

# JOURNAL INTERNATIONAL

## Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

ISSN(electronic): 1737-9350

ISSN (printed): 1737-6688

Volume IV - Numéro 2 - Décembre 2019

### Eau-Énergie-Climat'2019



### Énergies Renouvelables Et changements climatiques

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par :

L'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et  
l'Environnement en Tunisie (**ASTEETunisie**)

"وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ"

سورة الأنبياء آية 30

*Et fait de l'eau toute chose vivante*

(Al-Anbiya 30)

# Comité Scientifique International

<i>Noureddine Gaaloul</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Mohamed Habib Sellami</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Hechmi Belaid</i>	<i>Université de Jendouba -IRESA- ESIER (Tunisie)</i>
<i>Taoufik Hermassi</i>	<i>Université de Carthage -IRESA- INRGREF (Tunisie)</i>
<i>Rim Katlane</i>	<i>Université de Gabès ISSTEG (Tunisie)</i>
<i>Adel Kharroubi</i>	<i>Université de Gabès - ISSTEG (Tunisie)</i>
<i>Hélène Ben Khemis</i>	<i>ANME (Tunisie)</i>
<i>Abdallah Cherid</i>	<i>ASTEETunisie (Tunisie)</i>
<i>Azzedine Hani</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Larbi Djabri</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Saadane Djorfi</i>	<i>Université de Annaba (Algérie)</i>
<i>Beloulou Laroussi</i>	<i>Université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie)</i>
<i>Mohammed Achite</i>	<i>Université de Chlef (Algérie)</i>
<i>Abdelhalim Yahiaoui</i>	<i>Université de Bechar (Algérie)</i>
<i>Mohamed Bessenasse</i>	<i>Université de Saad Dahlab- Blida (Algérie)</i>
<i>Abdessamad Merzouk</i>	<i>Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Benabadji Noury</i>	<i>Université de Tlemcen (Algérie)</i>
<i>Belkacem Bekkoussa</i>	<i>Université Mustapha Stambouli de Mascara (Algérie)</i>
<i>Guendouz Abdelhamid</i>	<i>Université de Blida I (Algérie)</i>
<i>Guergazi Saâdia</i>	<i>Université de Biskra (Algérie)</i>
<i>Khoualdia Wacila</i>	<i>Université de Souk-Ahras (Algérie)</i>
<i>Ali Essahlaoui</i>	<i>Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>El Ouali Abdelhadji</i>	<i>Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Abdellah El Hmaïdi</i>	<i>Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Imad Manssouri</i>	<i>Université Moulay Ismail Meknes (Maroc)</i>
<i>Abdelmajid Moumen</i>	<i>Université Nadour (Maroc)</i>
<i>Mhamed Amyay</i>	<i>Université de Fès (Maroc)</i>
<i>Abdelaziz Abdallaoui</i>	<i>Université Moulay Ismail (Maroc)</i>
<i>Saeid Eslamian</i>	<i>Université de Isfahan (Iran)</i>
<i>Diop Ngom Fatou</i>	<i>UCAD FST (Sénégal)</i>
<i>Gnamba Franck Maxime</i>	<i>UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Soro Nagnin</i>	<i>UFR STRM (Cote d'Ivoire)</i>
<i>Koussouhon A. Leonard</i>	<i>FLLAC/ UAC (Congo)</i>
<i>Koumassi Dègla Hervé</i>	<i>LACEEDE/UAC (Bénin)</i>
<i>Moumtaz Razack</i>	<i>Université de Poitiers (France)</i>
<i>Mohamed Taabni</i>	<i>Université de Poitiers (France)</i>

## Préface



*L'eau est au cœur de tous les modes de production énergétique. Pourtant, l'eau n'est pas un simple facteur de production, c'est un bien commun non substituable, un bien indispensable à la vie de toutes les espèces vivantes et essentiel au vivre ensemble. De part cet aspect vital, l'usage domestique de l'eau doit être prioritaire sur tout autre usage, notamment agricole et industriel. Cette priorité doit être reflétée dans la conception de politiques énergétiques soucieuses de limiter les impacts de la production d'énergie sur la disponibilité et la qualité de l'eau. Les grandes orientations énergétiques doivent également être élaborées en concertation avec les citoyens pour leur donner le choix de leur avenir énergétique*

*Le nexus eau / énergie peut être traité à travers des approches historique, économique, juridique, sociologique et sociétale. Il s'agissait d'examiner la nécessité de trouver un équilibre serein pour l'humanité et la planète, en commençant par l'eau, l'alimentation et l'énergie pour vivre au quotidien, et en mettant en évidence la variété des éléments de réponse que nos sociétés ont trouvés. Les interactions entre eau et énergie et la priorisation des usages ont été abordées en particulier sous l'angle de la gouvernance, en se référant au droit et aux politiques.*

*Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a identifié comme cause principale des changements climatiques l'émission de gaz à effet de serre par les activités humaines à l'échelle de la planète. L'impact sur le climat dépend de l'ampleur des rejets par les industries, l'agriculture, les déplacements et le chauffage, qu'il soit urbain ou non. Il convient donc de réduire l'émission de ces gaz en agissant sur les différents secteurs émetteurs : c'est la stratégie de prévention. Malgré les accords de Paris sur le climat signés lors de la COP 21 en 2015, les rejets de gaz à effet de serre continuent d'augmenter : la satisfaction des intérêts immédiats continue de l'emporter sur les menaces du futur.*

*Ainsi, tout discours, mais aussi tout projet qui se revendique de l'adaptation aux changements climatiques doit démontrer qu'il n'est pas seulement dans la continuité des pratiques actuelles, responsables de la catastrophe climatique à venir, et dont nous avons un avant-goût en cette année 2019 des records. En vertu de ces principes, construire un plan « d'adaptation » de l'utilisation de l'eau aux changements climatiques doit conduire également à « l'adaptation » des usages, au réfolement des pratiques économiques néfastes qui obèrent l'avenir.*

*Il est généralement admis que notre climat est en train de changer et que le processus pourrait s'accélérer au cours du 21ème siècle. Le terme changement climatique ne signifie pas seulement « réchauffement climatique »; il est également probable que les événements climatiques extrêmes se multiplient à l'avenir.*

*Mais nous devons avoir les idées claires, savoir où nous voulons aller et quel est l'objectif. C'est de parvenir à un pacte mondial sur le climat en 2020, c'est-à-dire un accord qui engagera toutes les parties prenantes sur une limitation des émissions de gaz à effet de serre pour contenir l'évolution des températures en deçà de 2°C à l'horizon de 2100."*

*La transition énergétique n'est pas un choix de circonstances, n'est pas un compromis, n'est pas une négociation. La transition énergétique, c'est une décision stratégique. Ce n'est pas un problème, c'est la solution. Regardons la réalité en face. Le stock des énergies fossiles – pétrole, gaz, charbon – va vers un épuisement que nous savons inéluctable. Même si de nouvelles découvertes peuvent en reporter, à un moment, l'échéance. La planète, elle, se réchauffe sous l'effet de nos émissions de gaz à effet de serre, au point que les 12 dernières années comptent parmi les années les plus chaudes jamais observées depuis 1850. Et ce n'est pas le fait du hasard."*

*Il est nécessaire de favoriser le dialogue entre les différents acteurs et disciplines, de co-construire une vision long terme grâce à la synergie. Climates vise à trouver des solutions innovantes, sensibiliser et former la jeunesse, avec une nouvelle manière de travailler, interdisciplinaire. De plus, il faut regarder ce qui marche dans les pays du Sud et du Nord, ne pas plonger dans le pessimisme facile. Il faut changer les comportements de chaque citoyen. Sur le lien entre eau et énergie, avec le changement de l'eau de mer en eau douce, la centrale hydro-électrique et l'industrie pétrochimique, portant atteinte à la biodiversité. Il faut aller vers une transition écologique de l'économie (pas que transition énergétique).*

**Nouredine Gaaloul**  
**Professeur de l'Enseignement Supérieur Agricole (INRGRF)**  
**Président de l'ASTEE *Fondéeur***  
**Président et Coordinateur 2EC-2019**

