisée pour le chauffage et la cuisson surtout en milieu rural.

Quant au taux d'électrification actuel, il n'atteint pas encore les 20% au niveau national malgré les politiques mis en œuvre par l'Etat ces vingt dernières années en instaurant l'Agence de Développement de l'Electrification Rurale.

Conscient de ces problématiques et après études des besoins auprès des professionnels, l'IST-D a ouvert deux offres de formation aboutissant au Diplôme de Technicien Supérieur Spécialisé (grade Licence) : le Parcours « Systèmes à Energies Renouvelables et Alternatives » depuis 2008 et le Parcours « Maintenance des Usines et des Réseaux d'Eau » depuis 2016.

Les étudiants de ces deux Parcours, comme tous les autres étudiants de l'IST-D, font obligatoirement leur stage de mémoire dans les entreprises travaillant dans leurs spécialités respectives. Des enseignants de l'IST-D effectuent des descentes sur terrain à trois reprises pour définir le sujet de stage en concertation avec le responsable du stage au niveau de la société, faire l'évaluation intermédiaire de l'avancement du travail de l'étudiant et faire la pré-soutenance. Les sujets de mémoire sont conçus en tenant compte des besoins de l'entreprise d'accueil, la spécialité de l'étudiant et son niveau académique. Ces missions constituent également des occasions d'échanges avec les cadres d'entreprises et obtenir leurs retours par rapport à la formation dispensée.

Les enseignants de l'IST-D sont aussi regroupés au sein du Groupe de Recherche pour le Développement Durable de Diégo-Suarez (GR3D) qui fait de la recherche appliquée dans plusieurs domaines dont l'eau, l'énergie et l'électrification et travaille en étroite collaboration avec le monde professionnel.

Mots clés : Traitement d'eau, production et transport d'énergie, électrification rurale, Partenariat Public Privé

1. INTRODUCTION

L'Institut Supérieur de Technologie D'Antsiranana (IST-D) est un établissement d'Enseignement Supérieur sous la tutelle technique du Ministère en charge de l'Enseignement Supérieur et sous la tutelle financière du Ministère en charge des Finances à Madagascar.

Toutes les offres de formations proposées par l'IST-D depuis sa création et ouverture découlent des besoins du monde professionnel à travers des enquêtes auprès des entreprises au niveau national. Des visites annuelles d'enseignants sont aussi réalisées à travers les accompagnements d'étudiants en stage de mémoire en entreprise.

Adoptant le système Licence - Master - Doctorat (LMD), l'IST-D est organisé en Domaines (les Ecoles du Génie), Mentions, Parcours et Unités d'Enseignement. L'IST-D comprend trois Ecoles du Génie dont l'Ecole du Génie Industriel, l'Ecole du Génie en Management, Commerce et Services et l'Ecole du Génie Civil et du Génie Naval. Dans ces Ecoles du Génie sont réparties sept (7) Mentions dont la Mention Maintenance et Energie qui traite les aspects relatifs à l'eau, l'énergie et l'électrification à travers le Parcours Maintenance des Usines et Réseaux d'Eau (MURE, grade Licence), le Parcours Systèmes à Energies Renouvelables et Alternatives (SERA, grade Licence) et le Parcours Nouvelles Technologies de l'Electricité (NTE, de grade Master), trois (3) parmi les vingt-cinq (25) Parcours au sein de l'IST-D.

Cet article traite la contribution de l'IST-D dans la formation des Ingénieurs et Techniciens Supérieurs Spécialisés mais aussi dans le renforcement de compétences des Ingénieurs et Techniciens Supérieurs déjà en poste, dans les secteurs de l'eau, de l'énergie et de l'électrification à Madagascar.

Après cette introduction, la section 2 présentera brièvement les Parcours concernés et la méthodologie adoptée. La section 3 présentera les résultats des contributions à travers les travaux de mémoire obligatoires en entreprise et les projets de formation de formateurs réalisés et en cours. La section 4 abordera les discussions à travers l'interprétation des résultats. L'article se terminera par une conclusion.

2. MATERIELS ET METHODES

Les Parcours MURE, SERA, NTE appartiennent tous à la Mention Maintenance et Energie de l'Ecole du Génie Industriel. Nous allons recenser les travaux de mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Technicien Supérieur Spécialisé (de grade Licence) et du Diplôme d'Ingénieur (de grade Master) dans les secteurs de l'eau, de l'énergie et de l'électrification durant les quatre (4) dernières années, de 2016 (année de création et de sortie de la première promotion du Parcours MURE) à 2020 (année de sortie de la promotion la plus récente).

Nous allons aussi recenser les projets de formations de formateurs réalisés et en cours durant ces quatre dernières années.

2.1. Présentation du Parcours MURE

Le Parcours MURE, créé en 2016 en partenariat avec l'IUT de Limousin de l'Université de Limoges – France et à l'initiative du partenariat entre l'IST-D et la JIRAMA (la Compagnie nationale de l'eau et de l'électricité), a pour objectif principal de former des Techniciens Supérieurs Spécialisés (Assistants Ingénieurs) en Maintenance des Usines et Réseaux d'Eau sur deux semestres S5 et S6 avec un Volume Horaire total de 750h (375h par semestre).

Il recrute des titulaires de Diplôme de Technicien Supérieur (DTS) ou équivalent dans le domaine industriel. 30 places sont disponibles par session.

La formation est organisée sur cinq (5) Unités d'Enseignement (UE) dont des UE transversales, des UE de spécialité (microbiologie, chimie, acquisition et traitement de données, traitement des eaux, réseaux d'eau, épuration d'eaux usées, etc.) et une réservée aux applications au métier dont le stage de mémoire de fin d'études, obligatoirement réalisé en entreprise.

Il répond aux besoins des entreprises d'exploitation et de distribution d'eau telle la JIRAMA, mais aussi de celles utilisant beaucoup d'eau telle la Pêche et Froid Océan Indien (PFOI Antsiranana) nécessitant la purification des eaux usées telles la BIOLANDES Madagascar Ambanja, la SACIMEM Antsirabe, etc.

2.2. Présentation du Parcours SERA

Le Parcours SERA, créé en 2008, à l'initiative de Mad'Eole Antsiranana, a pour objectif principal de former des Techniciens Supérieurs Spécialisés (Assistants Ingénieurs) en Systèmes à Energies Renouvelables et Alternatives sur deux semestres S5 et S6 avec un Volume Horaire total de 750h (375h par semestre).

Il recrute des titulaires de Diplôme de Technicien Supérieur (DTS) ou équivalent dans le domaine industriel. 30 places sont aussi disponibles par session.

La formation est organisée sur cinq (5) Unités d'Enseignement (UE) dont des UE transversales, des UE de spécialité (ingénierie des énergies renouvelables, production décentralisée, audit énergétique, efficacité énergétique, électrotechnique et réseaux électriques, etc.) et une réservée aux applications au métier dont le stage de mémoire de fin d'études, obligatoirement réalisé en entreprise.

Il répond aux besoins des entreprises de production et de distribution d'électricité telle la JIRAMA, les opérateurs en énergie renouvelable, mais aussi de celles utilisant les énergies autonomes comme les opérateurs de télécommunication, etc.

2.3. Présentation du Parcours NTE

Le Parcours NTE, créé en 2011, a pour objectif principal de former des Ingénieurs en Nouvelles Technologies de l'Electricité sur quatre semestres S7 à S10 avec un Volume Horaire total de 1800h (450h par semestre).

Il recrute des titulaires de Diplôme de Technicien Supérieur (DTS) ou équivalent avec un minimum de deux années d'expériences professionnelles ou des titulaires de Diplôme de Technicien Supérieur Spécialisé (DTSS) ou équivalent avec un minimum d'un an d'expériences professionnelles dans le domaine industriel. 20 places sont disponibles par session.

La formation est organisée sur cinq (5) Unités d'Enseignement (UE) dont des UE transversales, des UE de spécialité (énergies renouvelables, commande des machines électriques et des convertisseurs statiques, stockage d'énergie, régimes transitoires des dispositifs électromagnétiques, etc.) et une réservée aux applications au métier dont le stage de mémoire de fin d'études, obligatoirement réalisé en entreprise.

Il répond aux besoins des entreprises de production et de distribution d'électricité telle la JIRAMA, les opérateurs en énergie, mais aussi de celles utilisant les énergies autonomes comme les opérateurs de télécommunication, etc.

Les stages de mémoire de fin d'études, pour tous les cycles (Licence et Master) durent 12 semaines en entreprise. Les étudiants font l'objet de trois visites en vue de leur accompagnement. La première visite consiste à la définition du sujet de mémoire avec les responsables du stage en entreprise, appelé l'encadreur professionnel. La deuxième descente consiste à l'évaluation à mi-parcours de l'avancement des travaux. La troisième et dernière rencontre fait l'objet de l'évaluation finale en entreprise, appelée la pré-soutenance. A la fin du stage, les étudiants reviennent à Diégo-Suarez pour la soutenance finale à l'IST-D.

3. RESULTATS

A partir du recensement de tous les travaux de mémoire des trois (3) Parcours concernés durant la période de 2016 à 2020, nous allons regrouper les résultats par rapport à trois critères : l'entreprise d'accueil, la thématique abordée par le sujet et la Région d'appartenance de l'entreprise d'accueil.

3.1. Parcours MURE

Tableau 1 : Répartition des travaux de mémoire en entreprise

N° Ordre	Entreprise	Nombre de stages
1	JIRAMA Antsiranana	16
2	JIRAMA Toamasina	5
3	JIRAMA Mahajanga	5
4	JIRAMA Antananarivo	3
5	JIRAMA Nosy-Be	2
6	JIRAMA Antsohihy	1
7	JIRAMA Mananjary	1
8	Centre Hospitalier Universitaire de Tanambao Antsiranana	6
9	Compagnie Salinière de Madagascar Antsiranana	4
10	Direction Régionale de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène DIANA	3
11	CDA Mahajanga	2
12	SOCOBIS Antananarivo	2
13	Office Régional du Tourisme DIANA Antsiranana	1
14	PECHEXPORT Mahajanga	1
15	AQUALMA Mahajanga	1
16	Ouest Sucre Ambilobe	1
TOTAL		54

Tableau 2 : Répartition par thématique

N° Ordre	Disciplines	Nombre de stages
1	Alimentation en eau (potable, brute, douce)	22
2	Traitement d'eau	10
3	Réseau d'eau	6
4	Maintenance	6
5	Epuración d'eau usée	3
6	Système contre-incendie	3
7	Approvisionnement et exploitation d'énergie	2
8	Production d'oxygène	1
9	Assainissement	1
TOTAL		54

Tableau 3 : Répartition par Région

N° Ordre	Localités	Régions	Nombre de stages
1	Antsiranana	DIANA	29
2	Nosy-Be	DIANA	2
3	Ambilobe	DIANA	1
4	Mahajanga	Boeny	10
5	Toamasina	Atsinanana	6
6	Antananarivo	Analamanga	5
7	Antsohihy	Sofia	1
TOTAL			54

3.2. Parcours SERA

Tableau 4 : Répartition des travaux de mémoire en entreprise

N° Ordre	Entreprise	Nombre de stages
1	CHUT Antsiranana	9
2	EDM Antananarivo	6
3	MEH/MEEH Antananarivo	4
4	Eco-Consult GIZ Antsiranana	4
5	SECREN Antsiranana	3
6	Grand Hôtel Antsiranana	3
7	Mad'Eole Antsiranana	3
8	CHU Toamasina	2
9	Green Energy Toamasina	2
10	DERA Energies SARL Antsiranana	2
11	CHU Toamasina	2
12	Le Relais Madagasikara Fianarantsoa	2
13	COTONA Antsirabe	2
14	SOCOLAIT Antsirabe	2
15	Hôtel de la Poste Antsiranana	1
16	Région DIANA Antsiranana	1
17	ARAFA Toamasina	1
18	ROBERT GILLE Toamasina	1
19	Hôtel Calypso & SPA Toamasina	1
20	Centre Commercial MADAHOUFFI Antsiranana	1
21	SOMAVA Antalaha	1
22	Chambres d'Hôte LEMURIEN COURONNE Antsiranana	1
23	BIOLANDES Madagascar Ambanja	1
24	SERMAND Antananarivo	1
25	ANKA/MAJIKI Antsiranana	1
26	JIRAMA Toamasina	1
27	ENELEC Toamasina	1
28	AQUA FOOD Antsiranana	1
29	Hôtel Tropic Asia Antananarivo	1
30	Collège Théologique Ivato Antananarivo	1
31	SOCOBIS Antananarivo	1
32	SqVision Antsiranana	1
33	LECOFRUIT Antananarivo	1
34	IST-D Antsiranana	1
35	Chocolaterie Robert Antananarivo	1
36	Energie Technologie Antananarivo	1
37	ARAFA Antananarivo	1
38	Office du Baccalauréat (Université de Fianarantsoa)	1
39	Valbio Ranomafana	1
TOTAL		71

Tableau 5 : Répartition par thématique

N° Ordre	Disciplines	Nombre de stages
1	Electrification (par PV, éolienne, hybride)	27
2	Approvisionnement en énergie	24
3	Audit énergétique	5

4	Acquisition et traitement de données	3
5	Biogaz	3
6	Economie d'énergie	3
7	Efficacité énergétique	2
8	Gestion d'énergie	1
9	Performances énergétiques	1
10	Biomasse	1
11	Planification énergétique	1
TOTAL		71

Tableau 6 : Répartition par Région

N° Ordre	Localités	Régions	Nombre de stages
1	Antsiranana	DIANA	33
2	Ambanja	DIANA	1
3	Antalaha	SAVA	1
4	Antananarivo	Analamanga	16
5	Toamasina	Atsinanana	12
6	Antsirabe	Vakinankaratra	4
7	Fianarantsoa	Haute Matsiatra	3
8	Ranomafana	Vatovavy	1
TOTAL			71

3.3. Parcours NTE

Tableau 7 : Répartition des travaux de mémoire en entreprise

N° Ordre	Entreprise	Nombre de stages
1	Eco-Consult GIZ Antsiranana	5
2	ANKA / MAJIKI Antsiranana	3
3	Eveché Antsiranana	1
4	Gasy n'Green Antsiranana	1
5	Laboratoire Lacy (Université de la Réunion)	1
6	Henri Fraise Fils & Compagny Antananarivo	1
7	Energie Technologie Antananarivo	1
8	Hopital Henintsoa Vohipeno	1
9	Région DIANA Antsiranana	1
10	CAMUSAT Mananjary	1
11	LPSA Antsiranana	1
TOTAL		17

Tableau 8 : Répartition par thématique

N° Ordre	Disciplines	Nombre de stages
1	Electrification (par PV, éolienne, hybride)	5
2	Biomasse	5
3	Approvisionnement en énergie	2
4	Exploitation d'énergie	1
5	Gisement solaire	1
6	Maintenance	1
7	Biogaz	1
8	Qualité et normalisation	1
TOTAL		17

Tableau 9 : Répartition par Région

N° Ordre	Localités	Régions	Nombre de stages
1	Antsiranana	DIANA	12
2	Antananarivo	Analamanga	2
3	Mananjary	Vatovavy	1
4	Vohipeno	Fitovinany	1
5	La Réunion	-	1
TOTAL			17

3.4. Formations de formateurs

Durant les quatre dernières années (2016 à 2020), des projets de renforcement de compétences étaient réalisés et d'autres sont en cours au sein de l'IST-D et en partenariat avec les entreprises. Ils sont représentés dans le tableau 10 suivant.

Tableau 10 : Projets de formation de formateurs de 2016 à 2020

N° Ordre	Période	Partenaires	Projet	Domaines	Bénéficiaires
1	2019	Financier : Coopération allemande GIZ Technique : Cabinet MARGE France	Promotion of rural electrification through renewable energies (PERER) : Renforcement des capacités techniques et financières des entreprises dans le secteur des énergies renouvelables à Madagascar	Energies renouvelables	Directs : Employés des entreprises ADER, Aider, Asense, BETC Nanala, CAMUSAT, Energie technologie, Etape, Greenpower, Green Yellow, JIRAMA, Nanoe, ORE, PIC, Tanatech Indirects : leur société d'affiliation respective
2	2020 – 2023 (en cours)	Financier : Union Européenne Techniques : AUF Université de La Réunion France, Université de La Laguna - Portugal, Université des Açores - Espagne	FESTII (Formation et Enseignement Supérieur pour la Transition énergétique dans les territoires Insulaires et en Indianocéanie)	Energies renouvelables et efficacité énergétique	Directs : Enseignants (IST-D Antsiranana, IST-T Antananarivo, Université des Comores, Université des Mascareignes, Université de Maurice) Indirects : Etudiants desdits établissements
3	2021 (réalisé)	FMFP (Fond Malgache de Formation Professionnelle)	Renforcement des compétences techniques et managériales des ouvriers et cadres	Electricité Industrielle, Hydraulique	Directs : Employés des sociétés CMDMD (Compagnie Malgache de Manutention de Diégo-Suarez), BOLLORE, SOREDIE Indirects : Lesdites sociétés

4. DISCUSSIONS

4.1. Répartition des étudiants en entreprise

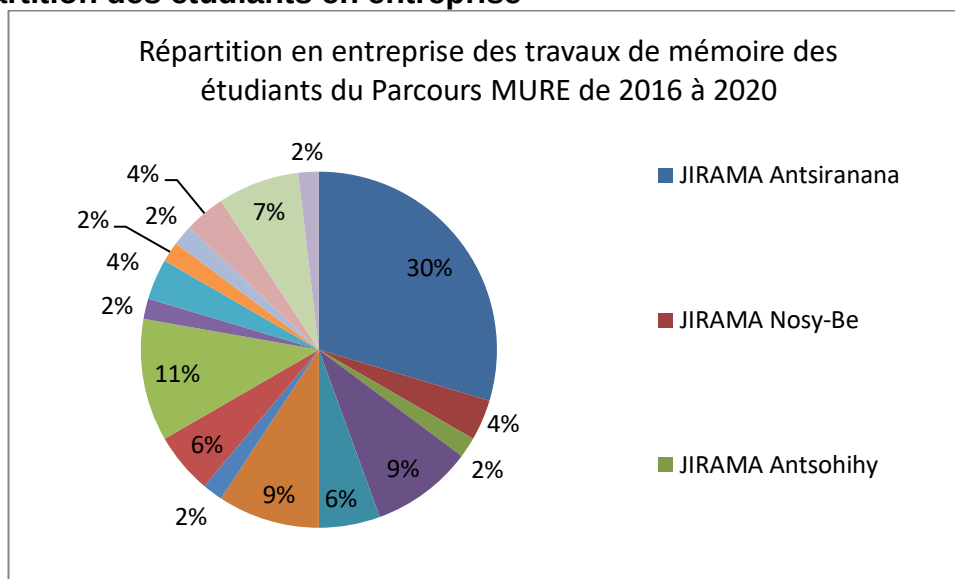


Figure 1 : Répartition des étudiants du Parcours MURE en entreprise

Cette Figure 1 montre que la plupart des stages (33 stages sur 54) des étudiants du Parcours MURE se faisait au sein des Agences de la JIRAMA réparties dans tout Madagascar, à la hauteur de 70%. Vient ensuite le Centre Hospitalier Universitaire Tanambao Antsiranana (11%) et en troisième position la Compagnie Salinière de Madagascar Antsiranana (7%).

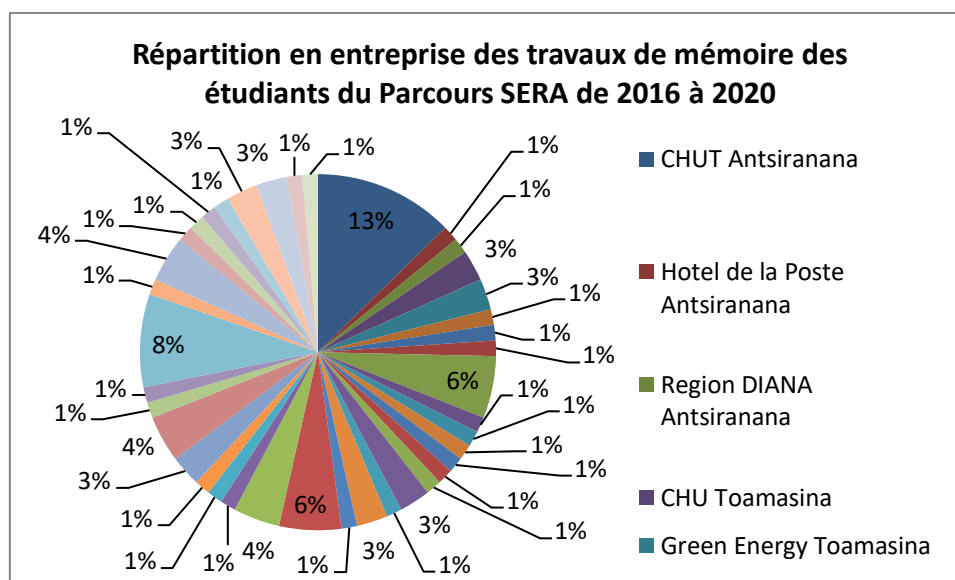


Figure 2 : Répartition des étudiants du Parcours SERA en entreprise

Cette Figure 2 montre que la plupart des stages des étudiants du Parcours SERA se faisait au sein du Centre Hospitalier Universitaire Tanambao Antsiranana (13%). Vient ensuite le Bureau d'études ECO-CONSULT GIZ Antsiranana (8%) et en troisième position le Ministère de l'Energie et des Hydrocarbures en exæquo avec Electricité De Madagascar (EDM) Antananarivo (6% chacun).

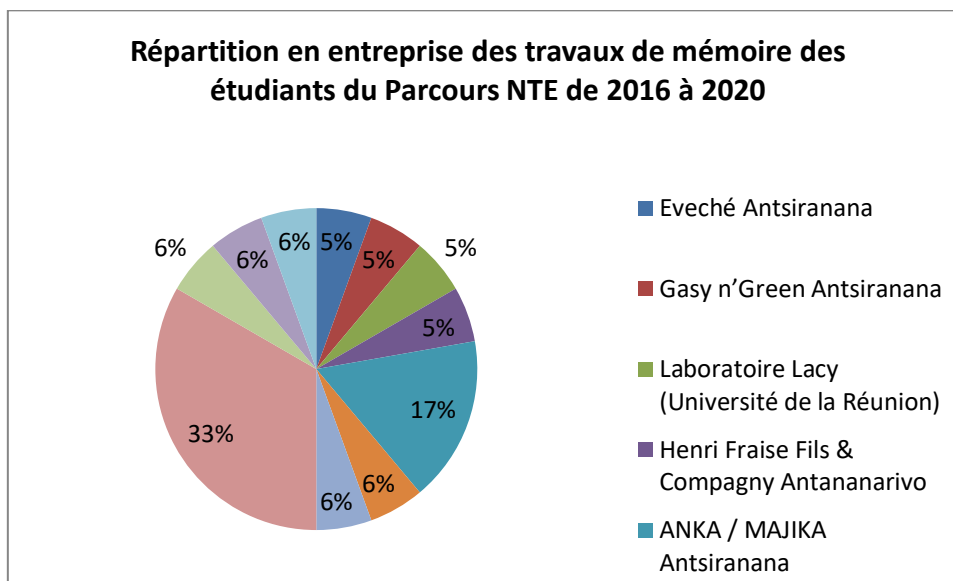


Figure 3 : Répartition des étudiants du Parcours NTE en entreprise

Cette Figure 3 montre que la plupart des stages des étudiants du Parcours NTE se faisait au sein du Bureau d'études ECO-CONSULT GIZ Antsiranana (33%). Vient ensuite l'entreprise ANKA Madagascar (Ex-MAJKA, opérateur en énergie renouvelable) avec 17%. Le reste des étudiants sont éparpillés dans plusieurs autres entreprises à travers toute l'île.

4.2. Répartition par thématique des sujets de mémoire des étudiants

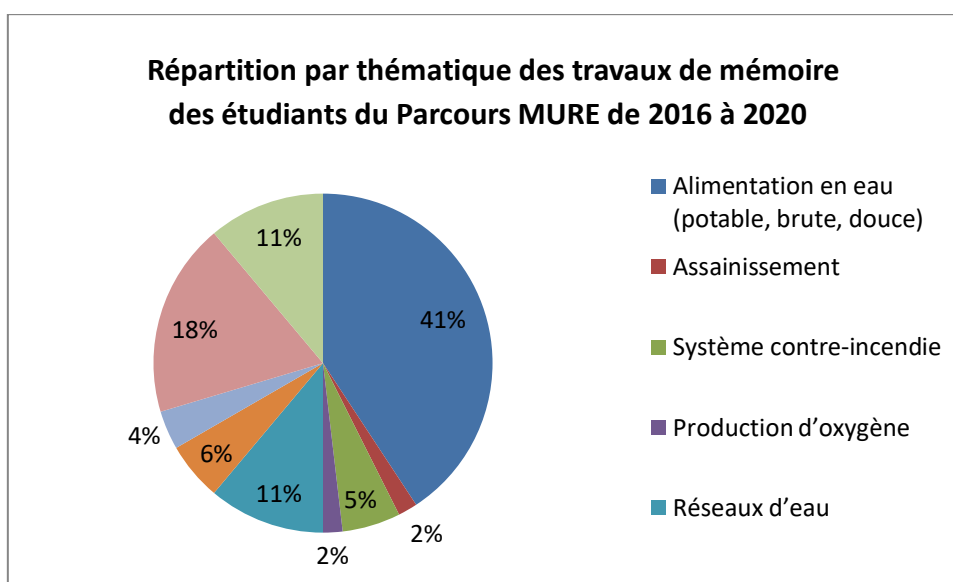


Figure 4 : Répartition par thématique des sujets de mémoire des étudiants du Parcours MURE

Cette Figure 4 montre que la plupart des sujets de stage des étudiants du Parcours MURE traitait l'alimentation ou l'approvisionnement en eau (potable, brute, douce) à la hauteur de 41%. Vient ensuite le traitement de l'eau avec 18% et en troisième position la Maintenance et les Réseaux d'eau en exæquo avec respectivement 11%.

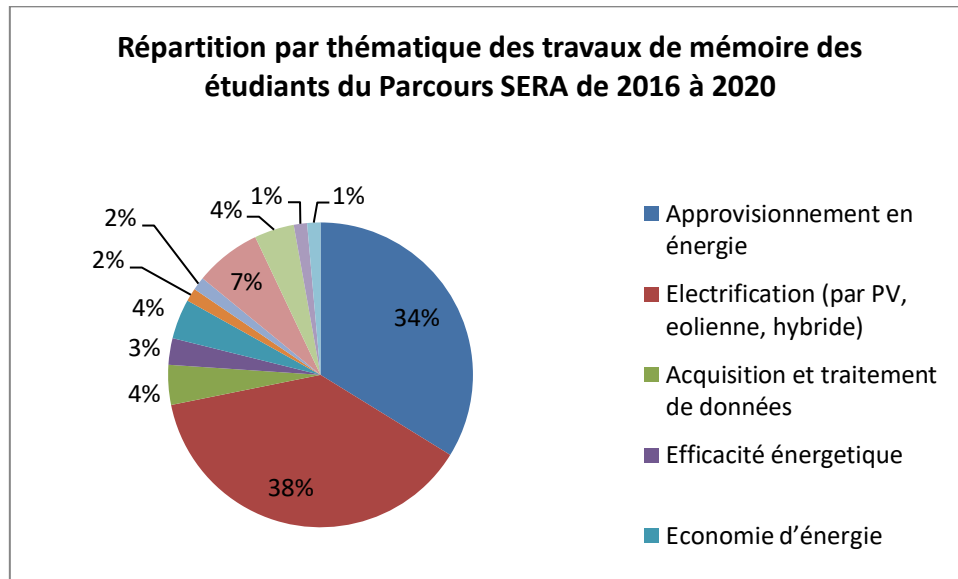


Figure 5 : Répartition par thématique des sujets de mémoire des étudiants du Parcours SERA

Cette Figure 5 montre que la plupart des sujets de stage des étudiants du Parcours SERA traitait l'électrification rurale (par panneaux solaires photovoltaïques, par éoliennes ou par système hybride) à la hauteur de 38%. Vient ensuite l'approvisionnement et l'exploitation de l'énergie avec 34% et en troisième position l'Audit énergétique avec 7%.

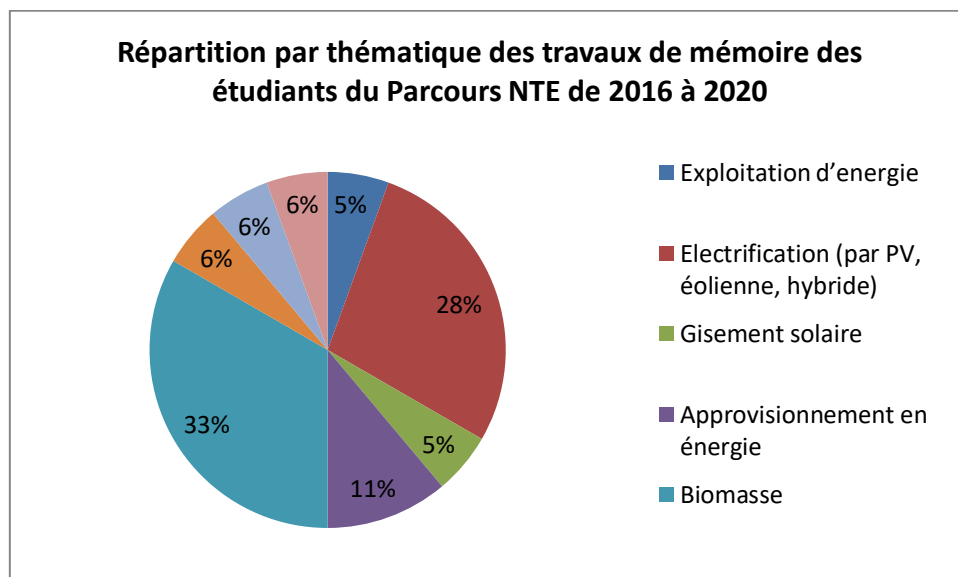


Figure 6 : Répartition par thématique des sujets de mémoire des étudiants du Parcours NTE

Cette Figure 6 montre que la plupart des sujets de stage des étudiants du Parcours NTE traitait la biomasse avec 33%. Vient ensuite l'électrification rurale (par panneaux solaires photovoltaïques, par éolienne ou par système hybride) à la hauteur de 28% et en troisième position l'approvisionnement et l'exploitation de l'énergie avec 11%.

4.3. Répartition par Région des étudiants

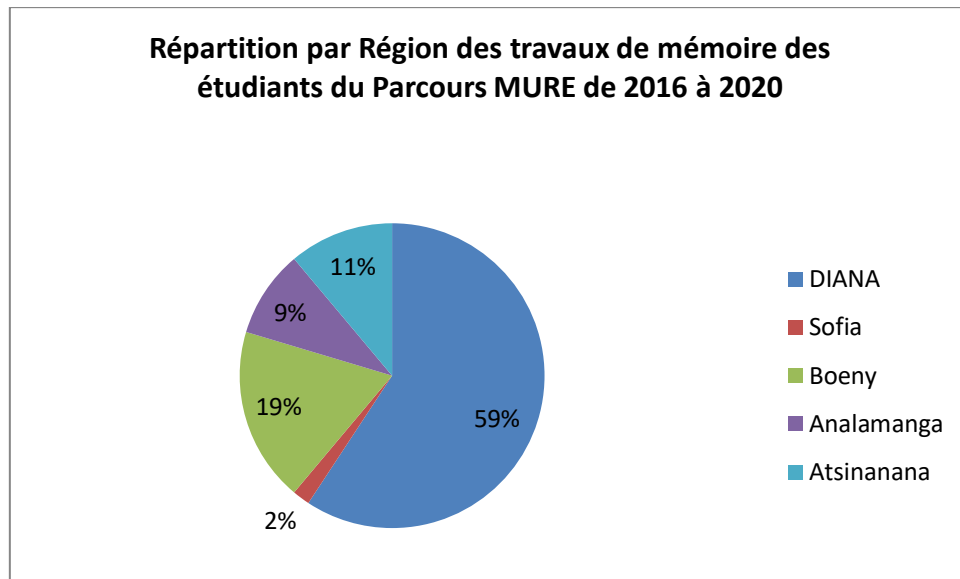


Figure 7 : Répartition par Région des étudiants du Parcours MURE

Cette Figure 7 montre que les étudiants du Parcours MURE ont fait leur stage dans 5 parmi les 23 Régions de Madagascar : 59% dans la Région DIANA, 19% dans la Région Boeny, 11% dans la Région Atsinanana, 9% dans la Région Analamanga et 2% dans la Région Sofia.

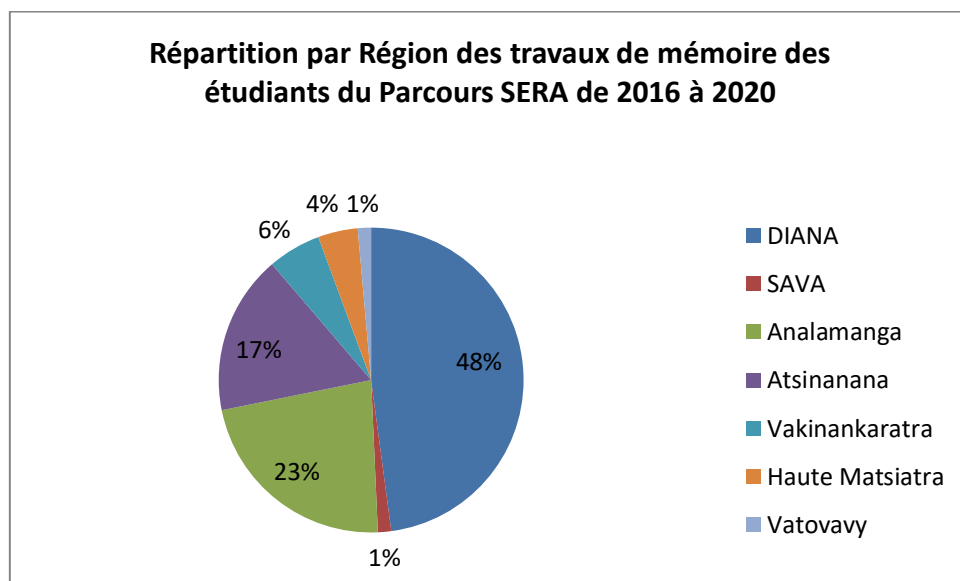


Figure 8 : Répartition par Région des étudiants du Parcours SERA

Cette Figure 8 montre que les étudiants du Parcours SERA ont fait leur stage dans 7 parmi les 23 Régions de Madagascar : 48% dans la Région DIANA, 23% dans la Région Analamanga, 17% dans la Région Atsinanana, 6% dans la Région Vakinankaratra, 4% dans la Région Haute Matsiatra et 1% chacun dans les Régions SAVA et Vatovavy.

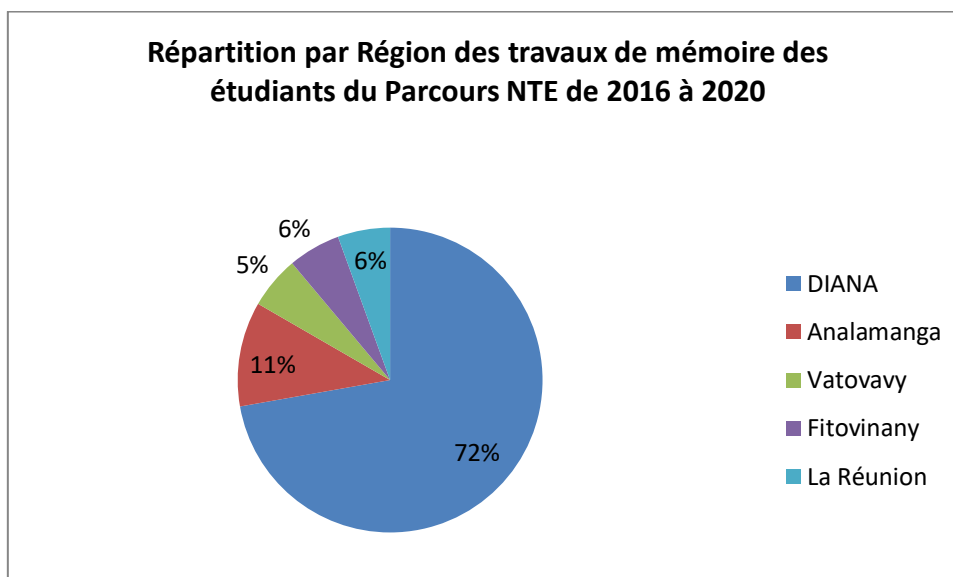


Figure 7 : Répartition par Région des étudiants du Parcours NTE

Cette Figure 9 montre que les étudiants du Parcours NTE ont fait leur stage dans 5 parmi les 23 Régions de Madagascar : 72% dans la Région DIANA, 11% dans la Région Analamanga, 6% chacun dans les Régions Fitovinany, Vatovavy et à l'île de La Réunion. En somme, 10 parmi les 23 Régions de Madagascar ont connu l'intervention des étudiants de l'IST-D durant leurs stages de mémoire de DTSS en MURE et SERA et d'Ingéniorat en NTE de 2016 à 2020, avec l'accompagnement des enseignants. Ce qui représente un taux de 43,48%, un chiffre non négligeable vu l'éloignement de l'IST-D tout au Nord de Madagascar.

5. CONCLUSION

Cet article traite la contribution de l'IST-D dans la formation des Techniciens Supérieurs et Ingénieurs mais aussi dans la formation de formateurs des Techniciens Supérieurs et Ingénieurs déjà en poste dans les entreprises, dans les secteurs de l'eau, de l'énergie et de l'électrification à Madagascar.

Constatation faite, les activités des entreprises d'accueil des étudiants en stage sont compatibles avec leur Parcours de formation respectif. Les sujets de mémoire traduisant les besoins des entreprises d'accueil en stage sont cohérents avec le Parcours suivi par les étudiants. Les étudiants sont répartis dans le tiers du nombre de Régions à Madagascar (5 à 7 Régions par Parcours sur 23 Régions, sur un total de 10 Régions sur 23).

L'IST-D est aussi très sollicité par les entreprises en termes de formation de formateurs à travers ses offres de formation continue. D'autres offres de formations sont en cours de négociation actuellement entre autres celles avec la SECREN et la QMM.

Situation énergétique à Madagascar, nécessité de formations d'ingénieurs/techniciens dans le domaine Electricité

Vololona Harinoro RAKOTOMALALA

Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo.

vololona.rakotomalala@polytechnique.mg, volhrakoto@gmail.com

Résumé : L'Energie est le secteur le plus important qui assure le développement d'un pays. L'ensemble des secteurs d'activité dans un pays dépend entièrement de l'Energie pour fonctionner afin de contribuer à la croissance économique et à l'amélioration de la vie sociale de la population. C'est pourquoi la consommation énergétique est considérée comme étant un indicateur du niveau de développement du dynamisme de l'économie d'un pays.

L'humanité a eu conscience ces derniers temps que si on veut sauver les futures générations, il faut penser au développement durable en assurant le développement social et économique ainsi que la protection de l'environnement. Madagascar n'échappe pas à cette triste réalité de la vie et subit aussi l'influence de la conséquence du changement climatique. Pour l'île, l'offre énergétique est dominée par le bois Energie qui est de 92% et les produits pétroliers de 7%. La part des Energies renouvelables reste encore marginale car elle constitue moins de 1% de cette offre [1].

Avec une population de 28 177 762 habitants qui a une croissance démographique de 3,01 % par an, la demande en énergie au niveau des ménages répond à la satisfaction de deux besoins principaux : le besoin d'énergie pour la cuisson et besoin d'énergie pour l'éclairage [2]. Le Bois Energie constitue l'énergie la moins chère et accessible aux ménages actuellement. En considérant le taux d'accroissement démographique actuel de 3 % avec le maintien du taux d'accès à l'Electricité actuel de 12 % et du niveau de consommation électrique, la demande totale serait alors estimée à 1,5 millions MWh en 2030 et à 2,3 millions MWh en 2050.[3]

La question d'électricité est encore un problème majeur dans le pays [4], seuls les 19% du pays ont accès à l'électricité. Alors qu'il existe 1509 communes à Madagascar, seuls les 291 ont accès à l'électricité et les 1218 n'ont pas eu cette opportunité. Par contre, Madagascar possède de nombreuses sources renouvelables ; il bénéficie d'un climat favorable au vent et riche en rayonnement solaire, ainsi que d'un potentiel hydraulique remarquable.

Compte tenu de cette situation et l'effort encore à produire pour le développement du pays, il s'avère important de former d'une manière efficace les ingénieurs/techniciens du pays. D'autant plus les ingénieurs ne sont des privilégiés sur le marché de l'emploi. L'avènement du tout numérique oblige les ingénieurs à multiplier leurs compétences. Ainsi, les compétences "numériques" doivent s'accompagner d'autres compétences techniques

I Introduction

L'Energie est le secteur le plus important qui assure le développement d'un pays. L'ensemble des secteurs d'activité dans un pays dépend entièrement de l'Energie pour fonctionner afin de contribuer à la croissance économique et à l'amélioration de la vie sociale de la population. C'est pourquoi la consommation énergétique est considérée comme étant un indicateur du niveau de développement du dynamisme de l'économie d'un pays.

Le développement d'un pays est conditionné par les ressources humaines contribuant à toutes activités de recherche et de développement. La formation des techniciens et des ingénieurs constitue la clé initiale du développement. Nous proposons ainsi dans cette communication une analyse des besoins en termes de formation pour contribuer aux besoins en énergie et plus particulièrement aux besoins en électricité dans les pays comme Madagascar. Notre pays a fortement besoin des efforts pour parvenir à satisfaire à ses besoins en électricité. D'autant plus nous vivons l'ère du numérique.

Pour cela nous allons dans un premier temps établir un état de l'art sur la situation énergétique à Madagascar, avant de proposer une méthode pour contribuer à la formation des techniciens et ingénieurs, pouvant résoudre à la problématique évoquée

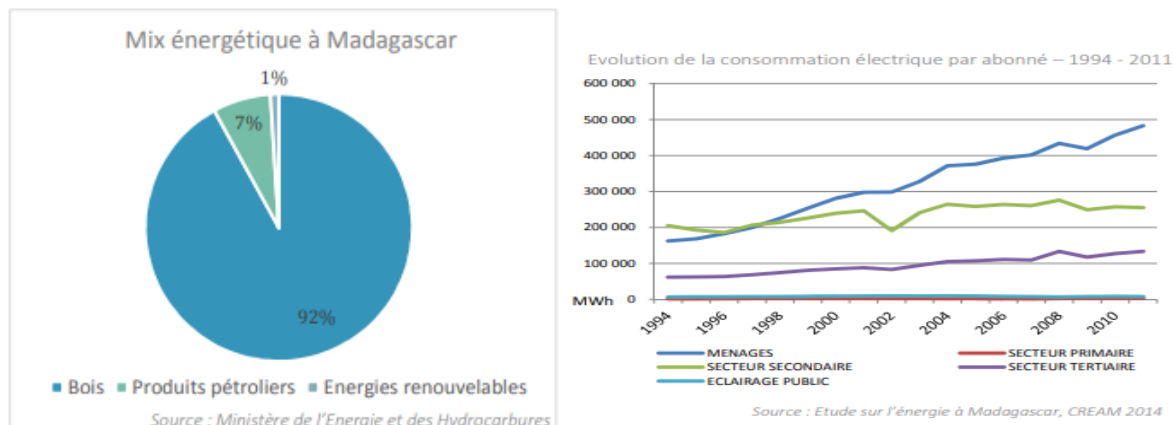
précédemment, répondant au contexte d'un pays en développement en Afrique comme Madagascar.

II Situation énergétique à Madagascar

Madagascar est une île se trouvant dans l'Océan Indien à côté de Mozambique. Elle abrite actuellement 28 177 762 habitants selon l'INSTAT en 2021 [5]. L'île de Madagascar s'étire du nord au sud sur près de 1 600 km entre 12° et 26° de latitude sud entre le cap d'Ambre, au nord, et le cap Sainte-Marie, au sud, et a une largeur moyenne de l'ordre de 500 km. Large dans sa partie la plus étroite de 400 km, le canal de Mozambique sépare l'île de la côte africaine.

Pour l'île, l'offre énergétique est dominée par le bois Energie qui est de 92% et les produits pétroliers de 7%. La part des Energies renouvelables reste encore marginale car elle constitue moins de 1% de cette offre. Les figures ci-dessous montrent (a) la répartition de la situation énergétique à Madagascar selon Le Ministère de l'Energie et des hydrocarbures [1] et (b) l'évolution la consommation électrique par abonné entre 1994-2011 selon une étude réalisée par CREAM en 2014.

Avec une population de 28 177 762 habitants qui a une croissance démographique de 3,01 % par an, la demande en énergie au niveau des ménages répond à la satisfaction de deux besoins principaux : le besoin d'énergie pour la cuisson et besoin d'énergie pour l'éclairage [2]. Le Bois Energie constitue l'énergie la moins chère et accessible aux ménages actuellement. En considérant le taux d'accroissement démographique actuel de 3 % avec le maintien du taux d'accès à l'Electricité actuel de 12 % et du niveau de consommation électrique, la demande totale serait alors estimée à 1,5 millions MWh en 2030 et à 2,3 millions MWh en 2050.[3]



La plus grande demande en charbon de bois se trouve dans la région Analamanga suivie par les régions Haute Matsiatra et Vakinankaratra. Ces régions représentent 77% de la demande, et sont approvisionnées principalement par du charbon obtenu à partir de plantations d'arbres notamment l'Eucalyptus. Neuf (9) régions, dont font partie Boeny et Atsimo Andrefana, consomment du charbon obtenu à partir de l'exploitation de forêts naturelles, et représentent 12% de la demande du pays. Le reste est constitué par des consommateurs de charbon de bois issus d'exploitations mixtes (plantations et forêts naturelles) [1].

La question de l'électricité est encore un problème majeur dans le pays, selon Julien ANDRE dans l'électrification rurale à Madagascar en Aout 2010, seuls les 19% du pays ont accès à l'électricité. Alors qu'il existe 1509 communes à Madagascar seuls les 291

ont accès à l'électricité et les 1218 non pas eu cette opportunité. La plupart de ceux qui n'ont pas accès à l'électricité sont des milieux ruraux. En plus, Madagascar a rencontré des crises énergétiques à cause de l'augmentation du prix de pétrole et la faillite rencontrée par le JIRAMA, le premier producteur de l'énergie électrique dans notre pays. Madagascar possède de nombreuses sources renouvelables ; il bénéficie d'un climat favorable au vent et riche en rayonnement solaire, ainsi que d'un potentiel hydraulique remarquable.

Le climat de Madagascar est tropical, avec des variations régionales et deux saisons distinctes : une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril et une saison sèche de mai à octobre, avec moins de précipitations reçues entre septembre et Octobre. La région orientale reçoit de la pluie presque toute l'année. Les températures moyennes annuelles se situent entre 23° et 27°C. Le climat varie considérablement en fonction de l'altitude et de la position des régions par rapport aux vents dominants.

III Nécessité de formation de techniciens et ingénieurs

L'humanité a eu conscience ces derniers temps que si on veut sauver les futures générations, il faut penser au développement durable en assurant le développement social et économique ainsi que la protection de l'environnement. Madagascar n'échappe pas à cette triste réalité de la vie et subit aussi l'influence de la conséquence du changement climatique.

D'autre part, depuis ces derniers siècles, la technologie des êtres humains n'a cessé d'évoluer et d'apporter des changements sur leur vie quotidienne. Cette technologie des connaissances scientifiques dans la vie quotidienne est passée de la guerre du feu à la création de l'électricité. Aveugler par la soif de développement et la course au niveau de l'économie, l'humanité a négligé l'environnement jusqu'à ce qu'ils se rendent compte de l'existence du changement climatique qui leurs a obligé à chercher d'autres sources d'Energie qu'on nomme Energie renouvelable.

La formation des techniciens et ingénieurs est la clé primordiale pour contribuer à résoudre des problèmes en termes d'énergie à Madagascar. L'homme est la ressource de première nécessité pour concevoir et réaliser les travaux favorisant le développement de son environnement. Le contexte d'un pays en plein essor est différent de celui d'un pays d'Afrique en quête de développement. La structure de l'enseignement à Madagascar mérite encore des révisions et études approfondies pour produire vraiment des citoyens « productifs » contribuant au développement du pays. Les chiffres sur la situation des étudiants inscrits à l'université pour l'année 2019-2020 et les nouveaux bacheliers ci-après suffisent à nous convaincre que les jeunes sont en quête de formation pour entreprendre au pays. Les parents et élèves sont d'un commun accord pour des formations adaptées au besoin des communes et des environs proches.