## Sommaire

<b>Énergies Renouvelables et Systèmes Intelligents</b>	<b>6</b>
<b>Modélisation et simulation du comportement thermique instantané d'un séchoir indirect hybride solaire-gaz</b>	<b>7</b>
<b>Aboubacar Chaibou Aouta</b> , Haoua Amadou, Eloi Salmwendé Tiendrebeogo, Aboubakar Compaore, Alfa Oumar Dissa	
<b>Etude et analyse de la qualité du ciment obtenu à partir d'un mélange de deux clinkers cuit et incuit- cimenterie de Hadjar Essoud, Est of Algeria</b>	<b>16</b>
<b>Abdeslam Chaib</b> , M. Bounouala; M. Chettibi; Z. Mekti; S. Berdoudi ; S. Bouabdallah	
<b>Valorisation des déchets dans la composition des mortiers « Cendre d'olive ».</b>	
<b>Hebhoub Houria</b> , Rihia. C, Berdoudi. S, Boughamsa. W, Abdelouahed. A, Mouats.W	<b>27</b>
<b>Changements climatiques</b>	<b>34</b>
<b>Eau et Climat dans le bassin versant de la Madjerda Est de l'Afrique du Nord</b>	<b>35</b>
<b>Abdellouadoud Mahfoudi</b> , Nouredine Gaaloul, Wacila Khoualdie	
<b>Les sols matorralisés dans la région ouest Algérienne, Aspects physico-chimiques</b>	<b>43</b>
<b>Merzouk Abdessamad</b> , Meftah Fatima Zahra, Benabadji Noury	
<b>La végétation perturbée de quelques régions matorralisées de l'Ouest algérien</b>	<b>59</b>
<b>Benabadji Noury</b> , Ben Abdelmomen Fatna	
<b>Impact des activités anthropiques sur les ressources en eau de la périphérie ouest d'Abidjan (Sud-est de la Côte d'Ivoire).</b>	<b>69</b>
<b>Natchia Aka</b> , Yao Dakro Albert Gboko	
<b>Analysis of pillar design practices using different approaches (Case of the mine of Sétif -Algeria).</b>	<b>79</b>
<b>Said Berdoudi</b> , M.C.Djouamaa, A. Chaib, Z.Mekti	
<b>Caractérisation des épisodes de sécheresse dans le bassin versant de l'Oued d'Ansegmir (Haute Moulouya, Maroc).</b>	<b>87</b>
<b>My hachem Bekri</b> , Abdellah El Hmaidi, El Mati El Faleh, Habiba Ousmana, Ali Essahlaoui	
<b>Interférences des polluants endogènes et exogènes dans les eaux des puits et de l'Oued seybouze : cas de plaine de Guelma</b>	<b>96</b>
<b>Soltani Akram</b> , Yahy A, Djabri Larbi, Hamed Younes	
<b>Essai de cartographie de la vulnérabilité des eaux à la pollution de la plaine de Tébessa par l'utilisation de la méthode DRASTI et la méthode de Pusalti</b>	<b>95</b>
<b>Abderahmane Yahy</b> , Larbi Djabri, Younes Hamed	

# Énergies Renouvelables et Systèmes Intelligents



## Modélisation et simulation du comportement thermique instantané d'un séchoir indirect hybride solaire-gaz

Aboubacar CHAIBOU AOUTA, Haoua AMADOU, Eloi Salmwendé TIENDREBEOGO, Aboubakar COMPAORE, Alfa Oumar DISSA

<sup>1</sup> Laboratoire d'Informatique Fondamentale et Appliquée - Sciences de l'Ingénieur, de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni, B.P. 10662 Niamey – NIGER, Tél. (+227) 20 31 50 72 – Fax (227) 20 31 58 62

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE) de L'Université Joseph Ki-Zerbo, BP 7021 Ouagadougou Burkina Faso, Tel (+226) 50 30 70 64/65

### Résumé

*L'objectif de notre travail est d'évaluer les performances thermiques instantanées d'un séchoir indirect hybride solaire-gaz. Nous allons étudier le séchage de la viande sous forme de kilish, dans des conditions climatiques typiquement sahéliennes. Le séchoir que nous étudions est donc conçu pour être utilisé pendant toute les saisons de l'année du climat sahélien. L'analyse du comportement thermique instantané du séchoir est basée sur la résolution des équations de bilans thermiques et bilan massique du séchoir des tranches de viande. Ces équations de modélisation mathématique ont été établies en régime thermique transitoire. Nous allons résoudre les équations de modélisation mathématique D*

**Mots clés :** Performances, thermiques, séchoir hybride, modélisation, kilishi.

## Modeling and simulation of the instantaneous thermal behavior of an indirect hybrid solar-gas dryer

### Abstract

*The goal of our work is to evaluate the instantaneous thermal performance of a hybrid solar-gas hybrid dryer. We will study drying in the form of meat, under typical Sahelian climatic conditions. The dryer we studied is therefore designed to be used throughout the Sahelian climate season. The analysis of the instantaneous thermal behavior of the dryer is based on the resolution of thermal equilibrium equations and the mass balance of the slice dryer. These mathematical modeling equations have been established in transient thermal regime. We will solve the mathematical modeling equations under the Matlab environment (using the runge-kutta method, ODE45 solver).*

**Key Words:** Thermal, performance, hybrid dryer, modeling, kilishi.

## NOMENCLATURE

$\frac{dX}{dt}$ :	Vitesse de séchage à phase constante
G :	Intensité du rayonnement solaire incident
$\alpha_c$ :	Coefficient d'absorption de la couverture
$\tau_v$ :	Coefficients de transmission du vitrage.
$\tau_c$ :	Coefficient de transmission de la couverture
$\rho_v$ :	Masse volumique du vitrage
$\rho_{iso}$ :	Masse volumique de l'isolant
$\rho_f$ :	Masse volumique du fluide caloporteur d'air
$\rho_{as}$ :	Masse volumique l'air asséchant
$\rho_{abs}$ :	Masse volumique de l'absorbeur
$\alpha_v$ :	Coefficient d'absorption de la vitre
$\alpha_{abs}$ :	Coefficients d'absorption de l'absorbeur
$V_v$ :	Volume de vitrage
$V_{iso}$ :	Volume de l'isolant
$V_f$ :	Volume de fluide caloporteur d'air
$V_{abs}$ :	Volume de l'absorbeur
$U_{av}$ :	Coefficient des pertes thermiques à l'avant du capteur
$U_{ar}$ :	Coefficient des pertes thermiques à l'arrière du capteur
$T_{v2}$ :	Température de vitrage coté intérieur
$T_{v1}$ :	Température de vitrage coté extérieur
$T_{pr}$ :	Température du produit de la claie
$T_{iso}$ :	Températures de l'isolant
$T_f$ :	Températures du fluide caloporteur d'air
$T_{ciel}$ :	Température du ciel
$T_c$ :	Température de la couverture
$T_{ass}$ :	Température de l'air asséchant à l'entrée
$T_{as}$ :	Température de l'air asséchant de la claie
$T_{amb}$ :	Température du milieu ambiant
$T_{abs}$ :	Températures de l'absorbeur
$S_{pr}$ :	Surface du produit
$S_c$ :	Surface de la couverture
$Q_{as}$ :	Débit de l'air asséchant
$m_{prs}$ :	Masse du produit séché
$m_{pr}$ :	Masse du produit de la claie
$m_c$ :	Masse de la couverture
$m_{as}$ :	Masse de l'air asséchant
$h_{r,v2-abs}$ :	Coefficient de transfert radiatif entre la plaque absorbante et la vitre
$h_{r,Ciel-v1}$ :	Coefficient de transfert radiatif entre la vitre et la voûte céleste
$h_{r,c-ciel}$ :	Coefficient de transfert radiatif entre la couverture et la voûte céleste
$h_{c,v2-f}$ :	Coefficient de transfert convectif entre le vitrage et le fluide caloporteur
$h_{c,v1-amb}$ :	Coefficient de transfert convectif entre la vitre et l'air ambiant
$h_{c,pr-as}$ :	Coefficient de transfert convectif entre le produit et l'air asséchant
$h_{c,f-abs}$ :	Coefficient de transfert convectif entre le fluide et la plaque de l'absorbeur
$h_{c,c-as}$ :	Coefficient de transfert convectif entre la couverture et l'air asséchant
$h_{c,amb-c}$ :	Coefficient de transfert convectif entre l'air ambiant et la couverture
$C_{p_v}$ :	Chaleur spécifique massique de vitrage
$C_{p_{iso}}$ :	Chaleur spécifique massique de l'isolant
$C_{p_f}$ :	Chaleur spécifique massique du fluide caloporteur d'air
$C_{p_c}$ :	Chaleur spécifique massique de la couverture
$C_{p_{as}}$ :	Chaleur spécifique massique de l'air asséchant
$C_{p_{abs}}$ :	Chaleur spécifique massique de l'absorbeur
$\dot{m}_e$ :	Flux massique d'eau évaporée
$C_{p_{pr}}$ :	Chaleur spécifique massique du produit

## 1. INTRODUCTION

Il n'est pas nécessaire de justifier le besoin de transformation des produits alimentaires en Afrique. Ainsi depuis des décennies, le séchage solaire a toujours été utilisé pour la transformation des certains produits agro-alimentaires. À ce jour, la majeure partie des personnes qui font recours au séchage solaire, utilise des moyens traditionnels, c'est-à-dire faire exposer le produit en plein air directement au soleil sans aucune protection. Actuellement au Niger et un peu partout dans la sous-région, le séchage de kilishi (viande séchée, enrobée avec des épices et puis grillée) se fait le plus souvent traditionnellement. Les tranches de viande sont généralement séchées sans aucune protection contre la poussière, les mouches et bien d'autres infestations. Face à cette situation, notre projet de recherche se propose d'étudier et de suggérer un système hybride solaire-gaz de séchage qui permettra d'obtenir un produit ayant les mêmes propriétés organoleptiques que celles obtenues traditionnellement, tout en réduisant le temps de séchage dans les conditions hygiéniques et de rendre le produit un peu plus compétitif sur le marché international par sa disponibilité tout en accroissant le rendement économique des producteurs. Dans ce travail, nous allons évaluer les performances thermiques d'un séchoir indirect hybride solaire-gaz. L'analyse du comportement thermique instantané du séchoir est basée sur la résolution des équations de bilans thermiques.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 Description du principe de fonctionnement du séchoir hybride solaire-gaz