91 745
Nombre de nouveaux
bacheliers

TOUTS LES ANS


83 384
Capacité d'accueil
d'étudiants

Insuffisance de
capacité d'accueil


104 000
Nombre actuel
d'étudiants inscrits

DEAR TOUT LE TERRITOIRE NATIONAL

Année universitaire 2019 - 2020



IV Conclusion

Globalement, depuis des décennies, tous les pays du monde rêvent d'être un pays développé ; or plus l'envie du monde de se développer augmente, plus, sa soif en énergie s'empire. C'est pourquoi, la consommation d'Energie a connu une augmentation significative surtout pour les pays émergents afin de soutenir leur croissance. Alors que les besoins en Energie connaissent une hausse, les ressources humaines disponibles méritent une étude pointue pour satisfaire les besoins. L'établissement des diagrammes tels que celui de contexte, de cas d'utilisation, d'activité ainsi que des séquences nous permettra d'avancer finement dans l'analyse des besoins en termes de formations.

Compte tenu de cette situation et l'effort encore à produire pour le développement du pays, il s'avère important de former d'une manière efficace les ingénieurs/techniciens du pays. D'autant plus les ingénieurs ne sont des privilégiés sur le marché de l'emploi. L'avènement du tout numérique oblige les ingénieurs à multiplier leurs compétences. Ainsi, les compétences "numériques" doivent s'accompagner d'autres compétences techniques.

Bibliographie

- [1] WWF en en partenariat avec la Ministère de l'Energie, Septembre 2012
- [2] Population Data.net, 2020
- [3] Ministère de l'Energie
- [4] Julien ANDRE dans l'électrification rurale à Madagascar en Aout 2010
- [5] INSTAT Institut National de la Statistiques en 2021

Formation et Enseignement Supérieur pour la Transition Energétique dans les Territoires Insulaires et en Indianocéanie / FESTII

Luc RAKOTONDRAJONA et Jean Lalaina RAKOTOMALALA

Enseignants Chercheurs à l'IST/T
luc.rakotondrajaona@gmail.com

Les pays de la région Océan Indien, en tant que signataires de l'Accord de Paris, ont pris des engagements internationaux concernant le changement climatique. Le processus de la Transition Energétique nécessite la mise en oeuvre conjuguée de plusieurs leviers dont celui des formations pour couvrir les besoins en compétences requises. Initié par la Commission de l'Océan Indien -COI-, le projet FESTII est une réponse régionale à cet enjeu de développement des compétences dans l'énergie électrique, intégrant les énergies renouvelables et l'Efficacité Energétique. Trois pays partenaires (Comores, Madagascar, Maurice) et 5 Etablissements d'Enseignement Supérieur (EES) se sont engagés dans ce projet après sollicitation conjointe de l'AUF et de la COI.

L'objectif général du projet FESTII est de permettre aux EES de contribuer à la Transition Energétique et à l'Autonomie Energétique de leurs territoires insulaires par le renforcement de compétences des ressources humaines dans le domaine des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique.

Les résultats attendus au niveau régional et national sont les suivants :

- Une stratégie régionale de la COI basée sur le développement des ressources humaines et sur le renforcement des institutions sera mise en place.
- Une campagne de sensibilisation et de plaidoyer sur les énergies renouvelables et l'efficience énergétique se fera tout au long du projet qui durera cinq ans.
- La réglementation et l'environnement des affaires concernant la production d'électricité à base de ressources renouvelables seront améliorés.
- Les organismes gouvernementaux et les investisseurs privés développeront leur capacité de conception, d'ingénierie, de construction et de gestion de systèmes décentralisés de production électrique et d'énergie basés sur les ressources renouvelables.

Renforcement des capacités pour la promotion des énergies renouvelables et des pratiques agricoles durables dans le milieu rural tunisien

Ines KHALIFA¹, Afef BENNANI²

1. Responsable technique, Centre Méditerranéen des Energies Renouvelables-MEDREC, ,
2. Maître de conférences, chercheur, LSE/ENIT/Université de Tunis El Manar ; INSAT/Université de Carthage

ines.khalifa@medrec.org

Afin d'encourager l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur agricole en Tunisie, REFAT- Energies Renouvelables pour le Développement Agricole et Rural en Tunisie- un projet de coopération entre le ministère Italien de la transition écologique et le ministère Tunisien de l'agriculture, mis en oeuvre par le MEDREC, se propose de fournir un outil d'acquisition des compétences clés, aux jeunes diplômés de l'enseignement supérieur, pour leur permettre de créer leurs sociétés pénétrant ainsi le marché local de services agricoles.

Pour ce faire, un programme de formation a été défini et concrétisé au profit de 26 jeunes ingénieurs et techniciens supérieurs, accompagnés par 10 agents publics régionaux chargés du suivi des projets agricoles. Le choix de ce groupe de jeunes s'est basé sur un appel à candidatures public et des critères prédéfinis incluant le lieu d'activité des éventuelles entreprises à monter, créant un équilibre entre les régions cibles du projet à savoir Gafsa, Sidi Bouzid, Kasserine, Sousse et Kairouan. Cette formation a porté sur les thématiques : énergétique, hydro-machinisme agricole, pratiques agricoles éco-durables, entrepreneuriale, et a été suivie par des sessions d'accompagnement personnalisées aux 10 lauréats porteurs de projets en termes de rédaction de plans d'affaires, et de gestion d'entreprise, afin de garantir une utilisation efficace des fonds d'amorçages attribués.

Les sociétés créées ont bénéficié également d'un programme d'assistance technique pour la mise en place de dix stations de pompage photovoltaïque pilotes dans les régions cibles du projet avec des puissances allant de 7 à 45 kWc, permettant de leur octroyer des références professionnelles enrichissant leurs savoir-faire sur le terrain.

Deux exemples d'entreprises ainsi que leurs réalisations en systèmes pilotes seront détaillés mettant en relief les enjeux de positionnement dans le marché des énergies renouvelables avec le secteur agricole tunisien.

Atelier Traitement de l'eau

Nouvelles perspectives européennes dans le traitement de l'eau

Daniela Simina Stefan¹, Lesnic Mihai¹, Magdalena Bosomoiu¹, Adrian Peticila², Mircea Stefan³, Florica Stoica⁴

¹Université Polytechnique de Bucarest, Faculté de chimie appliquée et science des matériaux, str. Gheorghe Polizu, nr 1-7, sector 1, 011061, Bucarest, Roumanie

²Université des Sciences Agricoles et de Médecine Vétérinaire, Bucarest, Faculté d'Horticulture, Boulevard Mărăști 59, 011464, Sector 1. Bucarest, Roumanie

³Université Titu Maiorescu, Faculté de Pharmacie, 22 rue Dâmbovicului Tineretului, Sector 4, 040441, Bucarest, Roumanie

⁴Université Polytechnique de Bucarest, Faculté de Mécanique et Mecatronique, Splaiul Independentei, nr. 313, Sector 6, Bucarest, Roumanie, cod postal RO-060042

Mots clés : eau potable, Directive Européenne 2020/2184, micropolluants, technologies de traitement de l'eau

Introduction :

La directive sur l'eau potable, 2020/2184, (DEP) vise à assurer la santé de la population en identifiant des solutions technologiques complémentaires aux technologies actuelles de traitement des eaux destinées à la consommation humaine, qui permettront d'éliminer les micropolluants organiques et inorganiques de l'eau potable de type épichlorhydrine, substances perfluoroalkylées, acrylamide microcystéine, acides haloactiques, chrome et plomb. Ces micropolluants même à de très faibles concentrations, de ng /L, ont des effets toxiques sur la santé humaine.

Actuellement, en Europe, le traitement des eaux de surface et souterraines afin d'obtenir les caractéristiques de qualité nécessaires à l'eau pour la consommation humaine se fait à l'aide de technologies conventionnelles. Les caractéristiques de la qualité de l'eau potable sont inscrites dans deux actes normatifs, à savoir CD 80/778 / CEE et CD 98/82/CE qui prévoient toutes les valeurs maximales admissibles des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques, ainsi que d'autres indicateurs de qualité de l'eau potable.

Les technologies existantes de traitement de l'eau pour la consommation humaine ont été progressivement adaptées, mais sans modifications essentielles, de sorte qu'elles soient, de manière générale, conformes aux exigences de la directive 98/83/CE qui n'est plus en vigueur à partir du 12 janvier 2021, étant remplacée par la directive 2020/2184. Des recherches mondiales intenses sur le risque de certains polluants de l'eau potable sur la santé humaine ont conduit à des changements continus dans les réglementations sur la qualité de l'eau potable dans l'UE. Suite aux rapports de l'Organisation Mondiale de la Santé, l'OMS, les dirigeants de l'UE ont décidé d'élaborer une nouvelle directive sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, directive qui est récemment entrée en vigueur - la directive 2020/2184. Celle-ci repose sur l'idée de fixer les paramètres et indicateurs indispensables à la sécurité de la santé humaine. Par conséquent, des paramètres non essentiels pour assurer la santé humaine ont été extraits de la liste des caractéristiques requises pour l'eau potable dans l'ancienne directive et six nouveaux paramètres ont été ajoutés dont la présence dans l'eau potable, au-dessus de certaines concentrations ([supérieures](#) à 0,1 microgramme par litre), met en

réel danger la vie des personnes (troubles hormonaux, cancer, infections pulmonaires, maladies rénales, hépatiques, dysfonctionnements du système reproducteur, etc.)

Le Parlement et le Conseil de l'Union européenne ont adopté le 16 décembre 2020 la directive 2020/2184 sur la qualité de l'eau potable (DEP).

La directive est entrée en vigueur le 12 janvier 2021. La Roumanie, avec les 26 autres pays européens, devra apporter des modifications à la législation existante afin de se conformer à cette nouvelle directive, dans un délai de deux ans. Les principaux changements apportés par la directive sur l'eau potable sont les suivants : - Introduction d'indicateurs de qualité de l'eau et dans certains cas, limite stricte d'admissibilité de la présence, par exemple, des bactéries, du plomb, du chlorate, du bisphénol A et de la bactérie *Legionella*. D'autres nouveaux indicateurs (par exemple: les microplastiques) ne sont mis en évidence qu'avec des valeurs indicatives de concentrations, "sur une liste de surveillance" ("watch list").

- Les indicateurs de qualité mentionnés dans la Directive Eau Potable (CD 98/83/CE, émise le 3 novembre 1998), avec des caractéristiques recommandées basées sur une évaluation des risques, deviennent obligatoires. La surveillance des paramètres respectifs sera effectuée dans l'ensemble du système d'approvisionnement en eau, du captage à la station d'épuration, aux réservoirs de stockage, au réseau de distribution externe et interne jusqu'au robinet du consommateur.

- Pour la première fois, des exigences uniformes sont fixées pour les matériaux qui entrent en contact avec l'eau. D'ici trois ans, une « Liste positive européenne » sera établie, qui comprendra les matériaux et composés permettant d'initier la fabrication de matériaux entrant en contact avec l'eau, au sein des réseaux d'adduction d'eau potable des centres habités. Toujours dans trois ans à compter de l'entrée en vigueur de la directive sur l'eau potable (janvier 2021), des procédures spécifiques seront établies pour tester et sélectionner les matériaux de démarrage qui entrent en contact avec l'eau potable.

- La directive sur l'eau potable prévoit l'élaboration de nouvelles réglementations sur les pertes d'eau, les écarts par rapport aux limites d'admissibilité de certaines caractéristiques de qualité de l'eau et l'accès du public à l'eau potable.

Ces paramètres chimiques et bactériologiques ne sont pas obtenus par les technologies appliquées dans les systèmes d'adduction d'eau existants et à ce titre, les technologies doivent être complétées par des procédés conduisant à l'élimination des substances dangereuses en dessous des limites indiquées dans la DEP, limites que doivent également être introduites dans la législation sur l'eau des États membres de l'UE, jusqu'au 12 janvier 2036. Ainsi, les technologies qui seront appliquées pour obtenir de l'eau potable doivent être conformes aux dispositions de la nouvelle directive 2020/2184 sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Jusque-là, les États membres ne sont pas tenus de surveiller les nouveaux paramètres et indicateurs chimiques fixés par la directive 2020/2184, mais sont tenus de prendre des mesures urgentes pour éliminer ces micropolluants.

Micropolluants dans l'eau et leurs effets

Les micropolluants sont des composés que l'on retrouve à de très faibles concentrations de l'ordre du mg/L voire du ng/L dans l'environnement et qui présentent un danger pour les écosystèmes même à ces très faibles concentrations. Une fois rejetés dans l'environnement, ils diffusent, interagissent avec d'autres substances présentes, sont biodégradés ou au contraire ne participent à aucun des processus de transformation précités et s'accumulent. Une grande partie de la quantité d'eau potable provient des eaux de surface. Par conséquent, il est très important que l'eau de surface utilisée comme

source d'eau potable ne contienne pas de produits chimiques dangereux. L'utilisation croissante de substances organiques de synthèse entraîne le rejet de micropolluants toxiques, persistants et qui s'accumulent à proximité des zones de sources d'eau brute contribuant à la détérioration de sa qualité. Les méthodes couramment utilisées dans les stations de traitement n'ont pas une grande efficacité pour éliminer de nombreux micropolluants de l'eau. Même à des très faibles concentrations de micropolluants, de l'ordre du ng/L, les micropolluants encadrés dans la catégorie des perturbateurs endocriniens ont une influence négative sur le corps humain. [1-3]. Ainsi, au fil du temps, des méthodes avancées de dépollution ont été proposées dans la catégorie des méthodes physiques, physico-chimiques ou biologiques et qui peuvent être mises en œuvre dans les stations de traitement/épuration des eaux. Ce sont : la nanofiltration (physique), l'adsorption et l'échange d'ions, la coagulation, l'oxydation catalytique ou non catalytique (méthodes physico-chimiques) et l'élimination biologique à l'aide de micro-organismes [2-8]. Cependant, leur efficacité n'est pas toujours celle souhaitée, étant adaptée à certaines classes de composés polluants et n'incluant donc pas la variation de la composition de l'eau brute dans le temps ni la variation saisonnière de la température ambiante, et le coût d'exploitation est relativement élevé, ce qui détermine le besoin de nouvelles études pour trouver des méthodes qui atteignent le niveau de performance requis.

Une étude approfondie visant à identifier les types de micro-polluants dans les sources d'eau brute en Suède a été réalisée par *Tröger et al.* (2020). Au total, 27 composés sur les 163 analysés ont été détectés à des niveaux supérieurs à la limite de détection de la méthode utilisée pour l'analyse. Les composés détectés appartiennent aux catégories suivantes : produits pharmaceutiques (8 composés), PFAS (7 composés), pesticides (7 composés), un additif alimentaire, un retardateur de flamme, un médicament et des dérivés du benzène (2 composés). La concentration totale moyenne ($\pm$ ET) dans la rivière était 84 ± 15 ng/L. Les principaux contributeurs à la concentration totale dans l'eau de la rivière étaient la caféine (23-54 ng/L), suivi de la lidocaïne (9,5-13 ng/L), carbamazépine (5,2-13 ng/L) et métoprolol (4,5-9,5 ng/L), ayant ensemble une concentration de $74\% \pm 5\%$ de la concentration totale. Les auteurs ont aussi testé l'efficacité d'élimination des micropolluants par filtration sur couche de charbon actif granulaire. Les résultats ont montré que l'efficacité du procédé est fortement influencée par le temps de fonctionnement du filtre et le type de micropolluant. Un filtre d'une durée de fonctionnement de 12 mois avec un ajout récent de $\sim 10\%$ d'un nouveau matériel (dont la nature ou la composition n'est pas précisée dans l'article) a montré une efficacité d'élimination moyenne de 92%, alors qu'un filtre de 25 mois avait une efficacité moyenne de 76%, respectivement pour un filtre qui a fonctionné 71 mois, l'efficacité était inférieure à 34%. Un autre résultat important est que les PFAS n'ont pas été supprimés plus de 80%, quelle que soit la méthode utilisée.

Méthodes d'élimination des micropolluants de l'eau

Hernandez-Leal et al. (2011) ont mené une étude comparative sur deux méthodes : l'ozonation et l'adsorption sur charbon actif utilisé pour éliminer les micropolluants provenant des produits de soins personnels. Les auteurs ont conclu que l'application d'une dose d'ozone de 15 mg/L est un processus abordable avec des coûts 0,05-0,20 €/m³ (coût d'investissement et d'exploitation). L'avantage de l'utilisation d'ozone est que l'étape de désinfection, nécessaire à l'utilisation de l'eau, est réalisée simultanément à la rétention des micropolluants. De plus, l'adsorption sur charbon actif est un procédé efficace pour l'élimination de tous les micropolluants testés.

Des études cinétiques sont nécessaires pour réaliser les modèles mathématiques utilisés à l'estimation du degré d'élimination des micropolluants. Une telle étude a été réalisée

pour la méthode d'oxydation avancée des micropolluants utilisant le rayonnement UV [10]. Les auteurs ont mené une étude cinétique détaillée pour un grand nombre de micropolluants, notamment des produits pharmaceutiques, des hormones, des pesticides, des additifs pour carburants et d'autres composés industriels présents dans l'eau, une étude qui peut être utilisée pour d'autres simulations à l'aide de modèles mathématiques spécifiques CFD (computed fluid dynamics).

Une étude expérimentale corrélée à un modèle mathématique décrivant le processus de diffusion a été publiée par *Piai et al.* 2019 pour l'élimination des micropolluants (1H-benzotriazole, diphénylchloridazone, diclofénac, guanilurée, hexaméthylènetétramine, iopamidol, iopromide, mélamine, metformine et pyrazole) par adsorption sur charbon actif granulaire. Les auteurs ont souligné que le taux d'adsorption est influencé par la masse moléculaire du micropolluant ainsi que la taille des pores du charbon actif granulaire. [11].

Lorsque l'efficacité de la méthode utilisée est inférieure aux exigences requises pour encadrer l'eau dans les limites de conformité, une purification avancée peut être réalisée en combinant deux méthodes d'élimination [12, 13]. *Yin and Shang* (2020) ont étudié l'élimination de trois micropolluants (bisphénol A, diclofénac et caféine) de l'eau potable en utilisant le procédé d'oxydation avancé UV-LED combiné à l'utilisation de chlore, suivi d'une adsorption sur charbon actif. La dégradation en présence de chlore du bisphénol A, du diclofénac et de la caféine a été atteinte à un degré d'environ 60%, ce processus a été suivi d'une élimination par photolyse UV directe (jusqu'à un degré d'environ 80%) puis d'une oxydation (élimination d'environ 90%). Les longueurs d'onde UV les plus efficaces pour la dégradation des micropolluants mentionnés étaient respectivement de 265, 285 et 300 nm. La dégradation des trois micropolluants a été renforcée en augmentant le pH de 6 à 8. Les micropolluants résiduels et leurs produits de dégradation ont été éliminés par adsorption à l'aide de charbon actif granulaire.

Les méthodes les plus efficaces d'élimination des micropolluants à l'heure actuelle sont l'oxydation à l'ozone et l'adsorption sur charbon actif granulaire, mais avec une faible efficacité pour les PFAS et de très faibles concentrations d'herbicides triazines (ng/L) et de leurs produits de dégradation [3].

Conclusions

Comme le montrent les études bibliographiques présentées, le problème de l'élimination des micropolluants de l'eau est loin d'être résolu technologiquement. Il est donc nécessaire d'identifier des solutions technologiques viables à greffer sur des solutions technologiques de traitement existantes, en utilisant des méthodes individuelles ou combinées telles que l'adsorption sur charbon actif, l'ozonation et la filtration membranaire, pour pouvoir atteindre les performances requises par la DEP 2020/2184 pour l'élimination de micropolluants organiques et inorganiques.

Références bibliographiques

1. Falconer, I.R., Chapman, H.F., Moore, M.R., Ranmuthugala, G., 2006. Endocrine-disrupting compounds: a review of their challenge to sustainable and safe water supply and water reuse. *Environ. Toxicol.* 21(2), 181–191.
2. Benner J., Helbling D. E., Kohler H. P. E., Wittebol J., Kaiser E., Prasse C., Ternes T. A., Albers C. N., Amand J., Horemans B., Springael D., Walravens E., Boon N., 2013. *Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking watertreatment processes?* *Water Research*, 47, 5955-5976.
3. Borrull J., Agustí Colom A., Fabregas J., Borrull F., Pocurull E., 2021. *Presence, behaviour and removal of selected organic micropollutants through drinking water treatment*. *Chemosphere*, 276, 130023.

4. Tröger R., Köhler S., Franke V., Bergstedt O., Wiberg K., 2020. *A case study of organic micropollutants in a major Swedish watersource – Removal efficiency in seven drinking water treatment plants and influence of operational age of granulated active carbon filters.* Science of the Total Environment, 706, 135680.
5. Fu H., Jiaying Huang J., Gray K., 2021. *Crumpled graphene balls adsorb micropollutants from water selectively and rapidly.* Carbon, 183, 958-969.
6. Barbhuiya N. H., Misra U., Singh S. P., 2022. *Biocatalytic membranes for combating the challenges of membrane fouling and micropollutants in water purification: A review.* Chemosphere, 286, 131757.
7. Cuhorka J., Wallace E., Mikulášek P., 2020. *Removal of micropollutants from water by commercially available nanofiltration membranes,* Science of the Total Environment, 720, 137474.
8. Sollicec M., Roy-Lachapelle A., Storck V., Callender K., Greer C. W., Barbeau B., 2021. *A data-independent acquisition approach based on HRMS to explore the biodegradation process of organic micropollutants involved in a biological ion-exchange drinking water filter.* Chemosphere, 277, 130216.
9. Hernandez-Leal L., Temmink H., Zeeman G., Buisman C.J.N., 2011. *Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon.* Water Research, 45, 2887-2896.
10. Wols B.A., Hofman-Caris C.H.M., 2012. *Review of photochemical reaction constants of organic micropollutants required for UV advanced oxidation processes in water.* Water Research 46, 2815-2827.
11. Piai L., Dykstra J. E., Adishakti M. G., Blokland M., Langenhoff A. A.M., van der Wal A., 2019. *Diffusion of hydrophilic organic micropollutants in granular activated carbon with different pore sizes.* Water Research, 162, 518-527.
12. Yin R., Shang C., 2020. *Removal of micropollutants in drinking water using UV-LED/chlorine advanced oxidation process followed by activated carbon adsorption.* Water Research, 185, 116297.
13. Jian Z., Bai Y., Chang Y., Liang J., Qu J., 2019. *Removal of micropollutants and cyanobacteria from drinking water using KMnO₄ pre-oxidation coupled with bioaugmentation.* Chemosphere 215

Etude de la qualité d'estuaire de Bouregreb et l'impact des projets d'aménagement

Samar AARABI, Mohamed KHAMAR, Essediya CHERKAOUI & Abderrahman NOUNAH,

Laboratoire Génie Civil et Environnement LGCE, Université Mohammed V de Rabat Maroc

Résumé

L'augmentation démographique et le développement industriel provoquent une menace très dangereuse sur l'écosystème aquatique, ainsi sur la santé humaine au niveau de l'oued Bouregreg. Les aménagements, dont les estuaires ont été l'objet depuis le milieu du siècle dernier, ont profondément modifié non seulement leur géométrie mais également les processus hydrologiques et sédimentologies naturels.

Oued Bouregreg est le deuxième fleuve important au Maroc, prend source au moyen atlas à une altitude de 1627m. Ce bassin est drainé par trois principales artères hydrologiques : l'oued Bou-Regreg, l'oued Grou et l'oued Korifla. Le barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah a été construit 24km en amont de l'estuaire de Bouregreg. Ce qui a complètement perturbé le fonctionnement de l'écosystème de l'estuaire de Bouregreg.

L'estuaire du bouregreg a reconnu depuis 2006, [le projet d'aménagement de la vallée du Bouregreg](#) parmi ces travaux la marina, le grand Burj Mohammed VI, l'extension de réseau du tramway Rabat-Salé et le grand théâtre.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact de ce projet d'aménagement sur la qualité du sédiment et de l'eau de l'estuaire. Les analyses ont été réalisées le long de l'estuaire à travers 9 stations (pk1 à pk 20).

Les paramètres physicochimique Les paramètres physicochimiques qui sont réalisée sur l'eau sont : la turbidité, le pH, la conductivité électrique, la DBO₅, la DCO, la salinité, la matière en suspension et les indicateurs de la pollution fécale pour la qualité bactériologique. Tandis que, pour le sédiment l'analyses granulométrique, le pH, la conductivité, le taux d'humidité, la matière organique, les coliformes, les champignons, ainsi que les germes pathogènes.

Mots clés : Estuaire Bouregreg, qualité d'eau et sédiment, caractérisation physicochimique, bactériologique.

1. Introduction

L'oued Bou Regreg pris sa source dans le Moyen Atlas, après un trajet long et tortueux, gonflé grossi par ses affluents, se prolonge par un large estuaire sur la côte atlantique. Il est connu dans l'antiquité par le nom de l'oued SALA.

Ce n'est qu'au XIII siècle qu'il a apparu sous le nom du « ABIRAKRAK », son nom Berbère était « ASIF URGRAZ » arabisé en « BURGRAG ». Ce dernier signifie en Berbère « le gravier » et s'applique à une Tribue berbère « RGRAGA » qui aurait séjourné longtemps sur les rives du fleuve. Ce fleuve est devenu célèbre à cause de sa liaison intime à l'histoire des villes des deux rives Rabat et Salé. Il sera le témoin privilégié, par sa petite histoire, d'une histoire plus grande et qui le dépasse, celle du Maroc depuis la plus haute antiquité à nos jours.

La région de l'embouchure du Bou Regreg a été habitée depuis la préhistoire, puisque l'homme de Rabat a été daté du Pré-Néanderthal. Ainsi, la vallée du Bou Regreg était longuement choisie comme lieu d'implantation. Selon certains historiens, les Phéniciens et les Carthaginois auraient bien fait installer un comptoir au bord du Bou Regreg. Après l'arrivée de l'islam à la fin du 7ème siècle et sous la dynastie des Idrissides, l'embouchure

du Bou Regreg était le théâtre des luttes continues entre Musulmans (rive gauche) et Bourghonates (rive droite). Ces rivalités ont donné lieu à deux villes de part et d'autre de l'estuaire.

Salé, dont le noyau constituait déjà un ensemble urbain, a été privée de son prestige par les Almoravides (1100-1147). Ces derniers ont édifié sur la rive gauche, sur l'emplacement de l'actuel Oudaya, un petit fort pour lutter contre les Bourghonates. Ce n'est qu'à l'époque des Almohades (1139-1269), que l'histoire de la vallée du Bou Regreg connaît son apogée. Yacoub El Mansour en 1184, entreprit la construction de Ribat El Fath dans une enceinte ajourée de portes monumentales : Bab Elhad, Bab laalou, Bab Rouah, Bab Zear. La rive droite (Salé actuellement), qui a été reliée à Ribat El Fath par un petit pont en bois, a connu durant la même période la construction d'un nouveau quartier et d'une partie des remparts et les deux cités Rabat et Salé vécurent en parfaite symbiose. Rabat s'occupait des activités politiques et militaires quant à Salé et grâce à son port fluvial, elle jouait le rôle de centre économique et commercial avec l'extérieur.

Du XIV au XVII siècle l'embouchure du Bou Regreg avec ses deux rives faisait le principal port commercial du Maroc. C'était le seul port de l'Atlantique qui était très connu par la pratique de la course, les autres villes portuaires étant occupées par les Espagnols, les Portugais ou par l'Angleterre. Celui-ci va décliner pour disparaître pratiquement ainsi que l'activité commerciale au lendemain de la création du port d'Essaouira en 1767. Au-delà de cette date, la relation de Rabat et de Salé avec la mer est devenue très réduite, malgré, les investissements énormes concernant la construction et l'entretien pour refaire de cette zone un port en dépit des conditions naturelles contraignantes, mais malheureusement, une fois le dragage du chenal est arrêté, toute navigation est devenue impossible.

Ainsi, dès 1932, l'activité portuaire a subi une chute continue des importations qui ont passé de 46 000 en 1932 à 21 000 tonnes en 1939. Le non dragage depuis 1939 a entraîné un envasement et un ensablement spectaculaire à ce jour, le faible fond rencontré empêche les bateaux d'accoster.

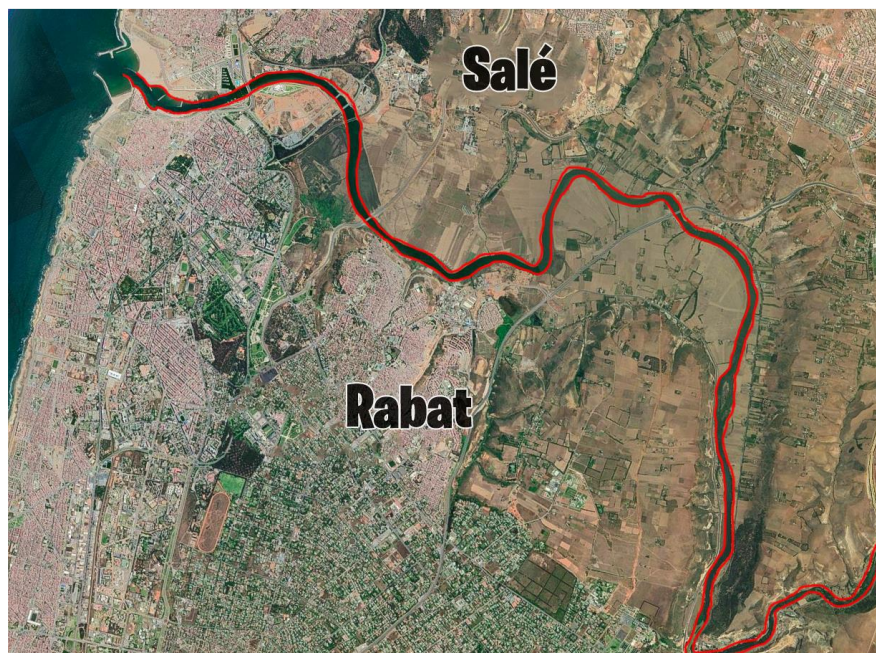


Figure 1 : Représentation générale de l'estuaire du Bou Regreg (Via Google Earth).

2. Matériel et méthode

Les stations d'échantillonnage ont été choisies de manière à nous permettre de répondre à l'objectif de notre étude. Ainsi en nous référant à certains travaux antécédents, et en prenant en considération un certain nombre d'éléments notamment la représentativité de l'estuaire pour le bien cerner spatialement, l'importance de la zone et l'accessibilité, huit stations, couvrant une distance de plus de 16 km, ont été retenues.



Figure 2 : Distribution des stations de prélèvement au niveau de l'estuaire de Bou Regreg (Via Google earth).

Station 1 (S1) : Localisée à environ 700 m de l'embouchure, cette station se caractérise par la restructuration d'oudaya, les activités de la pêche plus que ça c'est un endroit pour les oiseaux de Troupeaux d'aigrettes.

Station 2 (S2) : Localisée à environ 1.3 km de l'embouchure, elle est de grande activité humaine durant toute la journée et presque tout au long de l'année (traversée à la barque entre Rabat et Salé, collecte de palourdes, de couteau, activités ludiques des deux clubs nautiques de Rabat et Salé, vente de poisson frais au débarcadère de Salé, etc.). Cette station reçoit une part assez grande d'effluents pollués provenant de Salé et des chaussées de Rabat, elle reçoit également les eaux de vidange de la piscine du club de l'Olympique marocain situé sur la rive gauche.

Station 3 (S3) : Se trouve après le pont Hassan II, près de Grand Théâtre National de Rabat, d'une distance d'environ 3 km de l'embouchure, se caractérise par les rejets d'eaux usées de Bettana – Salé, la pêche est les activités similaires

Station 4 (S4) : Située à 4 km environ de l'embouchure, entre les deux ponts Moulay Youssef et Al Fida en aval de la terrasse Oulja. Elle est soumise aux rejets potiers de Salé et ceux d'eaux usées domestiques provenant de la localité de Kariat Ouled moussa et les activités de construction de la Tour Mohammed VI.

Station 5 (S5) : Cette station se distingue par l'agriculture et les activités industrielle est localisé près de pont Rabat Fath, d'environ 5.5 km de l'embouchure.

Station 6 (S6) : Localisé près de pont Rabat Fath, d'environ 7.2 km de l'embouchure, cette station aussi se caractérise par les activités de l'agriculture.

Station 7 (S7) : Localisée à 11.6 km de l'embouchure, dans une zone à vocation agricole (terrasse Oulja) en amont d'une ferme avicole, et les rejets d'eaux usées de Salé, elle est éloignée de toute agglomération urbaine.

Station 8 (S8) : Située dans une région à vocation agricole à 14.4 km de l'embouchure, c'est la station la plus continentale relativement loin des agglomérations urbaines. Elle est caractérisée par sa localisation en amont des îlots, ce sont des digues rocheuses qui représentent un obstacle physique limitant la remontée de la marée.

Station 9 (S9) : Localisée à 16.2 km de l'embouchure, cette station est la plus proche au confluent de l'oued Akrech qui ramène, entre autres, les rejets de traitement de l'eau potable de l'ONEP, les rejets et les lixiviats de la décharge d'Akrech et les rejets de Ain Aouda.

2.1 Eau

Afin d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de l'estuaire du Bouregreg, onze paramètres physico-chimiques ont été mesurés (conductivité électrique, salinité, le titre alcalin pH, Turbidité, Matière en suspension, demande biochimique en oxygène - DBO5, nitrates, sulfate et orthophosphates) selon les méthodes approuvées par RODIER 2009 [3]. Cependant, le dénombrement des paramètres bactériologiques (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) a été réalisé en utilisant la méthode indirecte de fermentation en tubes multiples en milieux sélectifs.

2.1 Sédiments

Au niveau de chaque station et à marée basse, nous avons prélevé 500g des sédiments, divisée en trois ; le premier sac de plastique concernant le tamisage a environ 300g et puis 100g dans une autre sac pour les analyses physico-chimiques, et le troisième c'est pour les analyses bactériologique d'environ 100g de masse, à l'aide d'un tuyau de drainage en PVC (Fig. 10). Les échantillons sont mis dans des sacs en plastique avec l'identification par le nombre de la station et la date de prélèvement propres et réfrigérés jusqu'à l'analyse.

Avant chaque tournée, le matériel d'échantillonnage doit être préparé et conditionné selon un protocole de nettoyage défini. Le nettoyage concerne tous les éléments ayant pu être en contact avec le sédiment prélevé.

3. Résultat et discussion

3.1 Le pH et la conductivité

Ph mesure par un pH-mètre, les valeurs trouvées montrent qu'au niveau de l'estuaire de bouregreg, l'évaluation de Ph de l'amont vers l'aval, pour la conductivité qui exprime la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Cette capacité dépend de plusieurs facteurs tel que la nature des ions présents et leurs concentrations totales. Concernant nos résultats, les conductivités illustrées durant notre période d'étude montrent que les valeurs maximales en stations 1 et 2 par ailleurs beaucoup des facteurs peuvent influencer localement la conductimétrie de l'eau telle la quantité de la matière minérale ou organique en suspension, la qualité physico-chimique et minérale des rejets urbains ou industriels.

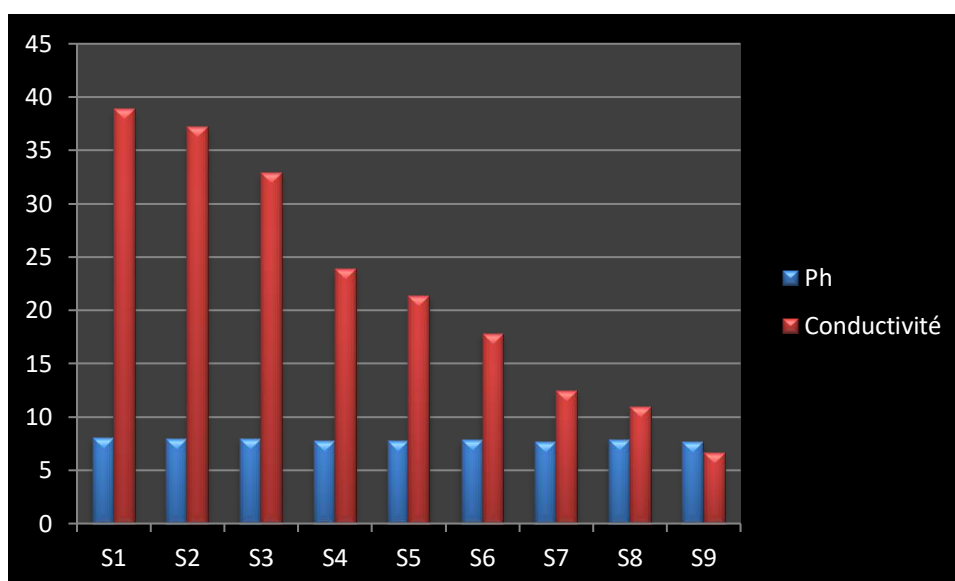


FIG 3 : histogramme représente les résultats de pH et la conductivité

3.2 La turbidité

Désigne la teneur durée eau en particules suspendues qui troublent on a mesure la turbidité en unité UNT avec un turbidimètre, on a trouvé en s1 et s2 les valeurs maximale ce qui marche avec la matière en suspension.

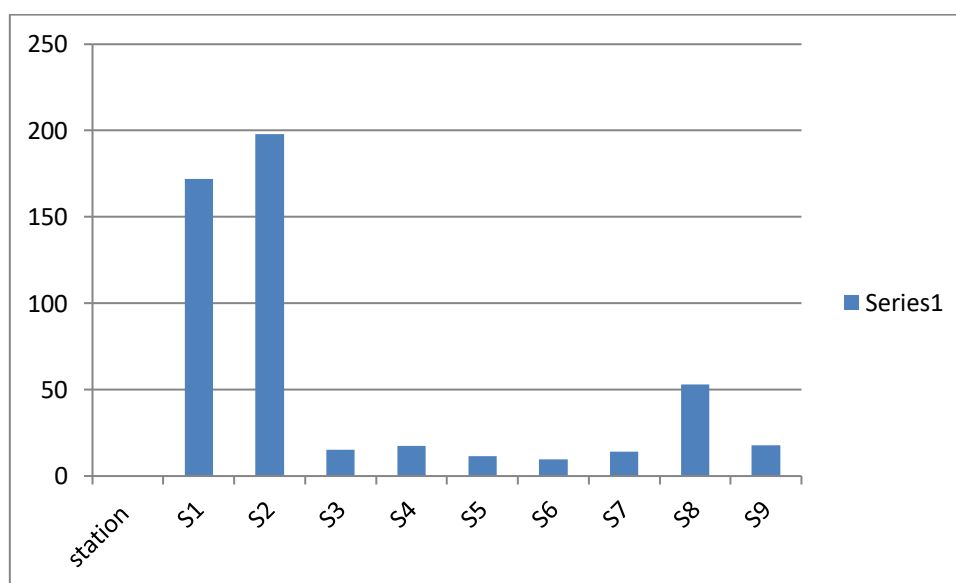


Fig 4 : histogramme représente les résultats de la turbidité

3.3 La DBO et DCO

On désigne la quantité d'oxygène moléculaire dissous consommée par les microorganismes pendant une durée d'incubation de cinq jours pour dégrader. Les analyses montrent des valeurs maximales en station 4 et la station 8 liées à une grande accumulation dans la zone de la matière organique rejetée dans les eaux usées. La DCO est la quantité d'oxygène exprimée en mg.

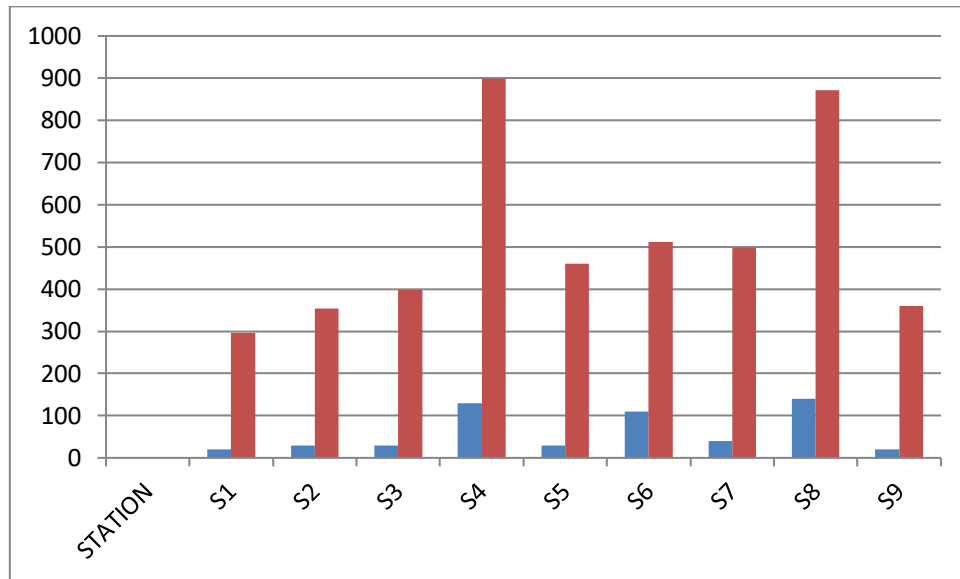


Fig 5 : histogramme représente les résultats de DBO et DCO

3.4 Salinité

Les valeurs enregistrées sont à l'évaluation de l'amont vers l'aval.

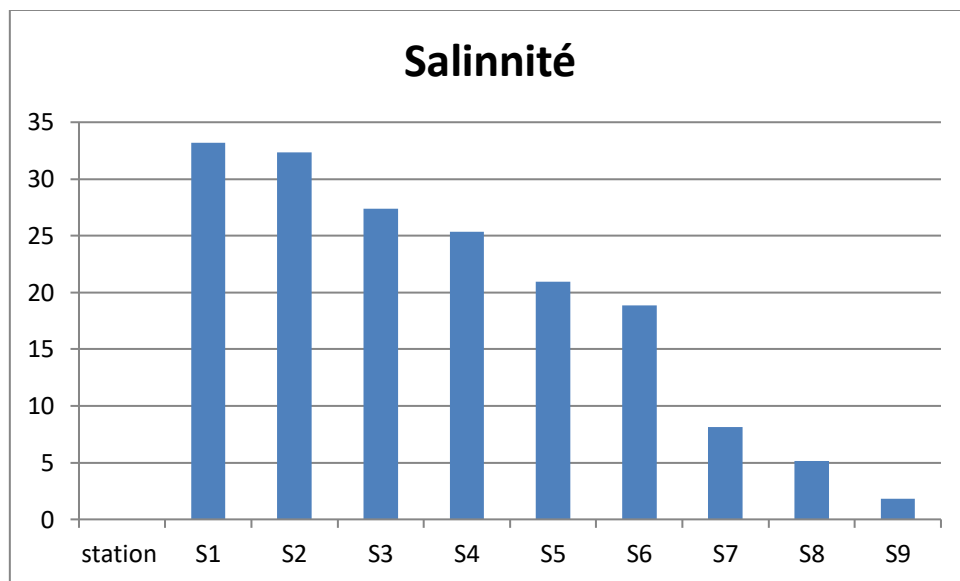


Fig 6 : histogramme représente les résultats de salinité

3.5 Sulfate

La comparaison des teneurs des neuf stations en sulfate montre une grande accumulation du sulfate en amont S1 et S2 sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques notamment le gypse (CaSO_4), la disparition de gradient de croissance de l'amont vers l'aval qui a été montrée en 1991 par EZZAOUAK.

stations	Orthophosphate	sulfate	nitrate
S1	0.053	0.6847	0.0291
S2	0.0314	0.8566	0.0314
S3	0.1224	0.5137	0.1165
S4	0.1610	0.7010	0.3774
S5	0.2035	0.3474	0.3789
S6	0.3065	0.2265	0.2857
S7	0.1620	0.2788	0.4505
S8	0.13205(1/10)	0.6886	0.6083
S9	0.1655	0.4544	0.1894

Fig 7 : Tableau représente les résultats de Orthophosphate , sulfate, nitrate

3.6 Nitrate et Le titre alcalin

Le nitrate se transforme en nitrites avec un déficit d'oxygène lorsqu'ils regagnent l'estuaire. Le profil des fluctuations situationnelles explique par les apports des lessivages des terrains l'ouija.

Pour le titre alcalin, les résultats montrent relativement très homogène le long de la partie de l'estuaire étudiée, en effet à l'exception la station 8 qui était un peu élevée. Probablement à cause de la matière organique.

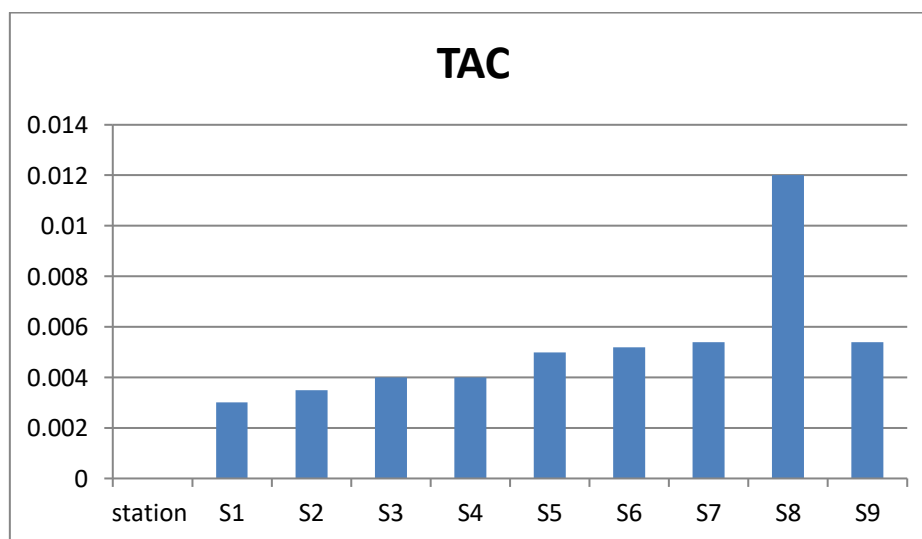


Fig 8 : histogramme représente les résultats de la TAC

Sédiment et la perte au feu

Permet de déterminer la matière organique à l'aide d'une étuve à T de 550C°, pour les neuf stations on a enregistré une valeur maximale en S4 et S8.

L'estimation de la charge organique totale par la méthode de perte au feu a révélé l'existence d'une variabilité spéciale assez prononcée.

Station	la masse des TC sédiment	La masse des TC+ sédiment après séchage à 550°C	Matière Organique (%)
S1	60.1805	58.4577	2.86
S2	61.9764	60.6024	3.19
S3	60.6165	58.03	4.2
S4	64.6264	58.3380	9.7
S5	60.4262	57.7217	4.48
S6	56.6181	54.8720	3.08
S7	60.2471	58.8081	2.39
S8	62.4845	58.3751	6.58
S9	60.6881	58.1759	4.13

Fig 9 : Tableau représente les résultats de la perte au feu

Granulométrie

Nous avons déterminé la texture sédimentaire et nous avons suivi son évolution dans le temps. Des analyses dimensionnelles (granulométrie) ont permis de caractériser le sédiment de l'estuaire à partir de trois fractions granulométriques principales dont la fraction fine ou taux de pélites (<63 μm), la fraction sableuse ou sable fin (63÷500 μm) et la fraction grossière ou sables grossiers et graviers (entre 500 - 2000 μm).

La station 1 a un indice de trask qui est égale à 1.51, ceci indique qu'il s'agit des sédiments bien classé.

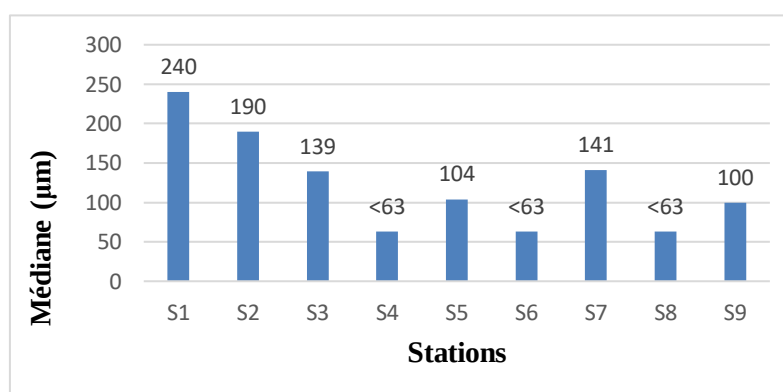


Fig 10 : Histogrammes des médianes granulométriques en fonction des différentes stations.

Fractions sédimentaires

La taille des grains est un facteur clé influençant la distribution et composition des communautés macrozoobenthiques, agissant directement ou indirectement sur les aliments et la teneur en oxygène disponible dans les sédiments (Semprucci et al., 2010).