Le séchoir que nous étudions est conçu au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement (LPCE) de l'université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou Burkina Faso. Il est composé de deux principales parties : le capteur solaire et l'unité de séchage. Le capteur solaire est un passe-haut à air, composé d'une couche de verre de 5 mm d'épaisseur à sa face avant, d'un absorbeur peint en noir, d'un conduit à air de 3 cm d'épaisseur et d'un isolant de laine de verre de 5 cm d'épaisseur à sa face arrière. L'unité de séchage est faite d'un cadre parallélépipédique métallique en barres de section carrée. Ses trois faces sont isolées par des panneaux en polyéthylène de 3 cm d'épaisseur. La 4ème face est munie d'une porte battante de 3 cm d'épaisseur. Un cône pyramidal tronqué est placé convenablement au sommet de la chambre de séchage. La structure de ce cône est identique à celle de cette chambre. Ses dimensions sont de 60 cm de hauteur, de 12cm×12cm de petite base et de grande base identique à la section de de la chambre de séchage. Ensuite, un extracteur à air (93W-1280 tours/min) est fixé au sommet du cône. Il est alimenté de façon continue par un kit solaire comprenant un module photovoltaïque de puissance nominale de 150W, une batterie de 500 Ah de capacité de stockage, un convertisseur DC/AC de 1000 W, un régulateur électrique de 30A d'intensité nominale. Un brûleur à gaz est fixé sous l'unité de séchage, qui permet de chauffer une tôle lourde considérée comme échangeur air/air. Ce séchoir peut fonctionner en mode de séchage solaire indirect pendant la journée et en mode de séchage à gaz pendant la soirée ou quand les conditions climatiques ne sont pas favorables. Les figures (1 et 2) donnent un aperçu de son principe de fonctionnement.

#### 2.1.1 Mode séchage solaire indirect

Après l'admission de l'air à travers le collecteur, celui-ci capte les rayons solaires et chauffe l'air qui lui passe à travers. Après le collecteur, l'air rentre dans la chambre de séchage et circule du bas vers le haut. Pendant le passage à travers le produit l'air se charge d'humidité et sort de la chambre de séchage au niveau de l'extracteur d'air du séchoir.

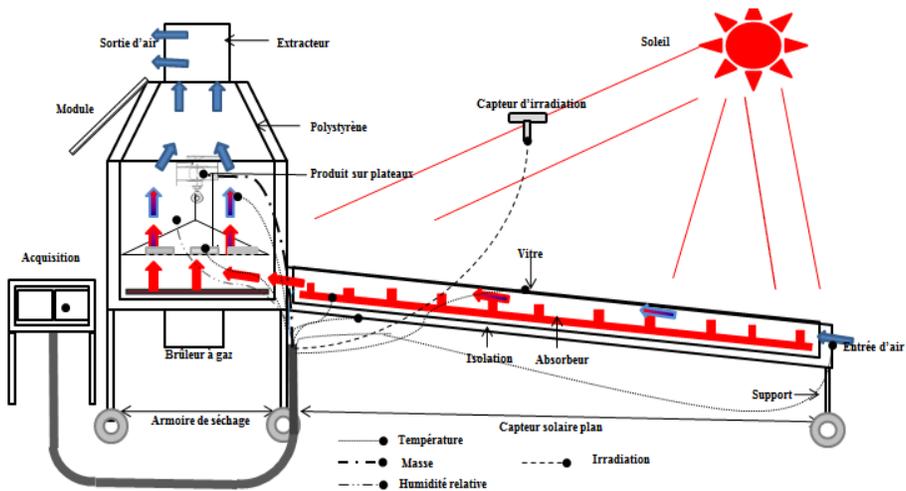


Fig. 1: Description du séchage solaire indirect

### 2.1.2 Mode séchage à gaz

Après l'admission de l'air à travers le collecteur. L'air rentre dans la chambre de séchage. Juste à l'entrée de la chambre de séchage est fixé un brûleur à gaz. La chaleur de la combustion du brûleur à gaz est transmise à l'air de séchage par une tôle lourde considérée comme échangeur air/air. Des capteurs de température sont fixés sur la tôle pour maintenir la température moyenne autour de 60°C. Ensuite l'air circule du bas vers le haut dans de la chambre de séchage. Pendant le passage à travers le produit l'air se charge d'humidité et sort de la chambre de séchage au niveau de l'extracteur d'air du séchoir.

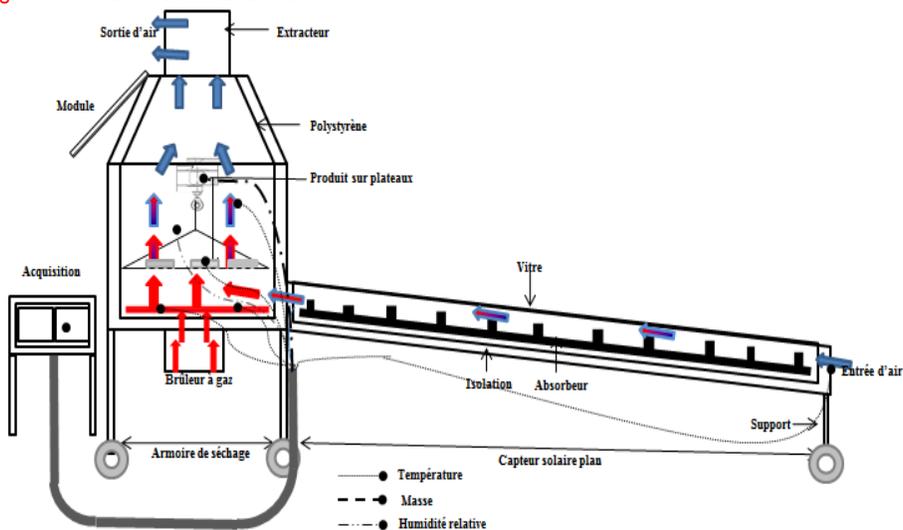


Fig. 2: Description du séchage à gaz

### 2.2 Equations de modelisation mathématique du séchoir

Pour la modélisation numérique du capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire, ainsi que l'unité de séchage, nous nous sommes inspirés des modèles existants dans la littérature [1][2]. Pour le capteur solaire, nous nous sommes intéressés sur la variation des températures au cours du temps de la vitre, du fluide caloporteur d'air, de l'absorbeur et de l'isolant. Pour l'unité de séchage, nous nous sommes intéressés sur la variation des

températures au cours du temps de la couverture de l'unité de séchage, de l'air asséchant de l'unité de séchage et du produit de séchage.

## 2.2.1 Equations de bilan thermique du capteur solaire

Pour l'écriture des bilans d'énergie, nous considérons les hypothèses suivantes :

- Les températures sont uniformes en tous points sur la face plane du capteur
- Les transferts de chaleur sont dans le sens perpendiculaire à l'écoulement.
- La température de l'air ne varie que dans le sens de l'écoulement.
- Le régime thermique est transitoire.

### Bilan thermique du vitrage (coté extérieur):

$$\rho_v V_v C_{p_v} \frac{dT_{v1}}{dt} = \alpha_v S_v G + h_{r,Ciel-v1} S_v (T_{Ciel} - T_{v1}) + h_{c,v1-amb} S_v (T_{amb} - T_{v1}) - U_{av} S_v (T_{v1} - T_{v2}) \quad (1)$$

### Bilan thermique du vitrage (coté intérieur):

$$\rho_v V_v C_{p_v} \frac{dT_{v2}}{dt} = U_{av} S_v (T_{v1} - T_{v2}) - h_{c,v2-f} S_v (T_{v2} - T_f) - h_{r,v2-abs} S_v (T_{v2} - T_{abs}) \quad (2)$$

### Bilan thermique de fluide caloporteur d'air :

$$\rho_f V_f C_{p_f} \frac{dT_f}{dt} = h_{c,v2-f} S_f (T_{v2} - T_f) - h_{c,f-abs} S_f (T_f - T_{abs}) \quad (3)$$

### Bilan thermique de l'absorbeur :

$$\begin{aligned} \rho_{abs} V_{abs} C_{p_{abs}} \frac{dT_{abs}}{dt} \\ = \alpha_{abs} \tau_v S_{abs} G + h_{r,v2-abs} S_{abs} (T_{v2} - T_{abs}) + h_{c,f-abs} S_{abs} (T_f - T_{abs}) \\ - U_{ar} S_{abs} (T_{abs} - T_{iso}) \end{aligned} \quad (4)$$

### Bilan thermique de l'isolant :

$$\rho_{iso} V_{iso} C_{p_{iso}} \frac{dT_{iso}}{dt} = U_{ar} S_{iso} (T_{abs} - T_{iso}) - h_{c,iso-amb} S_{iso} (T_{amb} - T_{iso}) \quad (5)$$

## 2.2.2 Equations de bilan thermique de l'unité de séchage

Pour l'écriture des bilans d'énergie, nous considérons les hypothèses suivantes :

- L'air humide est considéré comme un mélange des gaz parfaits (air sec et vapeur d'eau) ;
- L'écoulement de l'air est supposé unidirectionnel et uniforme ;
- Les tranches de viande sont considérées comme indéformables et suffisamment humides ;
- La température et la teneur en eau sont supposées uniformes à l'intérieur du produit