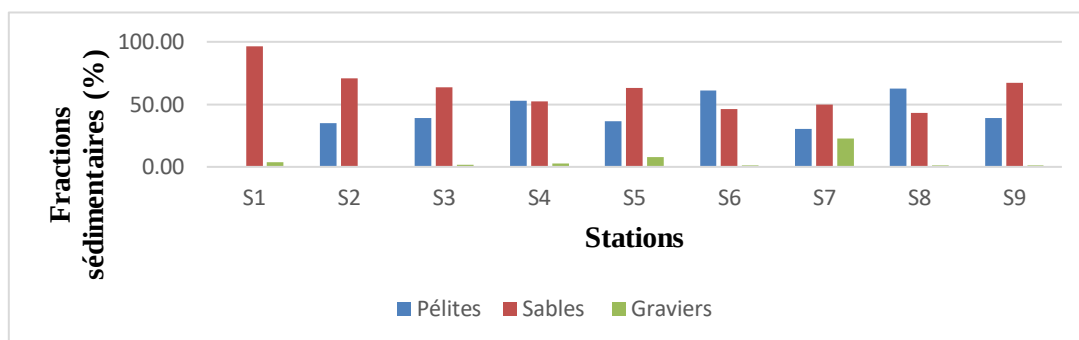


Fig. 11 : Évolution en % des fractions sédimentaires des 9 stations

Taux d'humidité

Elle consiste à déterminer la différence de masse entre l'échantillon mise dans un tares creuse et sèche à 105C° (jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Cette procédure permet d'une part de quantifier la teneur en eau libre dans l'échantillon et d'autre part d'exprimer les résultats en fonction de la masse séché du sédiment étudié.

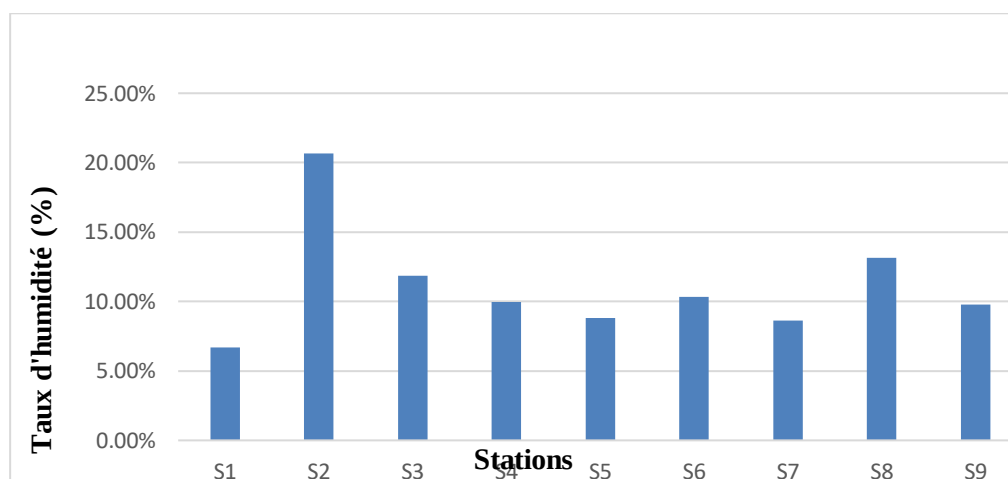


Fig 12 : Histogramme des teneurs en eau pour les différentes stations.

Caractéristique bactériologique de l'Eau

L'analyse bactériologique des différents échantillons d'eau consiste en un dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale pour connaître les coliformes fécaux (FC) et les streptocoques fécaux (FS).

Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux de neuf stations étudiées révèlent la présence des germes de contamination fécale. La charge moyenne en coliformes fécaux (CF) varie entre $2 \cdot 10^3$ et $1,1 \cdot 10^8$ (UFC/100 mL). En termes de charge bactérienne, la station S7 et S8 ont plus concentrée en staphylocoques fécaux que les autres stations.

4. Conclusion

Pour conclure et après tous ces analyses qu'on a fait pour l'eau et les sédiments bien évidemment physico-chimique et microbiologique, on a trouvé que la qualité d'estuaire à beaucoup dégrade et impacté négativement à cause des travaux d'aménagement de Marina Bouregreg, de la construction du grand théâtre et finalement le grand borj rabat et comme perspectif, les prochaines études trouvent des plans d'actions pour améliore la qualité d'estuaire de Bouregreg.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE DU MELANGE : LIXIVIAT/EAUX USEES DOMESTIQUES

Fatima BENRADI, Anass QOUTBANE, Essediya CHERKAoui, Mohamed KHAMAR, Abderrahman NOUNAH

Laboratoire Génie Civil et Environnement (LGCE), Ecole Supérieure de Technologie de Salé, Université Mohamed V, Rabat, Maroc

Résumé

Sous l'effet de la croissance économique et de l'urbanisation, la production nationale de déchets ménagers assimilés (DMA) atteindra 9,4 MT en 2030. Les décharges contrôlées au Maroc ont toutes des difficultés à gérer la surabondance surtout de lixiviat. Si la gestion des décharges s'améliore depuis plusieurs années, le volume de lixiviat produit ne cesse d'augmenter. Les solutions techniques réalisées par les sociétés délégataires pour le traitement des lixiviats consistent à un traitement biologique par aérobie et une filtration par osmose inverse.

Notre travail consiste à faire une caractérisation physico-chimique (pH, conductivité, turbidité, MES, sulfates, nitrates) et bactériologique (indicateurs de la pollution fécale) de lixiviat brut, de l'eau usée domestique brute et de différents pourcentages du mélange (lixiviat/eaux usée domestique). Afin d'appliquer un traitement biologique suivant le rapport DBO₅/DCO de différents mélanges.

Mots clés : lixiviat, eaux usées, caractérisation physico-chimique et bactériologique.

1. Introduction

Les Centres d'Enfouissement et de Valorisation des déchets (CEV) au Maroc ont tous des difficultés à gérer la surabondance de lixiviat. Dont la composition, l'évolution et la quantification des volumes produits des lixiviats, qui varient en fonction de la nature des déchets, du mode d'exploitation du centre de stockage (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage) et de l'infiltration des eaux [1]. Les mécanismes de la genèse des lixiviats sont très complexes, ils sont de natures physico-chimiques dont il résulte une modification des conditions du milieu (pH, température, potentiel d'oxydoréduction et biologiques aérobies et anaérobies dus à l'activité des micro-organismes hétérotrobes (bactéries levure, champignons) [2, 3]. Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été distingués :

- Les lixiviats jeunes : ils se caractérisent par une charge organique élevée relativement biodégradable (DBO₅/DCO > 0,5) constituée principalement d'Acides Gras Volatils ((%du COT) > 70, le pH est relativement bas < 6,5 [2].
- Les lixiviats intermédiaires : avec le temps les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les Acides Gras Volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviat) au profit de composés de hauts poids moléculaires, le pH est voisin de la neutralité et la charge en métaux devient négligeable. Ces lixiviats correspondent globalement à la phase méthanogène stable [3].
- Les lixiviats âgés ou stabilisés sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement des substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaires Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation [3].

Les lixiviats ne peuvent être rejetés dans le milieu naturel sans traitement, les procédés de traitement sont soit par voie biologique (aérobies ou anaérobies) ou par voie physico-chimique (précipitation, coagulation-floculation, adsorption, oxydation).

Dans ce cadre, notre étude consiste à mélanger les lixiviats jeunes avec les eaux usées prétraitées (EU) de la ville de Salé (Maroc) à différents pourcentage M1 (10% lixiviat et 90% EU), M2 (25% Lixiviat et 75% EU) et M3 (50% lixiviat et 50% EU).

2. Matériels et méthodes

Le lixiviat faisant l'objet de cette étude a été prélevé des camions de transport des déchets ménagers de la ville de de Salé (Commune Urbaine de Laâyayda). Tandis que les eaux usées sont prélevées du Station de Prétraitement des Eaux Usées de Salé, après un prétraitement.

Avant d'appliquer le procédé de traitement biologique aéré, les échantillons ont été analysés de point de vue bactériologiques et physicochimiques.

2.1. Analyses bactériologiques

Pour l'analyse bactériologique, en plus des germes totaux on a déterminé les indicateurs de la pollution : les coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux. La méthode d'analyse utilisée est la méthode du nombre le plus probable NPP pour les indicateurs de la pollution et comptage directe sur gélose.

2.2. Analyses physico-chimiques

Le pH et la température ont été déterminés par un pH-mètre 206 Lutron muni d'une sonde mesurant la Température. La turbidité était déterminée par la turbidité HACH 21009. Les matières en suspension (MES) sont déterminées en filtrant un volume d'échantillon sur des filtres cellulose [4] préalablement séchés et pesés, par la suite placés à l'étuve à 105°C pendant 2 heures et sont repesés. Les solides totaux sont constitués par les matière dissoutes et les matières en suspension contenues dans des échantillons liquides, ils sont déterminés par évaporation à 105°C, après refroidissement et pesage des creusets céramiques, on les met dans un four à 550°C pendant au moins 1 heure [7]. Les orthophosphates sont déterminés par la spectrométrie d'absorption moléculaire en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium [4], pour former l'acide phosphomolybdique. Cet acide est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène, dont l'absorbance à 880 nm est proportionnelle à la concentration de phosphore [5]. Les nitrates sont déterminés par la spectrométrie d'absorption moléculaire, en présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium [4]. Pour le dosage des sulfates, la méthode utilisée est la méthode néphélométrique [4].

Ce travail va nous permettre de choisir le mélange eaux usées /lixiviat qui a une caractéristique physicochimique et bactériologique le plus proche aux eaux usées afin d'appliquer le procédé de traitement biologique.

3. Résultats et discussions

3.1. Caractéristiques bactériologiques

D'après les résultats obtenus, on déduit que les EU brutes sont chargées en Coliformes Fécaux par rapport aux lixiviat bruts. Le rapport CF/SF des EU est de 1150 montre que l'origine de la pollution fécale des EU de la ville de Salé est strictement humaine [6].

Echantillon	Coliformes Fécaux/100 ml	Streptocoques Fécaux/100 ml
Eaux usées	$2,3 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^6$
M1	$2 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^7$
M2	$4 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^7$
M3	$4 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^7$
Lixiviat	$0,92 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$

Tableau 3 : Concentration en CF et SF

3.2. Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des deux rejets (Lixiviats et eaux usées) et les différents mélanges (M1, M2 et M3) au temps T0 avant le traitement biologique, montrent que le pH est relativement neutre (7,58) pour les EU, il est similaire à celui enregistré dans les rejets des eaux usées de la ville de Tiflet [8]. Par contre, le pH est acide (4,24) pour les lixiviats bruts (Figure 1), le pH est inférieur à 6,5 confirme que notre échantillon de lixiviat est jeune [2].

La conductivité dépasse 15 ms/cm pour les lixiviats bruts et atteint 2,2 ms/cm, pour les EU brutes. La conductivité augmente en passant des eaux usées vers les lixiviats (figure 2). La turbidité est faible pour les eaux usées, mais elle augmente selon le pourcentage du lixiviat. Pour le mélange M1 la concentration est 270 mg/l inférieur aux valeurs limites des eaux d'irrigation (2000 mg/l) [9].

La concentration en Matière Organique (MO) est importante pour les lixiviats bruts par rapport au EU brutes (0,5 g/l) (figure 3). La concentration en MES est de 0,05 g/l pour les EU très inférieure par rapport aux lixiviats (1,77 g/l). Pour les différents mélanges, elle varie selon le pourcentage du lixiviat.

Les EU brutes ont une concentration en orthophosphates de 0,120 mg/l qui est inférieur à celle du lixiviat 0,427 mg/l. La concentration en sulfates est très importante pour les lixiviats bruts est de 244 mg/l par rapport aux EU brutes qui est de 31 mg/l (figure 4), même chose pour la concentration en nitrates, elle est importante pour le lixiviats brutes 3,1 mg/l et les EU brutes 0,1 mg/l (figure 5). Pour le mélange M1 la concentration en sulfate est 55 mg/l inférieur aux valeurs limites des eaux d'irrigation [9].

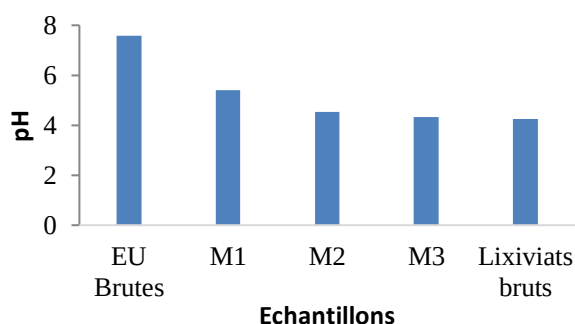


Figure 1 : Variation du pH

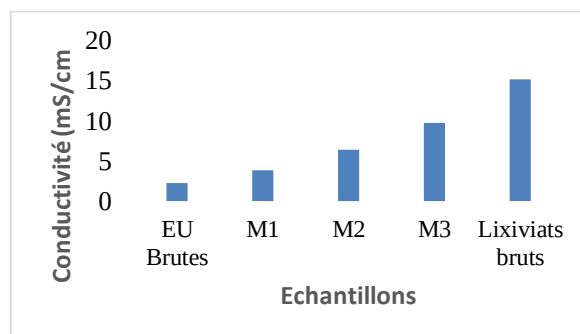


Figure 2 : Variation de la conductivité

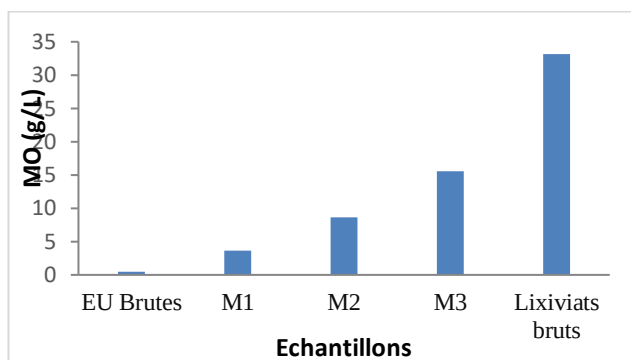


Figure 3 : Variation de la concentration de la MO en g/l

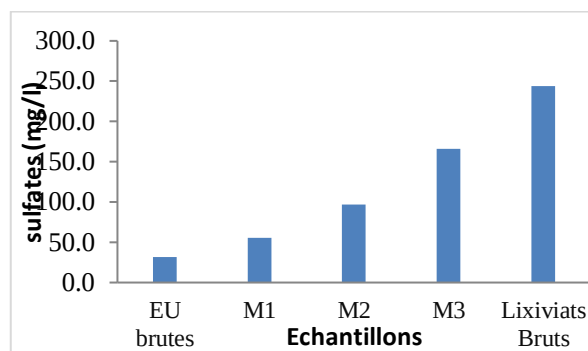
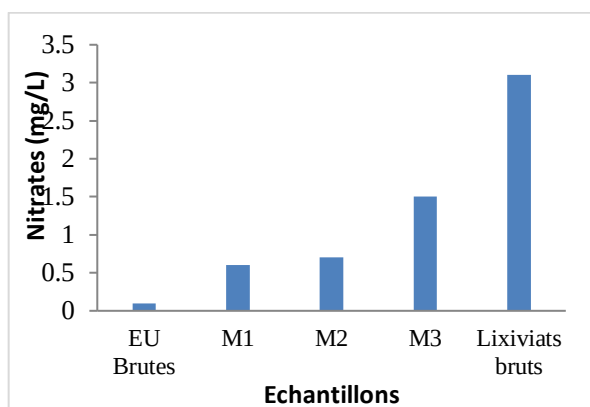
Figure 4 : Variation de la concentration du sulfates (SO_4^{2-}) en mg/l

Figure 5 : Variation de la concentration du Nitrates (mg/l)

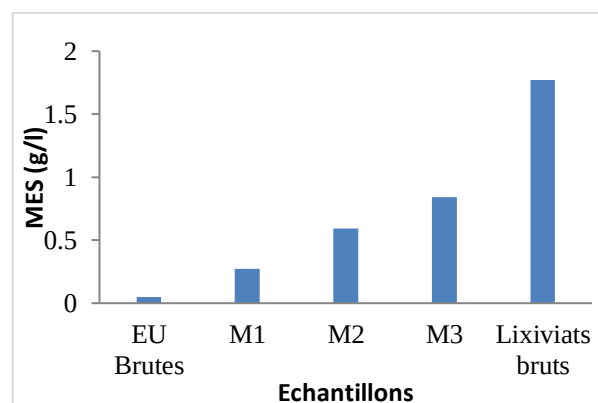


Figure 6 : Variation de la concentration de MES (g/l)

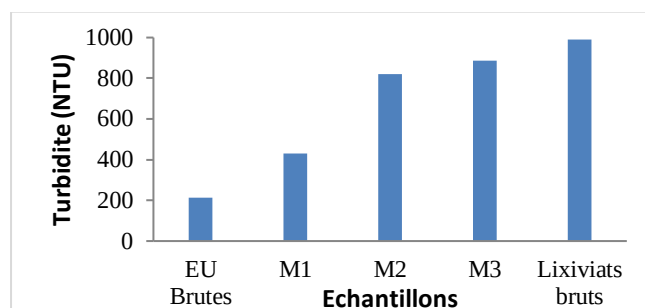


Figure 7 : Variation de la turbidité (NTU)

4. Conclusion

Nous avons procédé premièrement à la caractérisation bactériologique et physico-chimique des paramètres pH, turbidité, conductivité, MES, MO, Sulfates et nitrates pour les EU, lixiviats et les différents pourcentages du mélange lixiviat/EU. Les résultats montrent que ces paramètres sont variables, généralement faible pour les EU (turbidité, conductivité, MES, MO, nitrates et sulfates) par rapport au lixiviat.

Les paramètres physico chimiques des différents mélanges M1, M2 et M3 montrent un gradient positif avec le pourcentage du lixiviat. Cependant, le mélange M1 reste le plus proche aux eaux usées donc on va procéder à faire le traitement biologique a ce mélange et même à faire une concentration plus faible comme par exemple 7%, ou 5% de lixiviat.

5. Références bibliographique

- [1]. BELLE E., 2008, Evolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Etueffont (Territoire de Belfort-France), Thèse Doctorat, Université de Franche-Comté.
- [2]. TRABELSI S., 2011, Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne « Jebel Chakir », Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, Université Paris-Est.
- [3]. Renou S., Poulain S., Département de Technologie Nucléaire, Commissariat à l'Energie Atomique, J. Gagnaire, de Cadarache, B. Marrot et P. Moulin, Université Paul Cézanne Aix Marseille, Département en procédés Propres et Environnement (M2P2-UMR-CNRS-G11), « Lixiviat de centre de stockage : déchet généré par des déchets », L'Eau, l'Industrie, Les Nuisances N°310, 37-43.
- [4]. Rodier J., l'Analyse de l'eau, 9^{ème} édition, DUNOD.
- [5]. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2016 (révision 2,) Méthode d'analyse (MA.303-P1.1), Détermination de orthophosphates dans l'eau : méthode colorimétrique automatisé à l'acide ascorbique.
- [6]. Majdy I., 2021, Evaluation de l'impact de la réutilisation des eaux usées de la ville de Salé en agriculture de la fève, Université Mohammed V de Rabat, Ecole Supérieure de Technologie de Salé/Ecole Mohammadia d'Ingénieurs.
- [7]. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2017 (révision 5,) Méthode d'analyse (MA.100-S.T.1.1), Détermination des solides totaux et es solides totaux volatils : méthode gravimétrique.
- [8]. Qoutbane A. Cherkaoui E. Khamar M., Nounah A., 2020, « Characterization and methods of treating waste water from the city of Tiflet », International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, Volume 11, Issue 6, pp.80-94.
- [9]. Boughou N., Majdy I., Cherkaoui E., Khamar M., Nounah A., 2018, « Physico-chemical characterization of wastewater from slaughterhouse: case of Rabat in Morocco », ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, Vol. 13, N°2.

Efficiencia de l'eau d'irrigation d'une zone d'arboriculture en montagne méditerranéenne.

Zoubeida BARGAOUI⁽¹⁾, Amel BEJAOUI⁽¹⁾, Elyes GAUBI⁽²⁾, Sabrine JEMAI⁽¹⁾

(1) Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis, Université Tunis El Manar

(2) Faculté des sciences de Tunis, Université Tunis El Manar

zoubeida.bargaoui@laposte.net

Résumé

En périmètre irrigué, le comptage des quantités consommées pour l'irrigation participe à la maîtrise de l'eau. Le système d'irrigation étudié est celui du périmètre irrigué de Dkhila (Tunisie), situé en montagne, et dédié à l'arboriculture (pommiers, cerisiers). Il est composé d'une station de pompage de 60m³/h, d'un réservoir à trop plein, d'un réseau avec 3 lignes principales et 33 compteurs pour une surface irriguée de 50.5 hectares. Il s'agit d'irrigation au goutte à goutte opérée de 17h à 11h le lendemain, créneau à tarif préférentiel pour la consommation électrique. Nous disposons des observations des compteurs pour la campagne agricole septembre 2019- septembre 2020. Juillet à septembre est la période la plus sollicitée avec 75 à 98% de la surface irriguée. Juin est le seul mois où tous les exploitants ont fait usage de l'irrigation. Durant les autres mois, un irrigant peut consommer de 2 à 6 fois la moyenne. Sur l'ensemble de la saison, la moyenne par irrigant était de 448 m³/h. Un modèle de bilan hydrique est adopté pour estimer l'évapotranspiration réelle et évaluer l'efficacité de l'eau. Il a pour entrées les quantités de pluie et d'irrigation, des observations climatiques telles que la température de l'air et le rayonnement global ainsi que l'indice de surface foliaire satellitaire pour estimer le coefficient cultural. L'estimation de l'humidité du sol par le modèle est comparée à des observations satellitaires d'indice d'humidité du sol. Le modèle a une bonne capacité prédictive. Il en résulte que l'efficacité de l'eau représentée par le rapport de l'évapotranspiration réelle à la somme des quantités de pluie et des apports d'irrigation est égal à 0.87.

Allocation optimale de l'eau dans le bassin versant du fleuve Sénégal,

Dr. Abdoulaye FATY

Université Cheikh Anta Diop de Dakar – Sénégal
abdoulaye.faty@ucad.edu.sn

En prélude au « séminaire d'étude et de propositions » sur l'eau, l'énergie et l'électrification dans les pays en développement, notre thème s'inscrit à la situation géopolitique et le développement économique soutenable. Chaque état riverain du fleuve Sénégal fait face à des problèmes similaires de pénuries et de demandes croissantes en énergie. La production de la centrale de Manantali et de Felou, seul aménagement hydroélectrique fonctionnel sur le bassin couvre moins de 18% des besoins. Il existe un besoin pressant de maîtriser les affluents majeurs du fleuve pour réduire les impacts de la sécheresse et des fortes crues sur l'environnement et faciliter la pratique d'activité connexes telle l'irrigation et la navigation au niveau de la vallée et du delta. La gestion des ressources en eau reste donc un enjeu capital pour la croissance économique des états riverains du fleuve.

L'objectif de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) est de renforcer l'économie de ses états membre en plaçant la gestion et la mise en valeur collective des ressources en eau au centre de ses priorités. Il s'agit à l'échéance 2025, d'étendre les aménagements hydroélectriques dans le haut bassin de manière à atteindre une puissance installée de 1050 MW et d'assurer un soutien d'étiage adéquat pour le développement de l'agriculture irriguée et de la navigation de la vallée et du delta.

Cette étude analyse les impacts de ces éventuels aménagements sur le régime hydrologique du fleuve. Une approche analytique par scénario a été testée dans le système d'aide à la décision Water Evaluation And Planning (WEAP). Il s'agit d'un modèle de simulation et de gestion des bassins hydrographiques qui réalise un bilan volumique conservatif des masses d'eaux entrantes et sortantes sur l'ensemble de la durée de la chronique des apports compte tenu des consignes de gestion et des contraintes physiques du système. WEAP permet l'édition et l'analyse des grandeurs utiles relatives au fonctionnement des bassins hydrographiques.