### Bilan thermique au niveau de la couverture de l'unité de séchage

$$\begin{aligned} m_c C_{p_c} \frac{1}{4} * \frac{dT_c}{dt} = \alpha_c \tau_c S_c G + h_{r,Ciel-c} S_c (T_{Ciel} - T_c) + h_{c,amb-c} S_c (T_{amb} - T_c) \\ + h_{c,c-as} S_c (T_{as} - T_c) \end{aligned} \quad (6)$$

### Bilan thermique du produit de séchage

$$m_{pr} C_{p_{pr}} \frac{dT_{pr}}{dt} = h_{c,pr-as} S_{pr} (T_{as} - T_{pr}) - m_{prs} \left( -\frac{dX}{dt} \right) L_v \quad (7)$$

### Bilan massique du produit

$$\dot{m}_e = m_{prs} \left( -\frac{dX}{dt} \right) = \frac{h_{c,pr-as} S_{pr} (T_{as} - T_{pr})}{L_v} \quad (8)$$

### Bilan thermique de l'air asséchant

$$m_{as} C_{p_{as}} \frac{dT_{as}}{dt} = h_{c,pr-as} S_{pr} (T_{as} - T_{pr}) + 4h_{c,ch-as} S_c (T_{as} - T_c) - \rho_{as} Q_{as} C_{p_{as}} (T_{as} - T_{ass}) \quad (9)$$

### 2.3 Description de la methode de resolution des systemes d'equation

Pour la résolution de nos systèmes d'équation nous avons utilisé MATLAB comme logiciel de calcul mathématique et de simulation numérique. Nous avons utilisé le solveur standard de MATLAB pour les équations différentielles ordinaires (ODE) qui est la fonction ode45. Cette fonction implémente une méthode Runge-Kutta avec un pas de temps variable pour calcul efficace [3]. Les paramètres évolutifs de notre modèle mathématique (température ambiante, intensités de rayonnement solaire) viennent des données de mesure, qui sont interpolés dans le calcul par la fonction MATLAB interp1.

En mode séchage solaire indirect, la température d'entrée de l'unité de séchage est égale à la température de sortie du capteur solaire interpolé dans les calculs des bilans thermiques de l'unité de séchage. En mode séchage à gaz, la température d'entrées de l'unité de séchage est fonction de la température fournie par le bruleur à gaz. Pour cette étude elle est fixée à une valeur de 60°C.

Afin de pouvoir comparer le modèle mathématique avec les expérimentations, nous avons utilisé les mêmes données de mesure (température ambiante, intensités de rayonnement solaire) obtenu lors d'une étude sur le même type de séchoir. Cette étude a été réalisé sur le site de mesure de Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE) de L'Université Joseph Ki-Zerbo à la journée du 29/05/2015.

## 3. RÉSULTATS DE LA SIMULATION DES EQUATIONS DU MODELE

### 3.1. Résultats de la simulation du comportement thermique du capteur solaire

En observant l'évolution de la température des composants du capteur solaire en fonction du temps (fig. 3). Nous constatons d'abord que la température de l'absorbeur est au dessus des autres températures, suivi de celle du fluide caloporteur d'air, puis celle des vitrages (face interne et externe) et enfin celle de l'isolant. Nous constatons qu'après 18h, la température de l'absorbeur décroît vite par rapport aux autres courbes. Ce phénomène est dû à la diminution progressive de l'intensité de rayonnement solaire sur la surface plane du capteur solaire à certaines heures de la journée. Ce dernier d'après nos données de mesure interpolé dans le calcul est pratiquement nul à 19h. Nous remarquons également, que les températures de vitrage face interne et externe sont presque confondu avec des légers écarts observés entre 6h- 12h et 14h - 19h respectivement pour la face externe et celle interne.

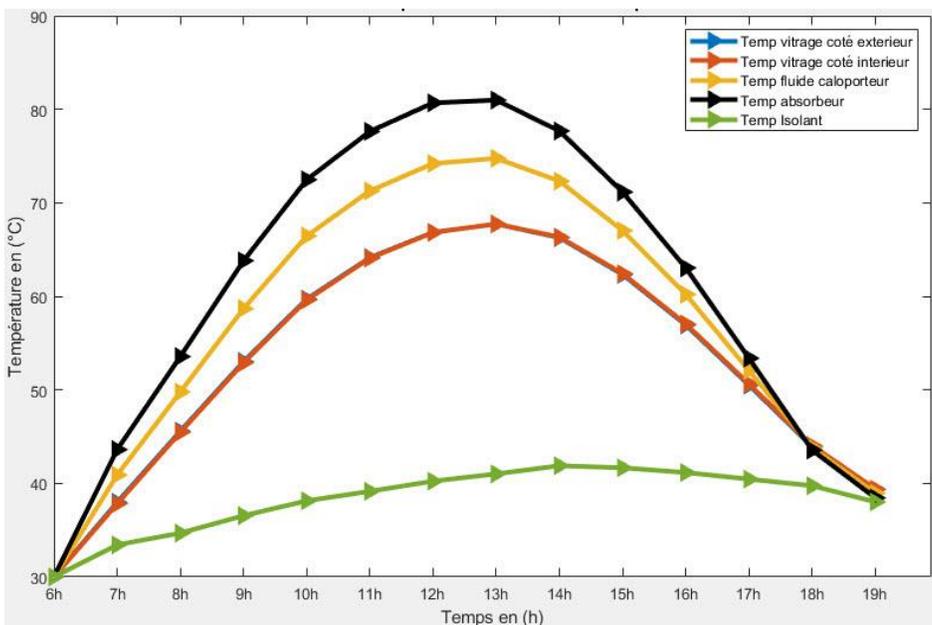


Fig. 3 : Températures des composants du capteur solaire

### 3.2. Résultats de la simulation du comportement thermique de l'unité de séchage

#### 3.2.1 Séchage solaire indirect

En observant l'évolution des températures au niveau de l'unité de séchage (Fig. 4), nous constatons que la température du produit et de l'air asséchant sont presque confondues avec un léger dépassement de la température de l'air asséchant. La température de la couverture est au-dessus des autres températures jusqu'après 16 heures et passe au-dessous des autres températures. Ce phénomène est dû à la diminution progressive de l'intensité de rayonnement solaire sur l'unité de séchage.

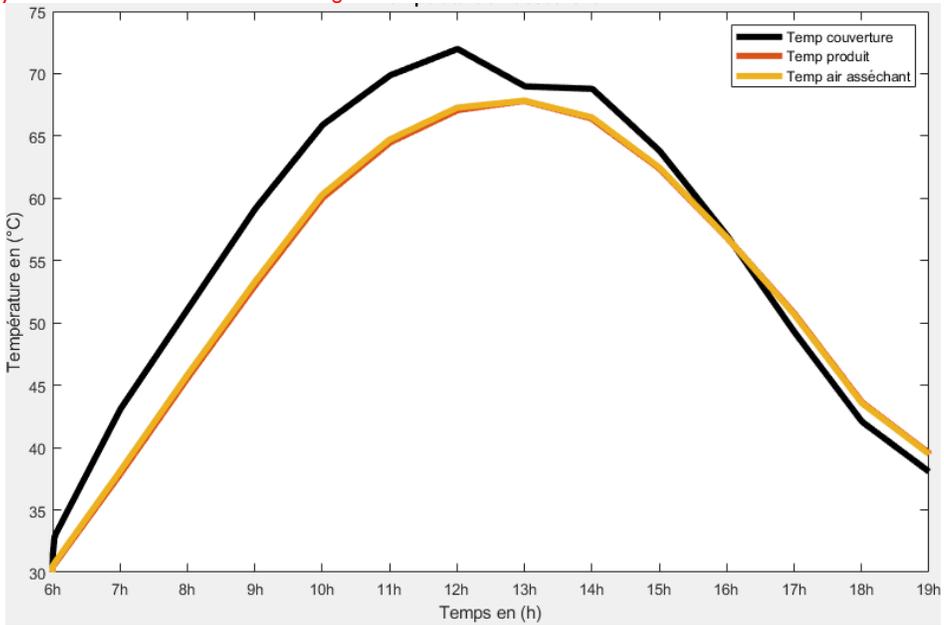


Fig. 4 : Températures de la couverture, du produit et de l'air asséchant de l'unité de séchage en mode séchage solaire indirect

#### 3.2.2 Séchage à gaz

En observant l'évolution des températures au niveau de l'unité de séchage (Fig. 5), nous constatons que la température du produit et de l'air asséchant sont presque confondues avec un léger dépassement de la température de l'air asséchant. La température de la couverture est au-dessus des autres températures jusqu'après 21 heures et devient confondu avec les autres températures

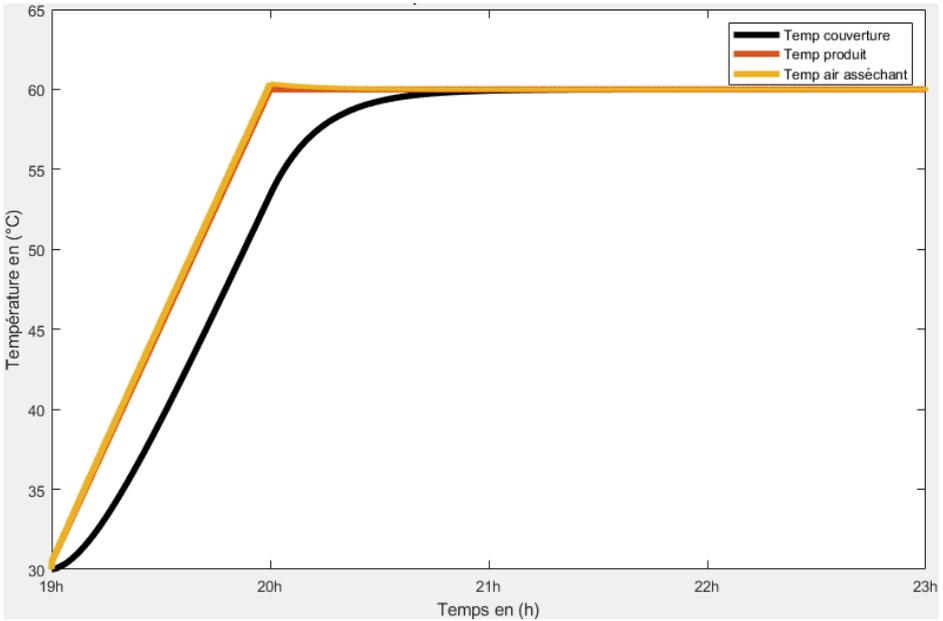


Fig. 5 : Températures de la couverture (interne et externe) et de l'air asséchant de l'unité de séchage en mode séchage à gaz

### 3.2.3 Comparaison du modèle simuler du capteur solaire avec l'expérimentation

Les figures (fig.6a, fig.6b, fig.6c, et fig.6b) présentent respectivement la comparaison du modèle simulé de l'absorbeur, du fluide caloporteur, de l'isolation et de la vitre avec les mesures obtenues expérimentalement.

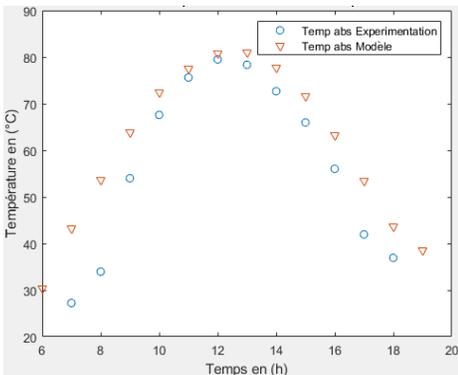


Fig. 6.a Temperature de l'absorbeur

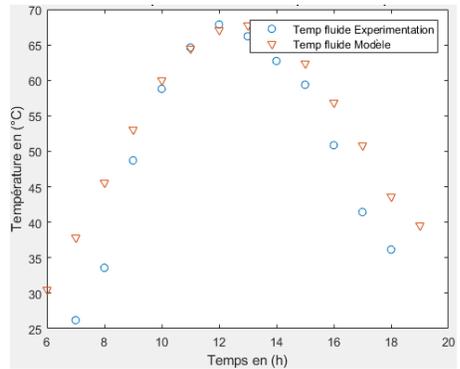


Fig. 6.b Temperature du fluide caloporteur

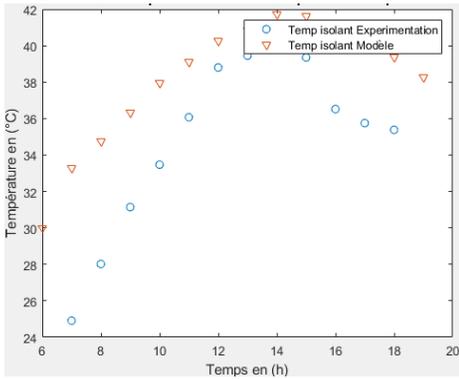


Fig. 6.c Temperature de l'isolant face arriere

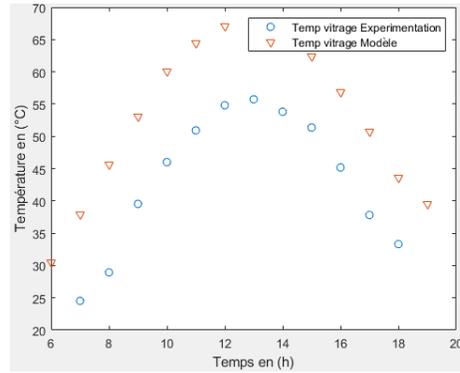


Fig. 6.d Temperature de la vitre face avant

## CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déterminer les performances thermiques instantanées du séchoir indirect hybride solaire en utilisant la méthode de runge-kutta, solver ODE45. Connaissant l'évolution de la température ambiante, de rayonnement solaire et de la vitesse du vent au courant de la journée, nous pouvons grâce au modèle mathématique, prédire les performances thermiques instantanées du séchoir. L'étude a permis également de démontrer les différences thermiques au niveau des différentes parties de séchoir. En perspective de cette étude, nous allons faire une étude d'évaluation de la performance du séchoir par rapport à la qualité et à la qualité de la viande séchée et aussi une étude d'évaluation du coût de revient du produit séché par l'utilisation de ce type de séchoir.

## Références

- [1] Rabéa. Kaoulal et al, Modélisation numérique d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire en vue d'intégration au bâtiment, Conférence IBPSA France-Arras-2014, Université d'Adrar, Algérie 2014.
- [2] Mohamed Yacine NASRI, Azeddine BELHAMRI, Simulation d'un séchoir solaire indirect a convection forcee pour les produits agroalimentaires, Sciences & Technologie B – N°44, (Décembre 2016), pp 57-62., Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 2016.
- [3] Nur Adila Faruk Senan, A brief introduction to using ode45 in MATLAB, Department of Mechanical Engineering University of California at Berkeley, pp1-6

## Etude et analyse de la qualité du ciment obtenu à partir d'un mélange de deux clinkers cuit et incuit- cimenterie de Hadjar Essoud, Est of Algeria-

A. CHAIB <sup>1</sup>; M. BOUNOUALA <sup>1</sup>; M.CHETTIBI <sup>1</sup>; Z.MEKTI <sup>1</sup>; S. BOUABDALLAH <sup>1</sup>; S. BERDOUDI <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Valorisation des Ressource Minières et Environnement « LAVAMINE ». Departement des minies -  
Faculté des Sciences de la Terre, Université Annaba, BP12 Annaba 23000; +213793050748

Corresponding author E-mail: [achaib\\_as@yahoo.fr](mailto:achaib_as@yahoo.fr)

[abdeslam.chaib@univ-annaba.dz](mailto:abdeslam.chaib@univ-annaba.dz)

<sup>2</sup> Laboratoire de metalurgie physique et propriété des matériaux « LMPPM » Departement des minies -  
Faculté des Sciences de la Terre, Université Annaba, BP12 Annaba 23000

### Résumé

La cimenterie de Hadjar Essoud souffre la production des quantités importantes des incuits et la difficulté de les récupérés ; alors elle essaye d'installer des nouvelles technologies; de mieux formé les opérateurs pour améliorer la qualité du clinker.

La cuisson revêt une importance particulière dans la fabrication du ciment au cours de la qu'elle s'effectue les transformations chimiques essentielles, et détermine en grande partie, la qualité du produit fini elle participe à raison de 40 à 60% aux couts de la production du ciment.

L'un des objectifs le plus important du processus de cuisson est l'assurance de la qualité du produit.

Dans le procédé de calcination on peut recevoir deux sortes de clinker dont les compositions chimiques et minéralogiques sont différentes, un clinker bien cuit et l'autre incuit.

Les incuits sont produits à des quantités importantes a causes de ; la qualité de la farine (matières premières, granulométrie) ; l'homogénéisation ; la cuisson et le refroidissement.

Lors de la production des incuits on les stocké a l'air libre, qui provoque un problème environnemental.

L'objectif de ce travail est de réutilisé le clinker incuit avec le clinker cuit pour produire un ciment de qualité d'une part et de préservé l'environnement d'autre part.

Les échantillons sont au nombre de cinq, comprennent à la fois 5% du gypse, 20% du laitier granulé dans le haut fourneau et 80% du clinker seulement le mélange du clinker varie pour chaque ciment.

Les échantillons préparés possèdent une composition représentée dans le tableau I.

Matière Echantillon	Gypse	Laitier	Clinker		
			Total	Clinker	Incuit
C1	5%	20%	80%	100%	0%
C2	5%	20%	80%	85%	15%
C3	5%	20%	80%	75%	25%
C4	5%	20%	80%	60%	40%
C5	5%	20%	80%	50%	50%

Les différentes méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques déterminant la qualité du clinker nous ont permis de définir des valeurs optimales. L'utilisation des incuits dégrade la qualité de ciment produite et leur résistance mécanique diminue.

Lorsque on augmente le taux des incuits la résistance mécanique diminue (C4 et C5) donnent des résistances inacceptables alors que leurs dosages a des petites doses (ne dépasse pas 25 %) améliore les résistances mécaniques adapté au type de ciment fourni par la cimenterie de Hdjar Essoud.