Les résultats des simulations montrent que le contexte actuel d'aménagement du bassin permet de garantir (en moyenne 8 années sur 10) une production d'énergie annuelle de 700 GWh tout en satisfaisant les besoins en soutien des basses eaux de la vallée et du delta qui sont évalués à 1567 Mm³/an. Toutefois l'extension des aménagements agricoles et la prise en compte de la navigation fluviale entre Kayes et Saint-Louis aura pour conséquence d'établir une compétition entre la production d'énergie à Manantali et le soutien d'étiage, particulièrement durant la saison des basses eaux entre décembre et mai. Les déficits d'allocation observés varient entre 8 et 20% selon que l'état d'hydraulicité du fleuve est humide ou sec. Les impacts de l'aménagement du haut bassin par la mise en service des barrages de Koukoutamba, Boureya et Goubassi dans le scénario 3 restent importants et positifs. En effet, outre l'accroissement de près de 410% de la production d'énergie hydroélectrique, Koukoutamba et Boureya régulent les débits entrants à Manantali durant la saison des basses eaux, se traduisant par une augmentation du niveau de fonctionnement du réservoir de Manantali et par conséquent une réduction de plus de 50% des déficits de soutien des basses eaux au niveau de la vallée et du delta. Durant la saison des hautes eaux, la réduction des volumes entrants à Manantali due au remplissage des retenues de Koukoutamba et Boureya réduit de près de 60% les déversements de Manantali durant les années humides et de 15% le niveau de fonctionnement de la centrale durant les années sèches consécutives.

Les différents aspects du manque d'eau et la dépendance alimentaire en Algérie

Brahim MOUHOUCHE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) ex INA El-Harrach 16009 Alger

Résumé

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en eau. De part son appartenance à la zone géographique du Middle-East and North Africa (MENA), la quasi-totalité de son territoire dépasse les 87%, de ce fait, elle est considérée comme étant désertique. Sa pluviométrie moyenne annuelle, toutes zones confondues n'est que de l'ordre de 89 mm/an.

Ainsi, l'Algérie est classée parmi les 17 pays qui souffrent le plus du manque d'eau à travers le monde.

En effet, avec moins de 300 m³/hab./an d'eau renouvelable, soit moins de 5% de la moyenne mondiale estimée à 6000 m³/hab./an. De ce fait, l'Algérie ne dispose que de moins de 30% du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³/hab./an.

Cette situation fait que la production agricole n'arrive pas à subvenir aux besoins alimentaires de la population, il en est une dépendance alimentaire aigue, particulièrement, en ce qui concerne les produits alimentaires stratégiques de grande consommation et leurs dérivés.

Cette dépendance est le résultat d'un certain nombre de facteurs naturels et humains, parmi les plus importants, nous pouvons citer :

- Le manque de pluie et sa mauvaise répartition spatiotemporelle entraînant ainsi une faiblesse de la SAU et des surfaces irriguées,
- Une demande climatique parmi les plus importantes dans le monde,
- La mauvaise gestion du peu de ressources hydriques dont nous disposons,
- Une mauvaise performance de notre agriculture causée par l'effet conjugué du manque d'eau et la demande climatique élevée, particulièrement pour les cultures pluviales,
- Le non-respect de l'itinéraire technique de la plupart des cultures.

Afin de proposer des solutions futures, nous passons en revue les facteurs cités ci-dessus dans notre étude.

Mots clés : Manque de pluies, les ressources hydriques, dépendance alimentaire, efficience d'irrigation, eau virtuelle, Algérie.

Aquaponie : Un système innovant d'aquaculture et d'agriculture

Andrianelison RAKOTOMAHEVITRA

Institut d'Enseignement Supérieur de Soavinandriana Itasy, Université d'Antananarivo

andri_rakotom@yahoo.fr

Résumé

La rizi-pisciculture a été pratiquée depuis plusieurs décennies dans des pays comme Madagascar. La détérioration des bassins versants provoquant l'ensablement des rizières constitue un des facteurs de découragement pour la continuation de ce système de co-production. Par ailleurs, l'insuffisance (voire absence) de traitement des eaux usées dans la plupart des grandes villes des pays en voie de développement a un impact considérable sur la qualité hygiénique non seulement des produits des cultures maraichères dans les plaines environnantes mais aussi des poissons que l'on trouve dans les marchés hebdomadaires de certains quartiers de ces villes.

Par ailleurs, la croissance démographique galopante et le changement climatique impliquent une compétition croissante pour l'espace, l'eau, l'énergie et l'alimentation. Ainsi, les modes de production agricoles et aquacoles doivent évoluer vers des systèmes intégrés.

L'aquaponie s'avère alors une alternative innovante pour une co-production piscicole et végétale aussi bien dans le monde rural qu'urbain dans certains pays comme à Madagascar. Elle est l'une des « dix technologies capables de changer le monde » (Van Woensel L. & Archer G., 2015, Publication du Parlement Européen). Ouvrier/technicien en aquaponie (aquaculture et production maraichère) figure en première liste des 17 métiers émergents ou en forte évolution (Cap Métiers Nouvelle-Aquitaine, septembre 2019).

L'Institut d'Enseignement Supérieur de Soavinandriana Itasy est l'unique établissement supérieur malgache à avoir une offre de formation supérieure professionnalisante en aquaponie. Il bénéficie d'un appui financier et en infrastructure de la Région Nouvelle Aquitaine et de l'Agence Française de Développement dans le cadre d'un projet triennal (2019-2022) sur l'amélioration de la Formation Rurale dans la Région de l'Itasy-Madagascar.

L'objet de cet article est de présenter l'organisation de l'offre de formation en aquaponie et sa contribution dans le domaine de « La maîtrise de l'énergie et de l'eau » se rapportant sur les thématiques abordées dans ce colloque.

La distribution de l'eau hors réseau à Libreville (Gabon) : Enjeux de formation et stratégies de développement

Solange KIKI MVOUAKA, Annie KEKA BEKA, Pr Véronique Solange OKOME BEKA,

Ecole Normale Supérieure, Libreville, Gabon

ksolange60@yahoo.fr, bekannie@yahoo.fr, verosol_okom@yahoo.fr

Résumé

De la qualité de l'eau dépend la qualité des écosystèmes et la survie des espèces. L'eau est indispensable dans toutes les activités quotidiennes de l'homme. Si l'accès à l'eau potable est une condition nécessaire à des usages qui permettent de prévenir un certain nombre de maladies. Cependant, bien qu'indispensable dans toutes les activités quotidiennes de l'homme, l'accès à cette ressource demeure encore insuffisant dans certaines zones de la planète. C'est le cas de l'Afrique et particulièrement du Gabon. Un meilleur accès à l'eau doit être accompagné par des pratiques d'hygiène exécutées au bon moment. Selon l'OMS (2015), 88 % des maladies diarrhéiques et infectieuses sont dues à l'utilisation d'eau insalubre et à des problèmes d'assainissement et d'hygiène. La sécurité sanitaire de l'eau est un domaine qui se prête bien aux démarches qualité et de maîtrise des risques. Elle repose essentiellement sur les professionnels de terrain. La demande accrue de la population, le manque d'accès à l'eau, la multiplication des risques liés à son acquisition et transport font naître de nouveaux métiers.

Au Gabon, ces nouveaux métiers exécutés dans un cadre informel posent nécessairement un problème de formation. Dans ce travail, il est question de dégager les enjeux de formation pour ces nouveaux métiers, afin d'élaborer des stratégies pour une distribution durable en eau potable pour les populations gabonaises.

Mots clés : Eau, distribution, enjeux de formation, stratégies, durabilité, Gabon

Perspectives pour la gestion énergétique intelligente de serres en milieu urbain

¹Nilson HENAO, ¹Kodjo AGBOSSOU, ²Carolina VARGAS

¹Département de génie électrique et de génie informatique, Laboratoire d'innovation et de recherche en énergie intelligente

²Département de Génie Industriel, Université du Québec à Trois-Rivières

Résumé

Les enjeux sociaux, économiques et environnementaux de la transition énergétique et de l'autosuffisance alimentaire demandent des efforts importants en termes d'efficacité énergétique et de l'augmentation de la capacité de production agricole toute l'année. La décarbonisation (électrification) des serres ainsi que l'augmentation de la surface dédiée à la production des cultures horticoles dans des environnements contrôlés auront comme conséquence des appels de puissance plus élevés pour le réseau électrique. Au Québec, ce problème va s'accroître lorsque la culture s'étendra sur les quatre saisons dont l'hiver représente notamment une période de forte consommation. Cet article explore de façon générale les défis, les opportunités et les potentiels dans la gestion de variables environnementales des installations horticoles en serre (éclairage, température, l'humidité, concentration de CO₂, irrigation, etc.). Particulièrement, en ce qui concerne l'adoption de technologies intelligentes permettant une prise de décision optimale en termes de gestion énergétique et de contrôle. Ces systèmes pourront bâtir de modèles fondés sur les données et considérer les nouvelles structures tarifaires dans les processus décisionnels permettant ainsi de minimiser les coûts énergétiques finaux pour les serriculteurs. Il s'agit de maximiser la flexibilité de la charge électrique de la serre tout en gardant des conditions appropriées pour les cultures dans un environnement contrôlé. En plus, ce document donne un aperçu global du potentiel de l'intelligence artificielle et la science de données dans l'automatisation de serres en milieu urbain. Dans ce sens, une formulation générale du problème d'optimisation en considérant les objectifs économiques et de contrôle de la serre est présentée.

Mots clés : serres intelligentes, serres urbaines, efficacité énergétique, intelligence artificielle

Etude de l'électrification par l'énergie hydrolienne côté ouest de Madagascar

Nirilalaina RANDRIATEFISON ¹, Yvon ANDRIANAHARISON ²

1 : Laboratoire des Sciences expérimentales et Mathématiques, Ecole Normale Supérieure,
Université d'Antananarivo, Madagascar,

2 : Laboratoire d'Electricité, Signaux et Automatique, Ecole Supérieure Polytechnique,
Université d'Antananarivo, Madagascar

Correspondant : randriatefison@yahoo.fr

Résumé : Compte tenu du faible taux d'électrification et de la mauvaise santé financière de la compagnie d'électricité qui est une entreprise publique JIRAMA, n'a pas encore proposé une solution efficace pour résoudre le problème de délestage, dont les coûts d'exploitation sont parmi les plus élevés en Afrique, atteignant plus de 0,30 USD/kWh en 2017. Le bois de chauffe et le charbon de bois constituent les principales sources d'énergie de cuisson, des groupes électrogènes très anciens alimentés par des carburants qui ont des mauvais impacts sur l'environnement, l'énergie renouvelable reste encore marginale car elle constitue moins de 1%. Ainsi que le sort de la planète et l'effort collectif nécessaire à réduire les émanations de CO₂. Madagascar se situe sur le Canal de Mozambique, ses principales villes de la côte ouest sont Antsiranana, Mahajanga, Toliara, Morondava, Nosy Be, zones de courants de marée importants supérieurs à 4 ou 5 nœuds dû à la présence du courant des Aiguilles, une amplitude de la marée entre 110 et 120 cm provoquant de forts courants et de profondeur de l'ordre de 30 à 40 mètres. Pour analyser le bon fonctionnement et la productivité des hydroliennes, nous utilisons les paramètres technico-économiquement importants : bathymétrie, vitesses, fond marin, l'implantation et le système. Le résultat montre de pente faible de 0% à 0,33%, de vitesse des courants entre 1,5 et 2,5m/s, de profondeur 40 ou 50 m, et de nature sable- argileux, alors les grandes villes à proximité des côtes ouest ont de potentiels hydromarins favorables.

Notre objectif est d'électrifier les villes de la côte ouest de Madagascar par l'exploitation de la nouvelle source d'énergie, qui sont des sites favorables à l'implantation d'hydrolienne, comme une solution prometteuse pour contribuer et de promouvoir un développement de l'économie locale, à la transition énergétique du contexte mondial. Inciter et sensibiliser les jeunes à s'investir dans la recherche, favoriser le transfert de technologie, les acquis et innovations techniques issues de la recherche, c'est la nécessité de travail collaboratif entre les pays du Nord et ceux du Sud

Mots clés : électrification, énergie, hydrolienne, technico-économique, côte ouest

Abstract: In view of the low electrification rate and the poor financial health of the electricity company which is a public enterprise JIRAMA, has not yet proposed an effective solution to solve the load shedding problem, whose operating costs are among the highest in Africa, reaching over 0.30 USD / kWh in 2017. Fuel wood and charcoal are the main sources of cooking energy, very old generators powered by fuels that have bad impact on the environment, renewable energy is still marginal because it constitutes less than 1%. As well as the fate of the planet and the collective effort required to reduce CO₂ emissions. Madagascar is located on the Mozambique Channel, its main cities on the west coast are Antsiranana, Mahajanga, Toliara, Morondava, Nosy Be, areas of significant tidal currents greater than 4 or 5 knots due to the presence of the agulhas current, a tidal amplitude between 110 and 120 cm causing strong currents and depth of the order of 30 to 40 meters. To analyze the proper functioning and productivity of tidal turbines, we use the technico-economically important parameters: bathymetry, speeds, seabed, location and system. The result shows a low slope of 0% to 0.33%, a speed of the currents between 1.5 and 2.5m / s, a depth of 40 or 50 m, and of a sandy-clay nature, so the big cities nearby west coasts have favorable hydromarins potentials.

Our objective is to electrify the cities of the west coast of Madagascar by exploiting the new energy source, which is favorable sites for the installation of tidal turbines, as a promising solution to contribute and promote development from the local economy, to the energy transition of the global context. Encourage and educate young people to invest in research, promote technology transfer, technical achievements and innovations resulting from research, this is the need for collaborative work between countries of the North and those of the South.

Keywords: electrification, energy, tidal turbine, technical-economic, west coast

Introduction

Avec plus de 5000 km de côte, Madagascar est situé dans l'Océan Indien. L'île est séparée de l'Afrique par le canal de Mozambique, d'une distance de 400 km. Les îles aux alentours de Madagascar sont : Mayotte et l'archipel des Comores à l'ouest, La Réunion et Maurice à l'est, Les Seychelles au nord. En ce qui concerne les principales villes de la côte ouest de Madagascar, il y a : Diego Suarez (Antsiranana), située à l'extrême nord, Majunga (Mahajanga) au nord ouest, Tulear (Toliara) au sud ouest, Morondava à l'ouest, et Nosy Be, l'île côtière de Madagascar située dans le canal du Mozambique

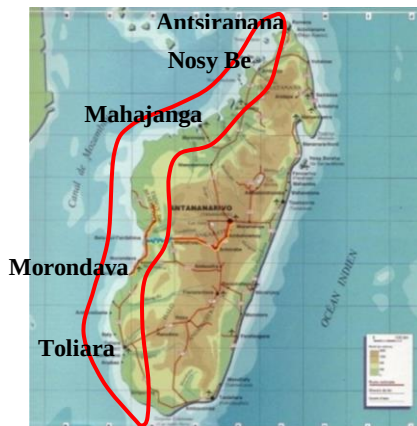


Figure 1 : Carte de Madagascar, Côte ouest [1]

Préoccupés par la production énergétique très faible et très chère Madagascar, surtout, dans le cote-ouest, majorité des groupes électrogènes très anciens, les carburants sont acheminés par des bateaux en mer ou par des poids lourds en par voie routier, toujours de problème de délestage, ainsi que le sort de la planète et l'effort collectif nécessaire à réduire les émanations de CO₂. Lors de l'ouverture de la conférence Rio+20 (découlant du sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992, le secrétaire général de l'ONU, a proposé trois objectifs majeurs d'ici à 2030, dans le domaine énergétique.

Contextes

Madagascar se situe dans le canal de Mozambique, une partie du courant s'infléchit vers le Sud-ouest et devient le courant du Mozambique, qui longe la côte d'Afrique. Le débit et la vitesse du courant du Mozambique diffèrent suivant la saison.

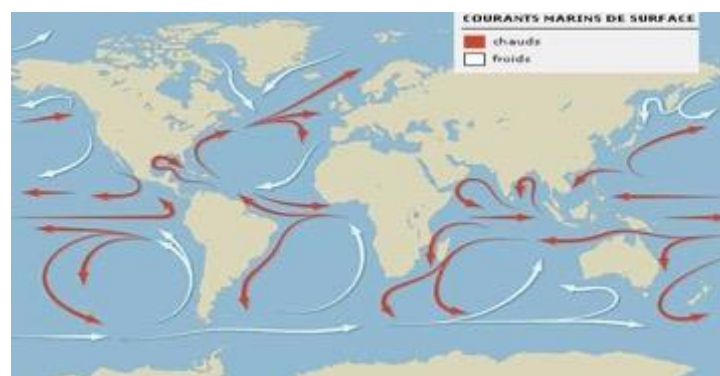


Figure 2 : Répartition des grands courants océaniques. Courants chauds en rouge, froids en blanc
(Source : www.kolpex.servhome.org)

Ainsi, Le Courant des Aiguilles, la branche Sud du courant équatorial passe au Sud de Madagascar à une vitesse d'un demi-nœud, et va rejoindre, à la hauteur de Natal, le courant du Mozambique. Leur réunion forme le courant des Aiguilles, ce courant des Aiguilles, un des plus violents des courants océaniques, est aussi l'un des plus constants. Le long de la côte du Natal, sa vitesse atteint 4 nœuds, parfois 5, et rarement inférieure à 2 nœuds [2] [3].

L'amplitude de la marée a bien entendu un effet sur la vitesse du courant à proximité des côtes, et les valeurs du courant de marée en vive-eau V_{ve} et en morte-eau V_{me} permettent, par une règle de trois, d'obtenir la vitesse correspondant au coefficient C [4] :

$$V(hm,C) = V_{me}(hm) + (C - 45) \times (V_{ve}(hm) - V_{me}(hm)) / 50$$

C : le coefficient de la marée, hm : l'heure de la marée, $V_{me}(hm)$ et $V_{ve}(hm)$: les vitesses

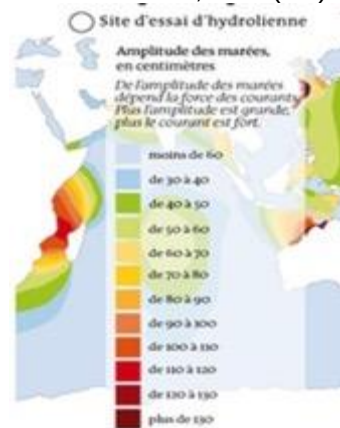


Figure 3 : Amplitude des marées dans le canal de Mozambique (Source : MEDDE, Dossier de presse, 2013 ; Conférence Institut Coriolis, 2010)

La carte du potentiel mondial montre des gisements intéressants autour du canal de Mozambique et la côte ouest de Madagascar entre 110 et 120 cm, là où les marées provoquent de forts courants

Les effets de la houle et des courants littoraux pouvant avoir un impact les côtes ouest:

- Effets de l'érosion marine sur le littoral de Morondava,
- Mur de soutènement sur le bord de Mahajanga,
- Présence de sillage à Antsiranana,
- Courants marins très fort à Nosy-Be



Figure 4 : Effets de l'érosion marine sur le littoral de Morondava



Figure 5 : Bord de la ville de Mahajanga, (Source : MANDIMBIHARISON A.[5])



Figure 6 : Présence de sillage à Antsiranana



Figure 7 : Courants marins à Nosy-Be

Nous allons montrer les sites ayant un fort potentiel hydrolien mondial (zones qualifiées, gisements et quantité d'énergie pouvant être produite) et Madagascar fait partie Mayotte est une zone française potentiel hydromarin identifié ou déclaré il est près du Nord ouest de Madagascar (à coté d'Antsiranana et Nosy Be)

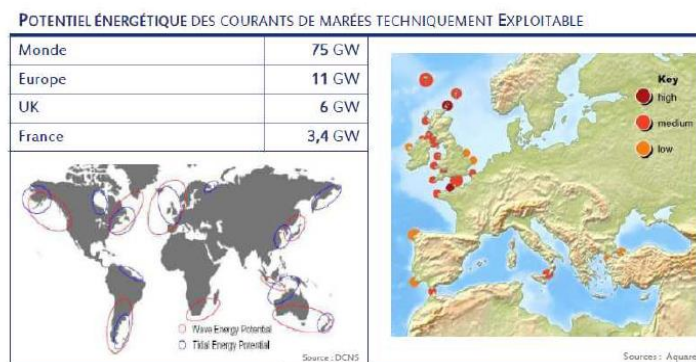


Figure 8 : Potentiel énergétique des courants de marées techniquement exploitable (Source : Etude sur le Marché hydrolien (cabinet Business Crescendo – 2012) Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables)

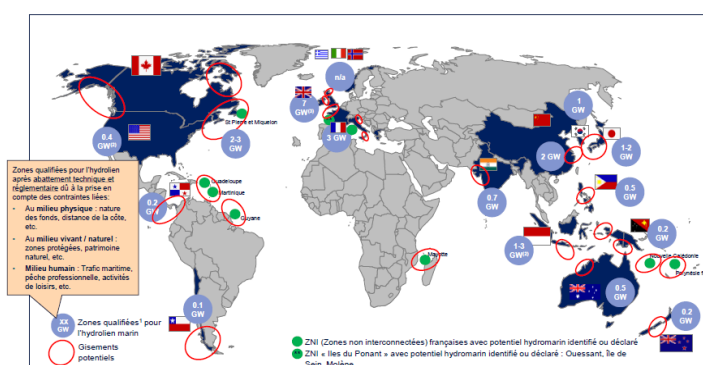


Figure 9 : Cartographie des principaux gisements techniques exploitables hydroliennes dans le monde (Sources: Rapport EMEC sur énergie marine, Presse, Interviews et industriels)

Une hydrolienne est une turbine hydraulique (sous-marine ou à flots) qui utilise l'énergie cinétique des courants marins ou fluviaux, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique du vent

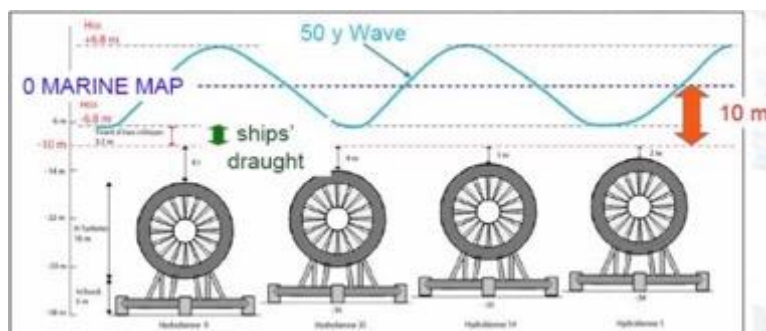


Figure 10 : Niveaux des machines (Source : Les hydroliennes, Jacques Ruer, SAIPEM, Conférence mer et littoral de Bretagne, Hydrolien Fromveur, 3 juin 2013)

Une hydrolienne est en effet dimensionnée pour exploiter la vitesse quasi maximum du courant

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p S V^3$$

Cette équation montre que la puissance P d'une turbine est proportionnelle à la masse volumique du milieu et au cube de la vitesse du courant V (C_p étant le coefficient de puissance et S la section de l'aire balayée par les pales de la turbine) [6].

$V=2$ m/sec $\rho=1000$ kg/m³, $P=1$ MW pour un rotor de 18 m

Méthode et Matériel

Sur le Schéma suivant nous présentons le principe d'un parc hydrolienne et le dispositif de raccordement :

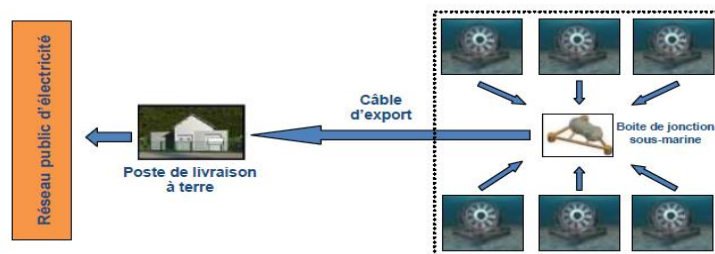


Figure 11 : Schéma de principe d'un parc hydrolienne et du dispositif de raccordement (Source EDF – Exemple d'Openhydro)

Transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, puis, exporter vers le réseau à terre, à un coût acceptable et un minimum de maintenance. Ces machines offrent de meilleurs rendements si elles sont sollicitées à leur point de fonctionnement nominal. Pour le bon fonctionnement et la productivité des hydroliennes, il faut identifier les espaces en mer, techniquement et économiquement favorables, les paramètres les plus importants à prendre en compte sont :

Caractéristiques hydrodynamiques	Implantation de l'hydrolienne	Système de fixation
- bathymétrie : pente - distribution des vitesses - fond marin	- installation - maintenance - performance	- flottant - base gravitaire - pieu/pile

Tableau 1 : Paramètres pour la technico-économique [7][8]

Bathymétries

Les figures suivantes présentent les bathymétries et le profil des fonds marins au large Madagascar, alors les profils sont très diversifiés et proposent différentes profondeurs pour l'implantation de l'hydrolienne

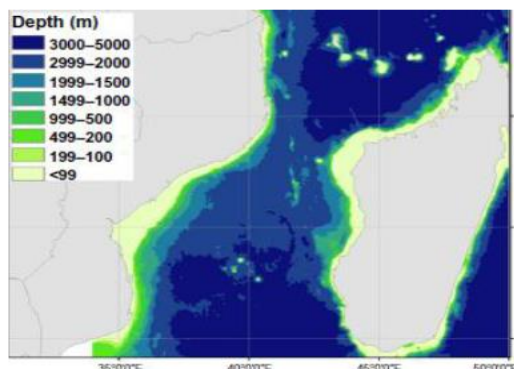


Figure 12 : Bathymétrie du canal de Mozambique et Madagascar (Obura D., al.,2018 [9])

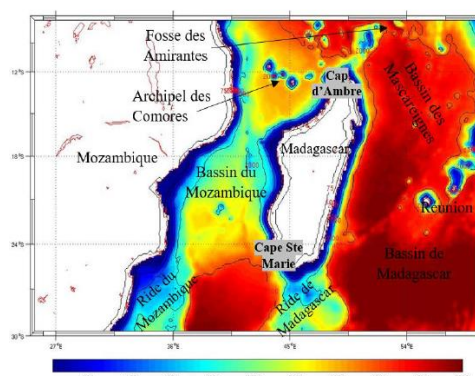


Figure 13 : Bathymétrie de la zone modélisée autour de Madagascar avec une résolution de 1/7. (Doglioli M., 2018 [10])

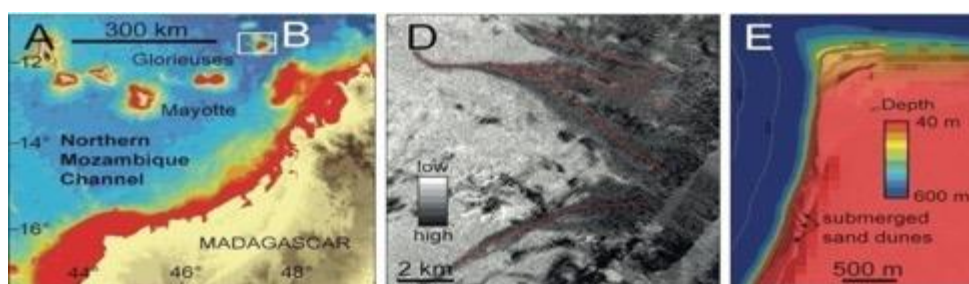


Figure 14 : Bathymétrie - canal du Mozambique (PAMELA, 2016 [11])

Marées

Les tableaux suivants montrent la progression du coefficient de marées durant la semaine du 15 juin 2020. Ces valeurs nous donnent une vision approximative de l'amplitude des marées à Morondava, Mahajanga Nosy-Be prévues en juin 2020 [12]

Heures	Marée	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
0H	1ère Marée	3,2	3,6	4	4,3	4,4	4,4	4,3
7H	2ème Marée	1,4	1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4
12H	3ème Marée	3,3	3,7	4,2	4,5	4,6	4,6	4,5
20H	4ème Marée	1,3	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
Coefficient des marées		75	84	92	95	95	91	84

Tableau 2 : Coefficients de marées à **Morondava**

Heures	Marée	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
0H	1ère Marée	1,9	3,8	4	4,2	4,3	4,3	4,3
7H	2ème Marée	4	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,3
12H	3ème Marée	2	4,3	4,6	4,8	5	5	4,9
20H	4ème Marée		1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1
Coefficient des marées		75	84	92	95	95	91	84

Tableau 3 : Coefficients de marées à **Mahajanga**

Heures	Marée	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
0H	1ère Marée	1,4	3,1	3,3	3,5	3,6	3,6	3,6
7H	2ème Marée	3,3	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8
12H	3ème Marée	1,5	3,6	3,9	4,1	4,3	4,3	4,2
20H	4ème Marée		1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6
Coefficient des marées		75	84	92	95	95	91	84

Tableau 4 : Coefficients de marées à **Nosy-Be Helleville**

Nous remarquons que, des coefficients importants signifient d'importantes marées hautes et basses; compris entre 75 et 95

Un exemple de site potentiel est celui décrit dans RAJOELISOLO Miandrisoa. Ce site se trouve au Nord de Mahajanga à l'Est d'Antsanitia.

Heure basse mer [heure]	Hauteur basse mer [m]	Vitesse du courant en [Noeud] et [m/s]
3h03	1,5	0,69
4h10	1,62	0,69
5h17	1,74	1,28
6h24	1,86	1,64
7h31	1,98	2,13
8h38	2,24	1,02
Heure plein mer [heure]	Hauteur plein mer [m]	Vitesse du courant en
17h03	4	
18h06	3,72	1,34
19h09	3,16	1,78
20h12	2,32	3,58
21h15	1,48	4,01
22h18	0,92	3,12
23h21	0,64	1,78

Tableau 5 : Marées et vitesse du courant à l'Est d'Antsanitia Mahajanga [13]

Nous remarquons que les vitesses de courant sont conformes aux exigences de l'hydrolienne. Par conséquent, elle peut fonctionner correctement dans cette embouchure.

Sédimentologie et pente

Les autres paramètres importants à prendre en compte sont la profondeur, la pente et la nature du fond marin, qui conditionnent les zones remarquables pour la mise en place d'hydroliennes. Nous allons donc montrer au tableau suivant les différents paramètres retenus à partir des recherches effectuées par des auteurs afin de trouver le site d'implantation le plus propice aux hydroliennes.

Ville	Profondeur et Pente	Nature des sédiments
Morondava	0,33 % entre 10m et 40m	Les sables ont une médiane qui évolue entre 0,20 et 0,25mm
Mahajanga	Pente faible	Sable moyen à grossier, Sable fin argileuse, Argile sableuse compacte
Nosy Be	0,07% entre de 30 à 70 m	La teneur en fraction fine du sédiment, de taille inférieure à 40 μ : sableuses peu calcaires et calcaires

Tableau 6 : Sédimentologie et pente sur les villes de la cote ouest [14][15][16]

Résultat

A partir des coefficients de la marée auparavant, la méthode ci-dessous donne une approximation rapide généralement suffisante pour les vitesses [17] :

- 20 < Coefficient < 45 => ME, donc courant à 2,7 nds.
- 45 < Coefficient < 95 => Moyenne donc courant à $(2,7 + 4,8) / 2 = 3,75$ nds.
- 95 < Coefficient < 120 => VE, donc courant à 4,8 nds.

Il suffit de faire une règle de trois pour le calcul et si on considère une hydrolienne de Sabella D10 de diamètre D=10m (R=5m), les vitesses et les puissances correspondantes sont affichées suivant le tableau :

Jour	15/06/20	16/06/20	17/06/20	18/06/20	19/06/20	20/06/20	21/06/20
	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
Coefficient des marées	75	84	92	95	95	91	84
Vitesse (m/s)	1,64	1,84	2,01	2,08	2,08	1,99	1,84
Puissance (kW)	102,990	144,694	190,068	209,308	209,308	183,966	144,694

Tableau 7 : Puissances journalières sur la cote ouest

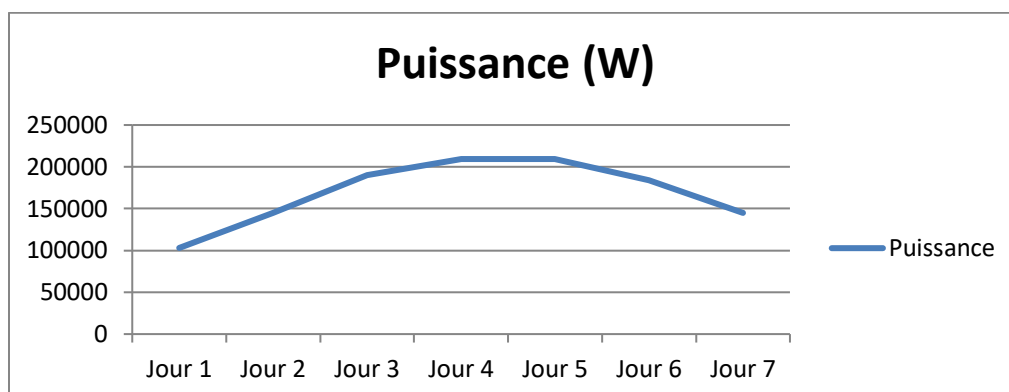


Figure 15 : Puissances journalières sur la cote ouest

Cette courbe a été obtenue, en calculant la puissance théorique journalière développée par l'hydrolienne Sabella 10 en fonction de la valeur des vitesses de courant marin sur le cote ouest qui atteint la valeur moyenne de 1,93/s pendant la semaine, alors l'implantation d'hydroliennes est intéressante

A partir des données sur les cotes ouest que nous allons résumer sur le tableau suivant

Indicateurs	Données Cotes ouest	Remarques
Pente	0% - 0,33%	Besoins des Observations sur terrain
Profondeur	40m à 60 m	Besoins des Observations sur terrain
Vitesse des courants	1,5m/s à 2,5m/s	Besoins des Observations sur terrain pour des mesures justes (capteur de courant ADCP)
Sédiment	Argile sableuse compacte, calcaire	Besoins des Collectes et à analyser au labo
Système	Base gravitaire ou encrée	Grande fiabilité et très faible en maintenance

Tableau 8 : Récapitulation des données

Afin d'obtenir les sites les plus favorables à l'implantation d'hydroliennes, il faut prendre en compte tous ces paramètres et donc faire une combinaison, nous pouvons déduire que plusieurs sites sont considérées comme favorables pour l'installation d'hydrolienne le long de cote ouest de Madagascar

CHOIX TECHNOLOGIQUE :

Mêmes, les hydroliennes aux fondations monopieu pourront mieux convenir aux fonds sableux ; parmi toutes ces technologies hydroliennes, nous proposons le modèle D10 Sabella.



Figure 16 : Hydrolienne D10 Sabella
(Source : <http://blog.formatis.pro/sabella-d10>)

La sélection s'est donc basée sur les critères:

- L'hydrolienne bidirectionnelle permettrait d'exploiter le jusant (courant de marée descendante) et le flot (courant de marée montante)
- Simplicité d'implantation et sa robustesse
- Une configuration de turbines posées sur le fond marin, sans emprise en surface
- Turbines sont stabilisées par gravité et/ou ancrées en fonction de la nature du fond, point de vue pratique, réduire les impacts environnementaux (pas de forages nécessaires)

Vitesses	Puissances
2.5 m/s	0.3 MW
3 m/s	0.5 MW
3.5 m/s	0.75 MW
4 m/s	1.1 MW

Tableau 9 : Puissances théoriques de la turbine D10

Perspectives

- Réalisation d'une étude approfondie pour les zones d'installation d'hydrolienne (Courants et Bathymétries)
- Mobilisation de partenaires pour les pistes de financement de l'électrification à Madagascar : Banque Mondiale, Union Européenne, Agence Française pour le Développement, Organisme Nationale ou internationale (GRET, ADER, GIZ, USAID, ADEME)
- Mise en œuvre d'un projet pilote de démonstration de la technologie, exemple : le cas de l'électrification rurale de l'énergie renouvelable à Ambatolaona, mis en œuvre par Guinard Energies (déjà existe en milieu fluvial)



Figure 17 : Hydrolienne P66 GUINARD ENERGIES
 AMBATOLAONA-Madagascar

- Collaboration de façon régulière avec des chercheurs, universités, entreprises, organismes sur le partage des moyens investis, des connaissances, des équipements, des ressources humaines, des ressources documentaires,....

Conclusion

L'étude l'hydrolienne révèle que cette énergie est d'énergies propre, inépuisable, renouvelable, très peu polluante et on s'intéresse de plus en plus à cette invention,

D'après nos analyses, nous confirmons que l'hydrolienne est exploitable pour des populations réparties le long des cotes ouest de Madagascar, et il est temps de les réaliser, en termes d'actions gouvernementales, en termes d'appui pour nos techniciens et ingénieurs, surtout des recherches fondamentale et appliquée, C'est la nécessité de travail collaboratif entre les pays du Nord, très avancés en matière de l'énergie hydrolienne et ceux du Sud comme Madagascar, en cours de développement mais qui a gisement énergétique exploitable.

Référencés bibliographiques

- [1] <https://gasykarajia2008.skyrock.com/2186700015-carte-de-MADAGASCAR-sarin-tanin-i-MADAGASIKARA.html>
- [2] Razouls C., de Bovée F., Kouwenberg J. et Desreumaux N., (2005-2017). - *Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods*, CNRS, UPMC
- [3] David GUYOMARD, Michel PETIT, Martin DESRUISSEAU, Jean-Michel STRETTA, Laure GARDEL. (January 2006). *Hydroclimat du Sud-Ouest de l'océan Indien et océanographie spatiale*.
- [4] (19/11/2018). *Etude Stratégique de la filière hydrolien marin*,.
- [5] Mandimbiharison A., Randriatahina H., Rasolomanana E. H. *Apport de la méthode cartographique dans l'étude de l'évolution du trait de côte de la ville de Mahajanga de 1952 à 2015*,
- [6] Mohamed Benbouzid, Jacques-André Astolfi, Seddik Bacha, Jean-Frederic Charpentier, Mohamed Machmoum, Thierry Maître, Daniel Roye Concepts (2011), *Modélisation et Commandes des Hydroliennes*,
- [7] Yann-Hervé De Roeck, *Energie hydrolienne Conférence Régionale Maritime et Littorale GT EMR*, France Energies Marines.

- [8] Direction Générale de l'Énergie et du Climat. (2013). *Étude multicritère pour la définition du potentiel hydrolie en France métropolitaine*. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie.
- [9] Obura D., al. (2018). *The Northern Mozambique Channel*, Chapter 4: 77. World Seas: An Environmental Evaluation
- [10] Doglioli M. (2018). *Projet de modélisation 3d de la circulation océanique de Madagascar : application du modèle ROMS*. 15 : 4. Aix-Marseille Université et Institut OSU Pythéas
- [11] PAMELA (2016). *Bathymétrie - canal du Mozambique*
- [12] MAREESPECHE, (juin 2020). <https://mareespeche.com/>
- [13] RAJOELISOLO Miandrisoa, (2013). *Conception d'un système de pivotement automatique pour une hydrolie non réversible*. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- [14] Razafimbelo M. R., Mandimbiarison A., J. Rajaona R.D., Rasolomanana E.H., Madamines. (2013). Problématique de l'érosion du littoral de Morondava, ISSN 2220-0681, Vol 5,
- [15] RAZAFINTSALAMA Landivola. (2016). *Projet de réhabilitation et d'extension du quai coste du port de Mahajanga*, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
- [16] J. DANIEL, J. DUPONT, C. JOUANNIC. (1973). *Marge continentale du Nord-Ouest de Madagascar : bathymétrie et sédimentologie*, ORSTOM
- [17] http://voilejmh.free.fr/voile/maree_courant.htm#haut

Micro-réseaux SMARTNESS : L'autonomisation énergétiques des communautés grâce à la formation et au renforcement des capacités

Afef BENNANI¹, Souha FERCHICHI², Ines KHALIFA³

1. Maître de conférences, chercheur, LSE/ENIT/Université de Tunis El Manar ; INSAT/Université de Carthage

2. Expert technique, Centre Méditerranéen des Energies Renouvelables (MEDREC)

3. Responsable technique, Centre Méditerranéen des Energies Renouvelables (MEDREC)

afef.bennani@enit.utm.tn

Résumé : Dans le cadre du projet euro-méditerranéen Med-EcoSuRe (<https://www.enicbcmed.eu/fr/projets/med-ecosure>) financé par l'UE, et géré par MEDREC, une plateforme de Micro-Réseaux équipée d'un système de Gestion de l'Energie et alimentée par des panneaux Photovoltaïques est installée à l'ENIT - salle Qehna, Tunisie, en janvier 2021. Cette plateforme baptisée SMARTNESS (Smart Micro Grid Platform with an Energy Management System), de puissance totale de 10 kW a une triple vocation : Enseignement, Recherche, et Formation continue.

A travers la mise en œuvre de SMARTNESS, le projet Med-EcoSuRe entend favoriser des technologies et des concepts innovants pour la production et de distribution de l'énergie électrique décentralisée, à base d'énergies renouvelables (ER): systèmes de gestion intelligente de l'énergie, blockchain, *Virtual Power Plants* et *Energy trading*... Particulièrement en Tunisie, où le besoin de l'intégration de telles technologies est pressant, SMARTNESS vise à :

- Préparer les ingénieurs de demain à travers les travaux pratiques
- Développer des activités de recherche validés expérimentalement, et ce dans le cadre de masters et thèses de doctorat
- Constituer un noyau de formation continue pour le milieu industriel et bureaux d'études lui permettant un renforcement de capacités face aux challenges technologiques

Dans ce cadre, une des premières activités était l'évaluation des performances et la viabilité technico-économique d'un micro-réseau résidentiel dans le contexte tunisien (modélisation et simulation du Micro-réseau comprenant 4 unités résidentielles et un gestionnaire d'énergie local). La topologie actuelle du micro-réseau a été optimisée en tenant compte de différentes sources d'ER et configurations du réseau électrique tunisien. Le concept « *Energy Trading* » a fait également l'objet d'une étude numérique afin de prévoir les différents schémas d'échange d'énergie au sein du micro-réseau.

L'énergie hydrolienne pour l'alimentation des zones isolées.

Sylvain GUILLOU et Mourad BOUTOUCHENT

École Supérieure d'Ingénieurs de l'Université de Caen Normandie, ESIX Normandie,
Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg, EA4253,
Site Universitaire, BP 78, 50130 Octeville, France

Courriel : Sylvain.guillou@unicaen.fr

Résumé : l'évolution des réserves d'énergie fossiles conduit à prévoir l'utilisation d'autres énergies.

Ce phénomène qui aura des répercussions sur les zones fortement habitées et desservies par un réseau électrique de qualité, aura un effet plus dramatique sur les zones isolées et non desservies par le réseau général. En effet, dans ces zones l'électricité est généralement produite par des groupes électrogènes diesels. Dans certaines régions l'acheminement de ce carburant est sous tension compte tenu des voies d'acheminement, du prix du carburant et des convoitises que cela occasionnent. Ainsi dans les régions reculées de l'Amazonie ou d'Afrique, il n'est pas rare que le carburant n'arrive pas à destination. Les énergies renouvelables sont une alternative à ces énergies fossiles, déjà compétitives pour certaines d'entre elles dans les zones bien desservies, et doivent être encore plus intéressantes pour les zones isolées. Parmi ces énergies renouvelables, il y a l'hydroélectricité et l'énergie hydrocinétique des courants. La première est déjà largement déployée et nécessite la mise en place d'un barrage par forcément justifiable dans les zones isolées. Les hydroliennes peuvent alimenter des petites communautés avec des unités de quelques dizaines de Kw en rivière au Mw en mer.

La communication présentera les énergies cinétiques des courants de rivière et marin, l'état de développement actuel, l'applicabilité dans le cadre des zones isolées. On s'appuiera sur la thèse de M. Boutouchent (2017) portant sur la caractérisation des zones d'intérêt dans les zones reculées du Maroni en Guyanne.

Dans une deuxième partie, on présentera l'ESIX Normandie et sa formation en Génie des Systèmes Industriels sur les énergies Marines Renouvelables ainsi que sa formation en opération nucléaire.

Thème : Les techniques de production, gestion et stockage (énergies fossile, nucléaire et renouvelables),

Eclairage public hors réseau des rues : enjeux technologiques et défi pour la durabilité du service public dans la ville de Bohicon au centre du Bénin.

Hubert Frédéric GBAGUIDI

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics,
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin.

Résumé

L'éclairage public est l'un des services urbains indispensables à la continuité des activités économiques et culturels d'une ville. Sa fourniture est une exigence voulue par les lois sur la décentralisation qui permettent à la municipalité de réaliser les investissements nécessaires à la mise en place et à l'exploitation de ce réseau. Mais les lourds investissements à consentir pour le développement des services énergétiques limitent ce droit du citoyen. De même, l'expansion continue des villes constitue un frein au développement des réseaux électriques qui portent ces installations.

Face à ces défaillances, de nouvelles solutions décentralisées sont de plus en plus développées pour le déploiement de ce réseau. Mais dès leur installation, de nouveaux goulots d'étranglement se remarquent. Ainsi, au plan technique, la durée d'éclairage des nouvelles installations ne couvre pas toujours l'ensemble de la nuit. La faiblesse de l'éclairement crée également des zones d'ombre entre les lampadaires. De même, le vandalisme des poteaux dans les zones isolées et le vol des composantes solaires et/ou électriques caractérisent une partie du réseau ainsi construit.

Afin de comprendre l'ensemble des dysfonctionnements de la fourniture décentralisée de l'éclairage public, la présente étude se propose d'ausculter un réseau développé récemment dans une ville moyenne et de diagnostiquer les différentes faiblesses identifiées afin de proposer une thérapie à même de favoriser la continuité du service public.

Statut de l'énergie renouvelable au Liban et plans de production basés sur l'optimisation des coûts et de la pollution

Oussama IBRAHIM^a, Rafic YOUNES^{a,b}

^aFaculty of Engineering, Lebanese University, Beirut, Lebanon,

^bLREE, Quebec University at Rimouski, Canada

ryounes@ul.edu.lb

Résumé

Cet article présente un examen de la situation des énergies renouvelables au Liban et illustre ses problèmes avec les recommandations suggérées. Par ailleurs, une revue détaillée des principales directions de la Compagnie d'électricité du Liban (EDL) est également présentée tout en présentant les problèmes existants et les solutions préconisées. Une optimisation économique et environnementale de différentes sources d'énergie est étudiée, où trois scénarios sont introduits sur la base de la source de combustible de différentes centrales électriques à turbine à gaz à cycle combiné (CCGT). Le premier scénario considère que seules les nouvelles CCGT utilisent du gaz naturel tandis que le second considère que toutes les CCGT utilisent du gazole et le troisième considère que toutes les CCGT utilisent du gaz naturel. Les résultats prouvent que le troisième scénario est le meilleur sur le plan économique autant que sur l'environnement suivi du premier. De plus, il est conclu que le potentiel maximal de l'énergie éolienne doit être utilisé et que les centrales électriques à combustibles fossiles (nouvelles et existantes) doivent utiliser le gaz naturel autant que possible. Les remarques de conclusion soulignent le rôle de la politique dans le développement du secteur de l'énergie.