**Mots clef :** Hdjar Essoud, clinker, recyclage, ciment, environnement.

**Study and analysis of the cement quality obtained from a mixture of two baked and unbaked clinkers of Hdjar Soud cement factory, Skikda, Algeria-**

**Abstract**

Production of important quantities of unbaked clinker and its difficult recovering present a crucial problem for the cement factory of Hdjar Soud; so the later tries to install new technologies and better trained operators to improve clinker quality. Cooking is of particular important stage in the cement manufacturing, during which essential chemical transformations will be cared out, and the quality of final product will be determined in a large extent as well. The cooking operation takes about 40 - 60% of the cement production costs. One of the most important purposes of the cooking process is ensuring the product quality. In the calcination process, two types of clinker can be obtained, with different chemical and mineralogical compositions, well-baked and unbaked clinker.

The uncooked clinker is produced in large quantities due to the quality of the flour (raw materials and particles sizes); homogenization; cooking and cooling processes. Often, the later product is stored in the open air, which can cause an environmental problem.

The present work aims to recycle the unbaked clinker and add it to the well-baked one to produce quality cement on the one hand and to preserve the environment on the other hand. In our study five proportions of unbaked clinker are used, including both 5% gypsum and 20% granulated slag. The 80% are admixture of well-baked and unbaked clinkers in different proportions for each cement. The samples are prepared according to the following table.

Materials Samples	ypsum %	slag, %	Clinkers, %		
			Total	Well baked	unbaked
C1	5%	20%	80%	100%	0%
C2	5%	20%	80%	85%	15%
C3	5%	20%	80%	75%	25%
C4	5%	20%	80%	60%	40%
C5	5%	20%	80%	50%	50%

The optimal proportion values are defined by different physicochemical parameters methods of analysis determining the clinker quality. The use of unbaked clinker for high proportions decreases the quality and its mechanical strength. Optimal results are obtained at proportion of 25 % of unbaked clinker, at which the mechanical strengths are improved and adapted to the type of cement supplied by the cement plant of Hdjar Soud.

**Key words:** Hdjar Soud; Cement; Clinker; Recycling; Environment.

## INTRODUCTION

L'industrie du ciment occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations puisqu'elle à la base du développement de secteur vitaux dans l'économie des pays, par la production des matériaux les plus usités.

Le ciment est un matériau de base qui se trouve dans de nombreuses applications dans le génie civil, son utilisation est généralement dans le monde entier. Face à une population mondiale et à un développement croissant, les besoins en produits cimentiers pour la construction des bâtiments et des infrastructures de communication sont considérables. D'autre part, l'économie de marché mondiale astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la survie de leurs activités. Ceci implique en partie de développer des moyens de production performants et économiques viables. [1]

Pour produire le ciment qui est un produit de base élaboré, mais ayant pourtant un prix de vente de somme toute assez fiable, l'industrie cimentière a du optimiser son processus de fabrication. Il s'agit d'un procédé de fabrication très consommateur d'énergie électrique, surtout au niveau des opérations de broyage et du traitement thermique.

La qualité du ciment doit être aussi respectée afin de pouvoir l'introduire dans le marché mondial. Cette qualité dépend aussi bien des matières premières utilisées que la qualité du clinker et d'ajouts.

La cimenterie de Hadjar Essoud souffre la production des quantités importantes des incuits et la difficulté de les récupérés ; alors elle essaye d'installer des nouvelles technologies; de mieux formé les opérateurs pour améliorer la qualité du clinker.

Nous avons alors choisi comme objectif de ce travail d'étudier et d'analyser de la qualité du ciment obtenu à partir d'un mélange de deux clinkers cuit et incuit- cimenterie de Hadjar Essoud, EST of ALGERIA.

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Analyse par rayon X, (DRX)

L'analyse chimique par fluorescence X consiste à déterminer le pourcentage des différents oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

L'échantillon est prélevé au niveau de deux points R1, R2 chaque échantillon pèse environ 200 g. Cet échantillon sera mélangé et on prend 20g entre R1 et R2+8 gouttes de «T.E.A» et puis en le met dans un bol pour le broyé dans un broyeur «HERZOG» pendant 4min, une fois le broyage est fini on verse le contenu du bol dans un papier nettoyé complètement le bol, et on prend 8g de la matière broyée et on pose une capsule dans la presse HERZOG. Et nous versons les 8g de la farine pendant 10 secondes après on nettoie la surface. Une fois que la pastille est prête-t-on la passe au spectromètre «QCX» pour l'analyse finale. [2]

On a prenez deux échantillons de clinker sortant du refroidisseur l'un sous forme pulvérulente (poudre) l'autre de densité normale. On a préparé une pastille pour chaque échantillon et on les passes au spectromètre les résultats obtenues sont présentés dans le tableau 1.

### Contrôle physique de la qualité du ciment

#### Présentation des échantillons

Les échantillons sont au nombre de cinq, comprennent à la fois 5% du gypse, 20% du laitier granulé dans le haut fourneau et 80% du clinker seulement le mélange du clinker varie pour chaque ciment.

Les échantillons préparés possèdent une composition représentée dans le tableau 2.

#### Détermination de la surface spécifique Blaine

La détermination de la surface spécifique Blaine s'obtient soit par la méthode à porosité constante, soit par la méthode à masse constante [3]

#### La méthode à porosité constante :

C'est la méthode la plus courante, d'emploi général. Toutefois pour certaines natures de ciment, il est plus rapide d'opérer à masse constante. Lorsque la détermination est faite par la deuxième méthode (masse constante) et dans ce cas seulement, il en est fait mention dans le procès-verbal par l'indication de la masse employée.

Méthode à porosité constante (égale à 0.500) :

Peser à 0.01 g près, une masse  $m$  de ciment telle que, compte tenu de son volume  $V$  après tassement dans la cellule, sa porosité ( $e$ ) soit égale à 0.500. [3]

Cette masse ( $m$ ) est donnée par la relation :

$$m = V \rho (1 - e) \quad 1$$

Dans laquelle :

$\rho$  : est la masse volumique des grains du ciment considéré.

**Méthode à masse constante (égale à 0.500) :**

Peser à 0.01 g près, une masse déterminée de ciment  $m$  indépendante du ciment examiné. Après tassement dans la cellule au volume  $V$ , la porosité a pour valeur :

$$e = \frac{1-m}{\rho V} \quad 2$$

Pour la détermination de «  $V$  » et de «  $e$  » se reporter à l'étalonnage de l'appareil et à la détermination de la masse volumique.

\* Placer la grille au fond de la cellule, appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'équerre, un disque neuf de papier filtre. Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.

\* Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre.

\* Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne butte contre le haut de la cellule.

\* Retirer le piston. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 3. [3]

### Détermination du pourcentage du refus

Cet essai a pour but de déterminer le pourcentage des refus du ciment après le broyage et pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le séparateur ainsi que le degré du broyage.[3]

#### Mode Opérateur

Peser 50 g de ciment dans un tamis de 45 $\mu$ m.

Passer le tamis sur l'appareil Tamiseur à courant d'air Alpine.

Régler l'appareil en faisant entrer le poids puis en cliquant sur le bouton STO qui représente « stocke », puis entrer l'heure en cliquant « Timer » qui fera démarrer l'appareil.

Les particules restant au-dessus du tamis représentent le pourcentage du refus. Pour le déterminer le peser puis faire entrer le poids dans l'appareil et cliquer sur le bouton pourcentage (%).

L'appareil utilise la règle de trois pour déterminer le pourcentage.

Les résultats effectués sur les différents échantillons sont représentés dans le tableau 4. [3]

### Détermination de la consistance normalisée

La consistance normale caractérise la propriété rhéologique de la pâte (sa plus ou moins grande fluidité). Elle est déterminée par la méthode décrite par la norme EN 196-3 et consiste en la détermination de la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesé pour obtenir une pâte ciment dite normale. Celle-ci sera utilisée pour déterminer le début et fin de prise.[4]

La pâte dite « normale » est une pâte de consistance normale, selon des mesures effectuées avec l'appareil de Vicat. Cet instrument permet une lecture qui donne l'épaisseur de la pâte restant entre l'extrémité de la seconde et le fond du moule quand celle-ci cesse de foncer sous son propre poids.

#### Appareillage

On a utilisé l'appareil de Vicat manuel. La sonde est en métal résistant à la corrosion et d'une forme cylindrique droite d'une longueur effective d'au moins 45 mm et d'un diamètre de (10,00  $\pm$  0,05) mm. Leur mouvement est exactement vertical et sans frottement appréciable et leur axe doit coïncider avec celui de la sonde.

Le moule Vicat destiné à contenir la pâte pendant l'essai est de forme cylindrique ou, de préférence, tronconique, d'une profondeur de (40,0  $\pm$  0,2) mm et d'un diamètre intérieur de (75  $\pm$  10) mm. Le moule doit être suffisamment rigide et il est pourvu d'une plaque de base plus grande que le moule.

### Préparation de la pâte

#### Malaxage de la pâte de ciment

Au moyen de la balance, on a pesé 500 g de ciment et une certaine quantité d'eau 130 ml mesuré à l'aide de la burette elle est introduite avec précision. Malaxer chaque gâchée de pâte de ciment mécaniquement au moyen du malaxeur.

Le malaxeur étant en position de marche :

On introduire l'eau et le ciment dans le bol, en prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment ;

Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et lancer en même temps le chronométrage des étapes du malaxage. De plus, enregistrer le temps de démarrage à la minute près, comme étant le temps zéro ; Le temps zéro est le point de départ pour calculer les temps de début et de fin de prise du ciment.

Après 90 s, arrêter le malaxeur pendant 30 s. Pendant ces 30 s, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc ou en plastique toute la pâte de ciment adhérant aux parois et au fond du bol et placer cette pâte au milieu du bol ;

Remettre le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 90 s. Le temps total de fonctionnement du malaxeur doit est de 3 min.

#### **Remplissage du moule**

Verser la pâte immédiatement dans le moule légèrement huilé, préalablement placé sur la plaque de base légèrement huilée également et remplir le moule à refus sans tassement ni vibration excessifs. Avec une règle plate, enlever l'excès de pâte par un léger mouvement de scie, de manière à laisser la pâte remplir totalement le moule et à obtenir une surface supérieure lisse.

#### **Détermination de la consistance normalisée**

Régler l'appareil de Vicat manuel équipé de la sonde, fixée avant le début de l'essai, en abaissant la sonde jusqu'au contact avec la plaque de base et en calant l'indicateur ou l'échelle à zéro. Relever la sonde en position d'attente. Aussitôt après avoir arasé la pâte, placer le moule et la plaque de base dans l'appareil de Vicat, en le centrant sous la sonde. Abaisser doucement la sonde jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec la pâte.

Marquer une pause de 1 s à 2s dans cette position, pour éviter de donner une vitesse initiale ou une accélération forcée aux parties mobiles. Puis, lâcher rapidement les parties mobiles et laisser la sonde pénétrer verticalement au centre de la pâte. La libération de la sonde doit avoir lieu 4 min  $\pm$  10 s après le temps zéro. Lire l'échelle 5 s au moins après la fin de la pénétration ou 30 s après la libération de la sonde, selon que l'une ou l'autre de ces deux limites de temps est atteinte en premier. [4]

Enregistrer la valeur lue sur l'échelle qui indique la distance entre la face inférieure de la sonde et la plaque de base, ainsi que la teneur en eau de la pâte, exprimée en pourcentage en masse de ciment.

Nettoyer la sonde immédiatement après chaque pénétration. On a effectué ces opérations pour chaque ciment afin de contrôler la consistance normale le tableau 5 ci-dessous illustre les résultats obtenues. Le pourcentage d'eau est calculé à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ d'eau} = E * 100 / C ; \quad \% \text{ d'eau} \geq 25$$

E : quantité d'eau ; C : quantité de ciment.

#### **Détermination du temps de fin de prise**

Principe de l'essai L'essai de prise a pour but déterminer le temps de prise, c'est à dire le temps qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage afin de déterminer le « début de prise » et la « fin de prise ».[4-5]

On détermine les prises du ciment à l'aide d'un prismètre automatique s'enfonçant dans un moule conique rempli de pâte normale. Il est exécuté sur éprouvettes dans une armoire humide.

#### **Début de prise**

Le début de prise est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du début de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat ne s'enfonce plus jusqu'au fond c'est-à-dire s'arrête à une distance du fond du moule supérieur à 2.5 mm

#### **Fin de prise**

C'est la période qui sépare le début de gâchage de ciment jusqu'au moment ou la sonde « porte aiguille » ne s'enfonce plus dans la pâte.

Les mesures effectuées sur les différents échantillons sont remontés dans le tableau 6. [4 -5]

#### **Détermination de la stabilité**

Cet essai est effectué sur des éprouvettes de pâte pure, de forme cylindrique de 30 mm de diamètre et 30 mm de hauteur. La pâte est conservée dans des moules constitués d'une feuille de laiton d'une épaisseur de 0,5 mm. Ces moules sont fendus selon une génératrice, comportant deux aiguilles longues de 15 cm, « Aiguille de Le Chatelier », soudées de chaque côté de la fente.

La variation de l'écartement initiale de ces aiguilles renseignera sur la valeur du gonflement ou du retrait.[4 -5]

#### **Mode opératoire**

Préparer une pâte de ciment de consistance normalisée. Placer un moule Le Chatelier légèrement huilé sur la plaque inférieure légèrement huilée également et remplir le moule immédiatement, à la main uniquement, sans tassement ni vibration excessifs, et utilisant si besoin un outil à bord droit pour araser la surface supérieure. Couvrir le moule avec la plaque supérieure légèrement huilée, ajouter le poids supplémentaire si nécessaire, et placer immédiatement l'appareil complet dans la salle ou l'armoire humide.

Au bout de  $24 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$ , mesurer l'écartement (A) entre les pointes des aiguilles, à 0,5 mm près. Chauffer le moule progressivement pour porter à ébullition en  $(30 \pm 5) \text{ min}$  et maintenir le bain d'eau à la température d'ébullition pendant  $3 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$ .

À la fin de la période d'ébullition, on peut mesurer l'écartement (B) entre les pointes des aiguilles. Retirer du bain chaud et laisser refroidir le moule température ambiante. Mesurer l'écartement (C) entre les pointes des aiguilles, à 0,5 mm près. Enregistrer les valeurs mesurées (A) et (C) et calculer la différence  $(C - A)$ , au millimètre près.

Les mesures effectuées sur les différents échantillons sont reportées dans le tableau 7. [5]

#### **Essais mécanique de ciment**

**Matériaux utilisés :** Pour la préparation des (03) éprouvettes  $(40 \times 40 \times 160) \text{ mm}^3$

Sable sec : 1350 g ; Ciment : 450 g ; Eau : 225 ml

#### **Malaxage**

Le malaxeur étant en état de fonctionnement, verser l'eau dans le récipient, puis ajouter le ciment.

Mettre le malaxeur à vitesse lente (60t/min) pendant une minute, dans les 30 dernières secondes introduire le sable. Mettre le malaxeur à vitesse rapide pendant deux minutes (125t/min).

Arrêter le mouvement du malaxeur et racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie du mortier n'échappe au malaxeur pendant 30 secondes. Reprendre le malaxage pendant deux minutes à une vitesse rapide.

#### **Moulage des éprouvettes**

Le moulage est effectué au moyen de « l'appareil à choc ». Disposer le mortier sur une plaque non réactive au ciment et absorbante. Former une galette approximativement rectangulaire, la partager en six fractions sensiblement égales. Fixer le moule sur la table à choc. Introduire dans chacun des compartiments une fraction de la galette. Mettre la machine en mouvement pour 60 chocs. Recommencer les mêmes opérations pour la deuxième couche de la galette. Retirer le moule de la machine, débarrasser et araser le surplus de mortier avec une règle métallique à déplacer en mouvement de scie sur la longueur des éprouvettes.

Identifier les éprouvettes sur le moule (ex : Z1, S1, S2, S3).



Le moule remplie de mortier est conservé dans une armoire humide (98%) et à une température de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  et sans empilage les uns sur les autres.

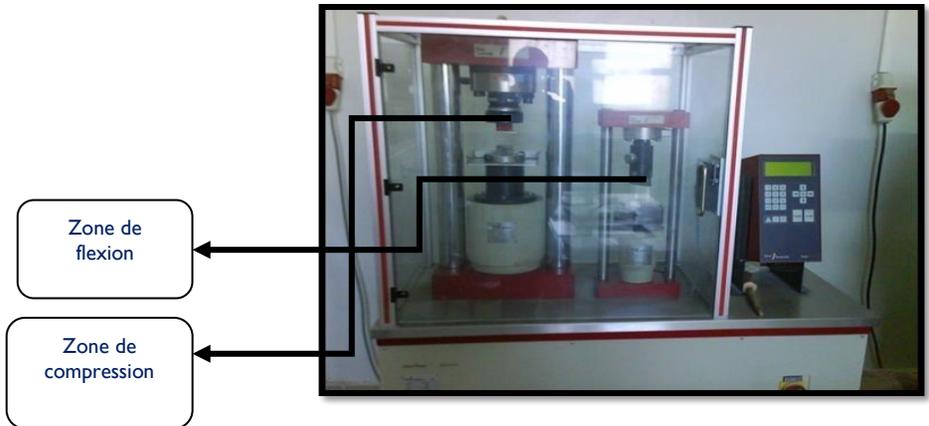
### Démoulage des éprouvettes

Au bout de 24 heures de conservation procéder au démoulage des éprouvettes avec précaution. Marquer les éprouvettes (code d'échantillon, lieu d'échantillon) sans utiliser la face de compression puis immerger dans l'eau à une température de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$  jusqu'au moment de l'essai. Les éprouvettes doivent être sortie de l'eau au moins 15 minutes avant l'essai et essuyées avec un chiffon. L'âge des éprouvettes est compté à partir du moment de malaxage jusqu'à début de l'essai. [3]



### Résistance à la flexion

Placer le prisme entre le plateau supérieur et le plateau inférieur. Faire monter la charge verticalement avec une vitesse de  $50 \pm 10\text{ N/s}$  jusqu'à rupture. Enregistrer le résultat affiché sur le pupitre d'affichage. [3]



**Figure 1.** Appareil de flexion et de compression (Presse Toni Technik)

Les résultats (2, 7 et 28 jours) effectués sur les différents échantillons sont représentés dans le tableau 8.