Mots-Clés : énergie renouvelable, EDL, électricité, optimisation, plan de réforme

Annexe 1 : La situation énergétique en Méditerranée et perspectives

26/11/2021



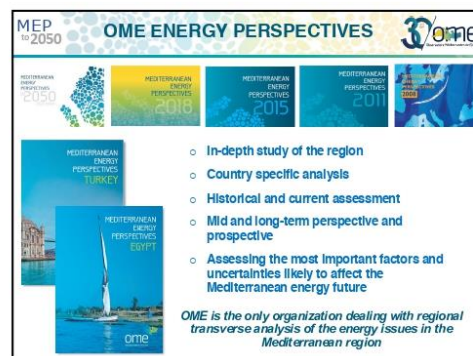
1



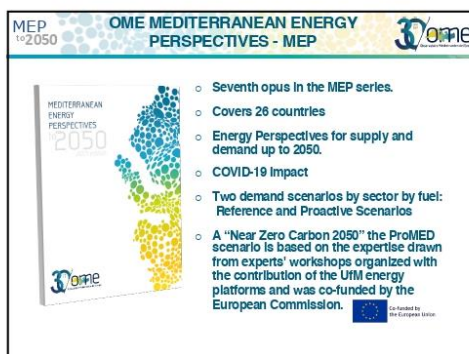
2



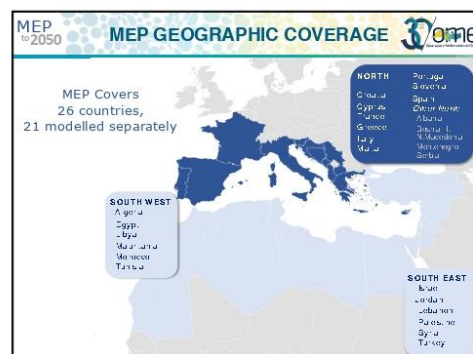
3



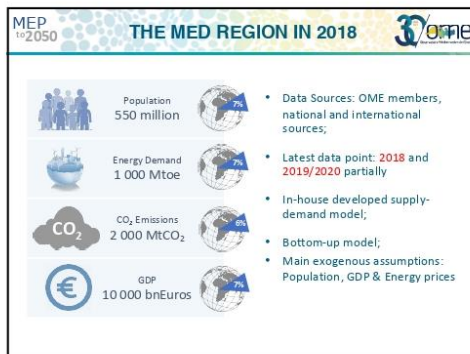
4



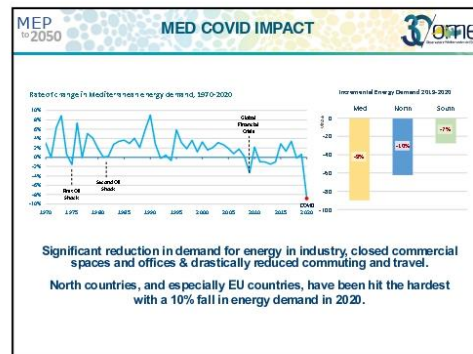
5



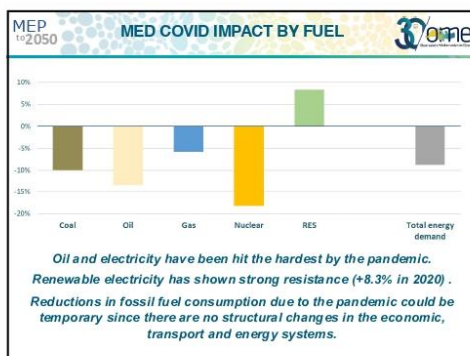
6



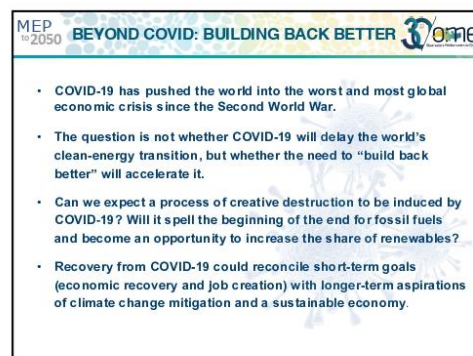
7



8



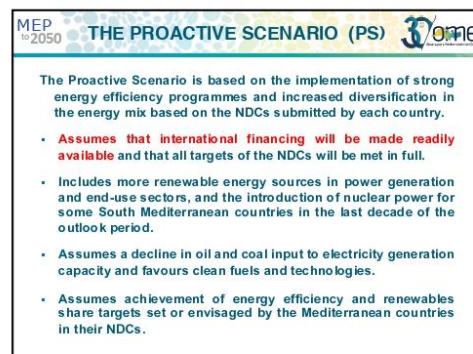
9



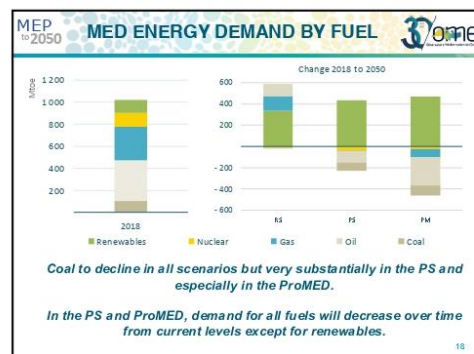
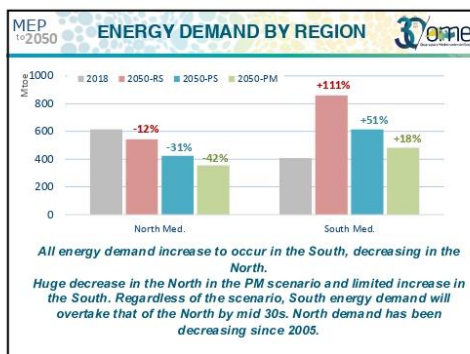
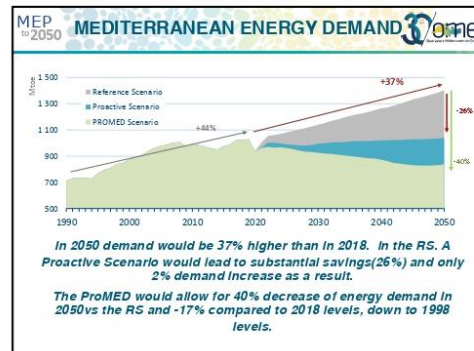
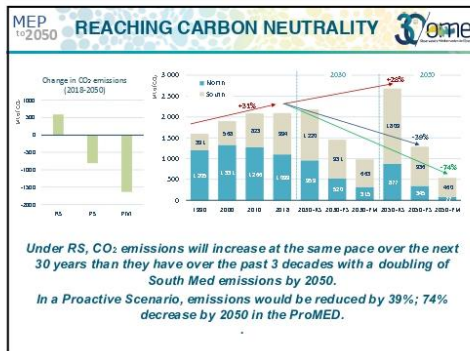
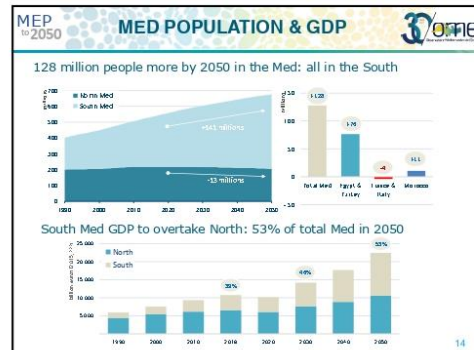
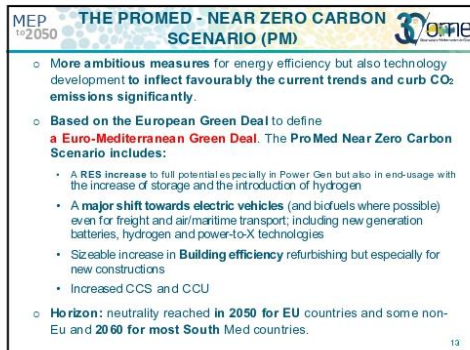
10

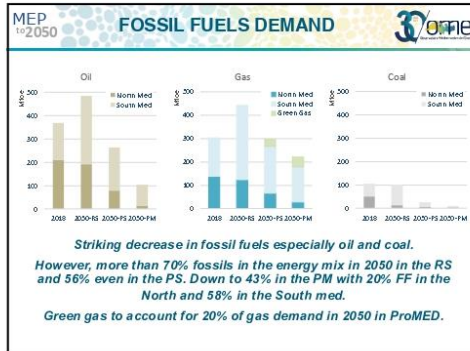


11

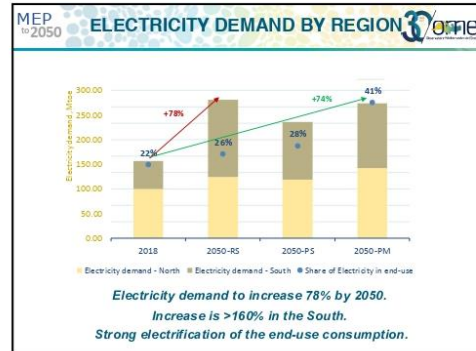


12

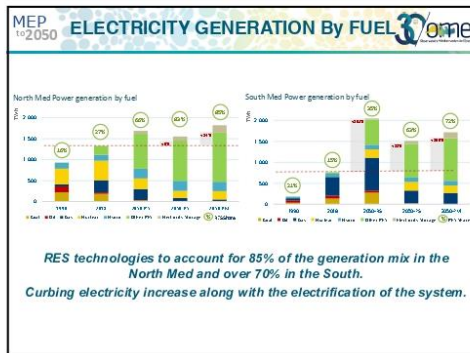




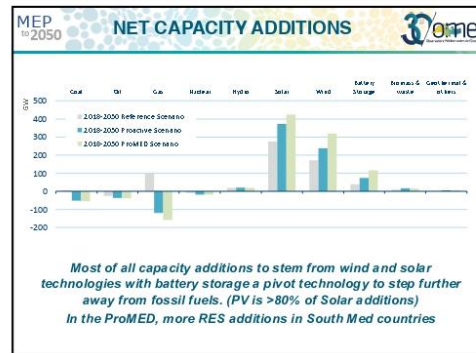
19



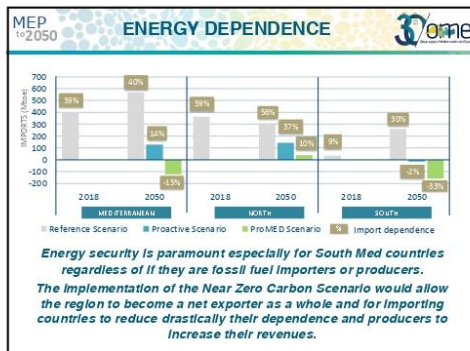
20



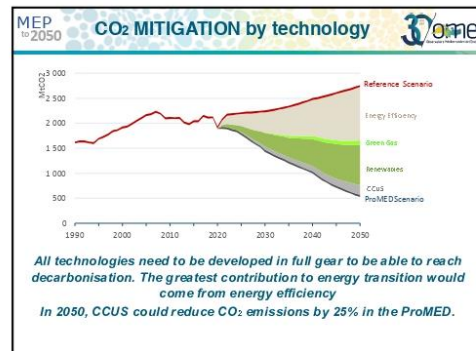
21



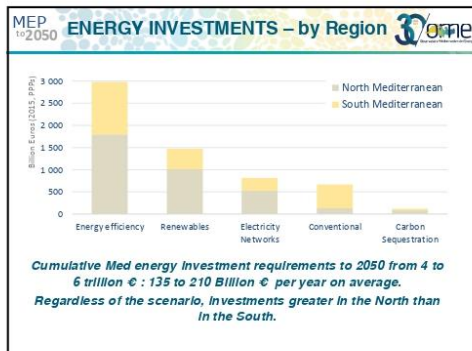
22



23



24



25

MEP 1st 2050 CONCLUSIONS 

- **Current policies will not be enough** for the Mediterranean to curb sizeably its energy demand and reach carbon neutrality in the 2050 horizon
- In addition to climate change mitigation, **energy transition would turn the Mediterranean into a net energy exporter by 2050**
- **All technologies and policies** will be needed to implement energy transition
- **Regional analysis** is of utmost importance to identify win-win solutions and achieve the goals in a **more cost-efficient way**
- The European Green Deal represents **a reference model for neighbouring countries but only a Euro-Mediterranean Green Deal** can instil the needed step change
- The **New Agenda for the Mediterranean and the UfM energy ministerial meeting** are a very relevant step forward towards strengthened regional cooperation
- Dialogue and cooperation between **policy and industry stakeholders** is necessary to ensure a just and fair transition in both shores and **OME** is willing to accompany this process, which requires **strong integration between the conventional and non-conventional energy sectors**
- **capacity building, Research development and Innovation** are very much needed

26



32 bis boulevard Haussmann
75009 Paris - France
Tél. : +33 (0) 1 70 169 120
Fax : +33 (0) 1 70 169 119
Email: ome@ome.org
www.ome.org

Thank you.

27

Annexe 2 : Présentation du pôle MEDEE

25/11/2021



1



2



3



4



5



6



La démarche Énergie pour l'Afrique

01 40 00 12 34

Non Violence

Il s'agit d'un acte d'assistance de construction, engagé par des citoyens pour le peuple d'Afrique.

Quelques exemples en Afrique : des écoles de l'énergie, des ateliers de la gestion des déchets, des ateliers de la santé, des ateliers de la culture.



Depuis 2011, 19 projets sont engagés, dont 15 sont terminés.

15 autres projets sont en cours.



Ministère de l'Énergie

7

Energie pour l'Anjou

La démarche Energie pour l'Anjou

MAIRIE DE LAVAL

8



Ministère de l'Éducation
Nationale

Exemple de projet



Construire un partenariat durable avec le Brésil

À l'origine un partenariat pour des solutions innovantes en matière d'éducation et de formation pour le futur de nos deux nations (2011-2015)

- 4 conventions de partenariat conclues
- 300 intervenants des deux pays impliqués



Signature des conventions de partenariat



Reunion de la délégation française au Brésil

À la signature d'un accord de coopération scientifique et technologique

- 1 convention scientifique de coopération
- 1 accord de double diplôme de 2017 sur les sciences de la vie, l'agriculture et l'écologie durable

9



FRANÇOIS HOLLANDE
PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

Exemple de projet



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Le projet Sésame CHU, une ville durable et intelligente au Bénin

5. Engagements envers le Bénin dans les certifications du Sésame CHU

- 100% participation
- 100% membres de l'Association Sésame
- 100% membres de l'équipe nationale pour les concours de projets
- Coordonnateurs de la ville sont "Associés Nationaux Sésame CHU"
- Engagements de l'Association Sésame en matière :
 - d'apporter les services stratégiques de services au Bénin
- Projet d'un district Sésame - Cap-Haitien





FRANÇOIS HOLLANDE
PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

Le Bénin



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Sésame CHU, une ville durable et intelligente au Bénin

Sésame CHU, une ville durable et intelligente au Bénin

10

Merci pour votre attention !

Annie Kuper, Directrice du Pôle M&DE
annie.kuper@orange.com

11

Annexe 3 : le projet ProForELEC

25/11/2021



1



2



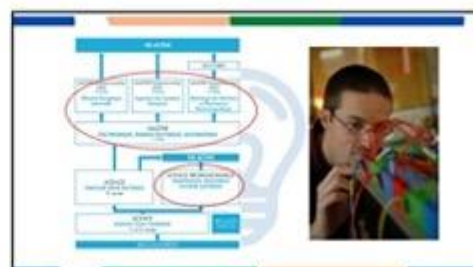
3



4



5



6



7



8



9



10



11



12

Objectif n°2

2. Accompagner l'équipement d'une salle de travaux pratiques à l'IST de Mamou :

- Projet ADIFSA
- Dons de matériels des industriels mobilisés



13

Matériel	Quantité	Statut de l'équipement
Matériel de la salle de travaux pratiques		
1 matériel informatique (1 PC - 1 écran)	1	
1 matériel informatique (1 PC - 1 écran - 1 imprimante)	1	
1 matériel informatique (1 PC - 1 écran - 1 imprimante - 1 scanner)	1	
1 matériel	1	
Des équipements		pour les 12 salles de Travaux Pratiques
Matériel		
1 matériel de mesure pour mesurer la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
Don		
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
Matériel de mesure		
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	
1 matériel de mesure de la puissance électrique (100W)	1	

14

Objectif n°3

3. Créer des passerelles durables entre les Hauts-de-France et la Guinée

- Organisation à l'IST de Mamou de l'événement **Projet ADIFSA** avec des activités de promotion des compétences des élèves en relation avec la délégation Hauts-de-France et les entreprises locales
- Réalisation d'une étude sur le potentiel d'un cluster pour soutenir la structuration de la filière de l'énergie en Guinée



15



Merçi de votre attention !

Présentation du projet ADIFSA pour l'Institut Supérieur de Technologie de Mamou en Guinée



16

Annexe 4 : le projet Leopard

25/11/2021



1



2



3



4



5



6

LEAP-RE : PILIER 2 - Les 4 projets focus innovation

- 1. Productive Use in Rural African Markets using Sustainable Solar Cooking
T20, 4.6 - 14 (Rural use, Finance, Energy, Tech)
- 2. Energy Village Concept
T26, 1.7 (Community, Energy, Tech)
- 3. B. & D. integration, Rural grid digitization to sustainable energy for all
T25, 2.7 (Networks, Energy, Tech)
- 4. LEOPARD E&P plug-in solutions in West Africa
T25, 7.8 (Energy, Tech)

Chaque projet a un pilier



7

LE PROJET LEOPARD

Partie 2



8

Contexte

- Travailler sur les barrières techniques, financières et réglementaires à la massification des technologies solaires photovoltaïques
- Proposer des solutions techniques et des recommandations pragmatiques
- Soutenir la dissémination des microgrids en Afrique de l'Ouest

Contribuer ainsi à augmenter l'accès à une énergie fiable et durable en Afrique de l'Ouest



9

Nos objectifs

- Déterminer les conditions locales d'accès à l'énergie en milieu rural
- Analyser les conditions d'interconnexion de la solution contenue dans le projet à un réseau plus large
- Optimiser les bénéfices technico-économiques de la solution
- Définir les conditions de répliquabilité au Bénin et au Sénégal



10

Nos principes

- Un projet collaboratif :
 - Entre Europe et Afrique
 - Entre partenaires public et privé
- Un projet de recherche et d'innovation :
 - Sur une solution de production d'énergie renouvelable contenue dans le projet
 - Sur une solution économiquement viable et scalable
- Un projet pour l'avenir :
 - Encourageant la transition énergétique
 - Reproductible à grande échelle





11

Nos livrables

- Une étude de contexte socio-économique – **Décembre 2021**
- Deux conteneurs de production d'énergie renouvelable – **Octobre 2022**
 - Using Lakaou/Gene, Songhai
 - Recherche d'un terrain pilote
- Un protocole de contrôle qualité et de formation – **Octobre 2022**
- Une étude de répliquabilité au Bénin et Sénégal – **Juin 2024**



12

LE PROJET EN CHIFFRES

1 530 000 €

50% de financement européen

Les Partenaires

2021 - 2024

The infographic features a light blue header with the title 'LE PROJET EN CHIFFRES'. Below the header, the total budget '1 530 000 €' is displayed in large green font. To the right, the European Union flag is shown next to the text '50% de financement européen'. The project duration '2021 - 2024' is written in large green font, with a faint silhouette of a lynx in the background. A pie chart titled 'Les Partenaires' is located on the right, showing four segments: a large green segment (likely the main partner), a blue segment, a small red segment, and a small yellow segment. A legend below the chart identifies the segments: 'le client' (green), 'le partenaire' (blue), 'le sponsor' (red), and 'le bénéficiaire' (yellow).

[illegible][illegible]

WPJV : L11: Notre contribution dans le projet LEOPARD	
Unité : 1 : <i>Chapitre de la présentation</i> Titre (auteur) : <i>Adrien VINCIGLI, WPJV (scholarship-student)</i> Coauteur(s) : <i>MICHEL, Sophie Caron, CTI2</i>	
Alcove	Interaction/ syngame with other WP
1. Contribution to the joint-implementation of the task	1. Impact of the contribution WPJV and other WPJV
2. Work program, processes and emerging contributions <i>R/V, Sophie Caron, MICHEL</i>	2. How to develop the contribution
3. Public awareness <i>R/V, MICHEL</i>	3. How to develop the contribution
4. Research and the LEOPARD project contribution <i>R/V</i>	4. How to develop the contribution
5. Implementation and reference to the Grant Agreement <i>R/V</i>	5. How to develop the contribution
6. Contribution of the local actors in Suez and Senguel <i>Senguel, CTI2</i>	6. How to develop the contribution



EIFER
EUROPEAN INSTITUTE FOR
ENERGY RESEARCH

Partie 3 – Les Partenaires

LEAP-RE
eifer

EIFER - European Institute for Energy Research

EIFER's main mission
A European Institute, created in 2005 by EDF and KIT

EIFER's main mission
In the context of the European energy transition, EIFER provides innovative research and energy storage for the sustainable growth of the European energy industry, based on the synergy between the two partners and the use of the best scientific and technical resources.

EIFER's main mission
EIFER is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

19

EIFER contribution in LEOPARD

EIFER's main mission
A European Institute, created in 2005 by EDF and KIT

EIFER's main mission
In the context of the European energy transition, EIFER provides innovative research and energy storage for the sustainable growth of the European energy industry, based on the synergy between the two partners and the use of the best scientific and technical resources.

EIFER's main mission
EIFER is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

20

EIFER contribution in LEOPARD

EIFER's main mission
A European Institute, created in 2005 by EDF and KIT

EIFER's main mission
In the context of the European energy transition, EIFER provides innovative research and energy storage for the sustainable growth of the European energy industry, based on the synergy between the two partners and the use of the best scientific and technical resources.

EIFER's main mission
EIFER is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

21

CT2S

CENTRE DE TEST DES SYSTEMES SOLAIRES

Partie 3 - Les Partenaires

22

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires
CT2S is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires
CT2S is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

23

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires
CT2S is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

CT2S - Centre de Test des systèmes solaires
CT2S is a European Institute, created in 2005 by EDF and KIT. It is a joint venture between the two partners, with a view to developing and exploiting the best scientific and technical resources.

24



25



26



27



28



29



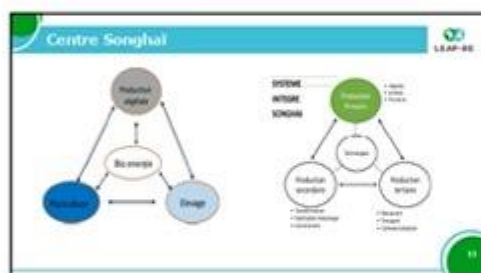
30



31



32



33



34



35



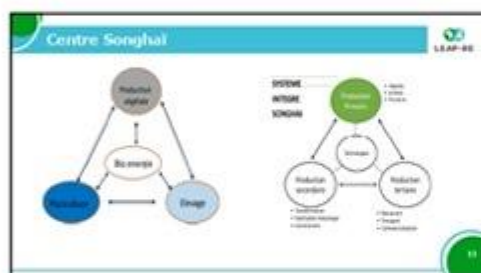
36



31



32



33



34



35



36

EPAC - Notre contribution dans le projet LEOPARD

- Participer à l'étude de faisabilité :
 - Détermination du profil de charge,
 - Analyse des données socio-économiques
- Elaborer une approche pédagogique pour les Activités de sensibilisation
- Suivre le comportement des bénéficiaires face à l'utilisation des équipements

37

EPAC - Notre contribution dans le projet LEOPARD

- Former les techniciens et les bénéficiaires à l'exploitation et à la maintenance des solutions LEOPARD
- Identifier les indicateurs d'impact du projet
- Elaborer une méthodologie détaillée regroupant les connaissances du projet

38

PÔLE MEDEE

Partie 3 – Les Partenaires

39

MEDEE - Cluster en Santé Électrique des Hauts-de-France

Notre mission : Favoriser la MSSE (médecine sans frontières) entre entreprises et académiques

À marche allée	Notre activité
- Partenariat à long terme - Énergie de transition - Énergie de transition	- Mettre en œuvre nos solutions en santé électrique - Fournir l'accès à des soins de santé de qualité en santé électrique - Suivre le montage du projet et les activités de suivi de l'installation

40

MEDEE - Notre collaboration avec l'AFRIQUA depuis 2017

AFRIQUA, l'Institut africain de la santé électrique

À travers nos activités en santé électrique et en électricité

Nos valeurs

- Proposer des services de santé électrique adaptés aux besoins des populations
- Appuyer l'innovation en Afrique et en Méditerranée, par une offre de services de santé électrique innovante et durable

41

MEDEE - Notre contribution dans le projet LEOPARD

Leadership, innovation, développement & réactivité

Construire et piloter une équipe de professionnels, des partenaires académiques et des réseaux de soins pour améliorer la santé électrique en Afrique

Les équipes de santé électrique en Afrique et en Méditerranée

- Des équipes de santé électrique en Afrique et en Méditerranée
- Des équipes de santé électrique en Afrique et en Méditerranée
- Des équipes de santé électrique en Afrique et en Méditerranée

in youtuwe @meede MEDEE

42

PROPOSITIONS DES CONTENEURS



Propositions des Conteneurs



Caractéristiques de l'essai envisagé	
Pratiquant(s) envisagé(s)	20/25
Pratiquant(s) évalué(s)	20/20
Véhicule(s) utilisé(s)	9
Poids des véhicules	100 kg
Durée des essais	101 s 30 x 100
Formes administratives utilisées	Formulaire d'analyse d'essai
Expérience (nombre d'années de l'enseignant et du candidat)	1000 heures d'essai de développement (candidat) et 100 heures d'essai de développement (enseignant)
Etat de l'art du processus d'essai	Revue de l'état de l'art
Pratiques recommandées de l'enseignement	Apprendre à partir de l'expérience
Pratiques recommandées de l'évaluation	Apprendre à partir de l'expérience
Environnement idéal d'essai	Automobile de production de haute qualité
Pratiquant(s) envisagé(s)	moins de 20 et 40/45
Technologie/Pratiquant(s) envisagé(s)	Technologie d'essai
Pratiquant(s) évalué(s)	40/45/45/45/45
Véhicule(s) utilisé(s)	10/10/10
Poids des véhicules	10/10/10
Coût des Essais	10/10/10
Environnement idéal	10/10/10

[illegible]

44

QUESTIONS - RÉPONSES



MERCI



The 2014-17 project is awarded funding from the Singapore 2015 Urban2020 Award and Innovation Progress under Grant Agreement 96250.