### Résistance à la compression

Placer le demi- prisme latéralement entre le plateau supérieur et le plateau inférieur. Faire monter la charge verticalement avec vitesse de  $2400\text{N/s} \pm 200\text{ N/s}$  jusqu'à rupture. Enregistrer le résultat affiché sur le pupitre d'affichage. Les résultats de la résistance à la compression sont donnés dans le tableau 9. [3]

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.2. Contrôle physique de la qualité du ciment

**Tableau 1** - Résultat de contrôle du clinker sorti du refroidisseur.

Composants	KK1	KK2
C3S	61.41	44.36
C2S	17.40	32.24
C3A	7.96	7.55
C4AF	10.13	12.20
CaO libre	0.8	7

**Tableau 2** - Composition des échantillons.

Matière Echantillon	Ciment				Clinker	
	%	%	%	%	Incuit	Cuit
C1	%	%	%	%	0%	
C2	%	%	%	%	15%	
C3	%	%	%	%	25%	
C4	%	%	%	%	40%	
C5	%	%	%	%	50%	

### 3.2. Détermination de la surface spécifique Blaine (SSB)

**Tableau 3** - Surface spécifique de Blaine des échantillons

Echantillon	Volume (ml)	Masse volumique	Masse à peser	SSB (cm <sup>2</sup> /g)
C1	21.6	3.009	2.847	4115
C2	21.5	3.023	2.860	4069
C3	21.6	3.009	2.847	4100
C4	23.4	2.77	2.62	3812
C5	21.4	3.03	2.866	3906

Les résultats obtenus sont dans les normes de le SSB, soit dans la fourchette [3500-4500(cm<sup>2</sup>/g)].

**Tableau 4** - Pourcentage des refus 40µm.

échantillon	sur tamis 40 µm(%)
C1	18.40
C2	16.80
C3	15.60
C4	17.50
C5	16.30

Les valeurs présentées dans ce tableau, montrent que le pourcentage des refus sur le tamis 40µm pour les 5 échantillons est préparé d'une manière correcte. (%refus< 17%)

**Tableau 5 - Consistance normale des échantillons.**

échantillon	Volume d'eau ajouté (ml)	Appareil de Vicat
C1	133	5
C2	134	5
C3	136	5
C4	137	5
C5	135	7

Toutes les pâtes fabriquées à partir des cinq échantillons répondent bien aux normes. Après avoir vérifié la consistance normale, on les a conduit vers le prismètre pour déterminer le début et fin de prise.

**Tableau 6 - Début et fin de prise des échantillons.**

échantillon	Temps de début de prise (min)	Temps de fin de prise (min)
C1	155	218
C2	163	257
C3	100	217
C4	181	255
C5	171	257

Pour les cinq échantillons étudiés, on remarque que le temps entre le début et la fin de prise est, à la limite, de l'ordre d'une heure et la dizaine de minutes (parfaitement dans les normes).

**Tableau 7- Expansion à chaud de la pâte normalisée des échantillons.**

Mesure Echan	Initial (mm)	A (mm)	C (mm)	(A-C)(mm)
C1	67	67	66	1
C2	67	66	65	1
C3	113	113	111	2
C4	48	47	47	0
C5	66	64	63	1

Les résultats obtenus, un maximum de 2mm de retrait à chaud est observé pour tous les échantillons sans exception. Tous les ciments étudiés présentent une expansion à chaud conforme aux exigences de la norme soit une valeur  $\leq 5$ .

**Tableau 8 - Résistance a la flexion des éprouvettes des échantillons.**

échantillon	Résistance à la flexion (MPa)		
	2jours	7jours	28jours
C1	3.74	6.34	8.54
C2	3.60	6.29	8.11
C3	2.99	-	-
	2.79	5.07	7.28
	2.63	4.94	7.21

**Tableau 9 - Résultats des essais de résistance à la compression**

C	Résistance à la compression (MPa)		
	2jours	7jours	28jours
1	17.80	37.30	58.60
2	16.20	33.00	55.05
3	13.00	-	-
4	12.84	25.75	46.45
5	12.15	25.65	46.00

La cimenterie de HADJAR-SOUD produit un seul type de ciment CPJ CEM II A 42,5. La résistance mécanique de ciment développé lors de gâchage est reliée directement avec la qualité de clinker produit. Donc la résistance à la compression doit être supérieure à 42.5 MPa après 28 jours.

L'utilisation des incuits dégrade la qualité de ciment produite et leur résistance mécanique diminue.

Lorsque on augmente le taux des incuits la résistance mécanique diminue (C4 et C5) donnent des résistances inacceptables alors que leurs dosages a des petites doses (ne dépasse pas 25 %) améliore les résistances mécaniques adapté au type de ciment fourni par la cimenterie de Hdjar Essoud.

### CONCLUSION

La cimenterie de Hadjar Essoud souffre la production des quantités importantes des incuits et la difficulté de les récupérés ; alors elle essaye d'installer des nouvelles technologies; de mieux formé les opérateurs pour améliorer la qualité du clinker. Lors de la production des incuits on les stocké a l'air libre.

Les différentes méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques déterminant la qualité du clinker nous ont permis de définir des valeurs optimales suivantes de ces derniers :

#### Le contrôle chimique

La composition chimique du clinker est optimale parce que les teneurs se trouvent dans les limites de fourchette : Suivant les résultats,

La teneur de la Chaux est 67, donc elle appartient à l'intervalle voulu : 60-70

La teneur de la Silice est 24.1, elle est proche de l'extrémité de fourchette : 17-25

La teneur de l'Alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) égale 6.7, donc il existe à l'intervalle : 03 - 08

La teneur d'Oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) est 6.4 elle se trouve proche de la plage désireux : 01 – 06

#### Les modules

LSF.....0.92 – 0,96

MH.....1.7- 2.3

MS.....2 – 3

MAF.....1.7- 1.9

L'objectif principal de ces analyses est de déterminer la teneur des différents constituants de clinker bien cuit. Les résultats ainsi obtenus sont communiqués directement à la salle de contrôle qui effectuera par la suite, s'il y a lieu la correction des matières aux cours de traitement. [6]

#### Le Contrôle physique

Lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande et plus l'hydratation est rapide et complète. La finesse est généralement exprimée par sa surface massique, c'est la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. la valeur optimale de SSB est de 3000 cm<sup>2</sup>/g. [3]

La perte au feu (PAF) influe sur la résistance du ciment au-delà de la limite prescrite par la norme  $\leq 5\%$ .

L'essai de prise a donc pour but de déterminer le temps de prise, et le temps qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise. Le début de prise doit être supérieur à 1h 30mn.

L'objectif principal de ces analyses est de déterminer la teneur des différents constituants de clinker bien cuit. Les résultats ainsi obtenus sont communiqués directement à la salle de contrôle qui effectuera par la suite, s'il y a lieu la correction des matières aux cours de traitement.

### Références

- [1] Niyazi ugri, K. Role of construction industry wastes on the properties of mortars, J. Sie. Tech, 3, (2013). 109-113.
- [2] Vuk, T., Tinta, V., Gabrovsek, R., Kaucic, V. The effects of limestone addition, clinker type and fineness on properties of Portland cement, Cem. Concr. Res, 31, (2001). 135-139.
- [3] Benia, M. Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux sur le comportement mécanique du mortier et du béton à base de matériaux locaux, me-moire de magister, Université de Msila. (2011).
- [4] Neto, C.S., Campiteli, V.C. The influence of limestone additions on the rheological properties and water retention value of Portland cement slurries, Car-bonate Additions to Cement, ASTM, STP, (1990). 1064, 24-72.
- [5] Norme française (AFNOR), la norme européenne NF EN 196-3 et 197-1. Janvier 2009/2010.
- [6] Pawar, M., Dewangan, A. The significance of partial replacement of cement with waste marble powder, Period. Res, 3, 1(2014).

## Valorisation des déchets dans la composition des mortiers

### « Cendres de déchets d'olive »

Hebhoub. H<sup>1</sup>, Rihia. C<sup>1</sup>, Berdoudi. S<sup>2</sup>, Boughamsa. W<sup>1</sup>, Abdelouahed. A<sup>1</sup> et Mouats.W<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda- Algérie. +213.771.66.42.43

[hebhoubhouria@yahoo.fr](mailto:hebhoubhouria@yahoo.fr)

<sup>2</sup> laboratoire LMPPM, Département des mines, Université de Annaba, Algérie +213771335583.

[berdoudisaid@yahoo.fr](mailto:berdoudisaid@yahoo.fr)

### Résumé

*Ce travail entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, notamment les déchets agricoles. Parmi ces déchets on trouve les déchets d'olive, produit de premier rang en l'Algérie. Dans ce contexte nous avons valorisé les résidus d'incinérations des déchets d'olive « cendres de déchets d'olive » comme sable dans la formulation d'un mortier remplace partiellement un sable ordinaire avec des taux 5, 10 et 15%. Nous avons étudiés le comportement des mortiers à l'état frais (densité, consistance et air occlus) et à l'état durci (résistance en compression et en traction par flexion a 2 et 28jours) ensuite comparé les résultats avec un mortier témoins (0%) a base de sable ordinaire.*

*Les résultats obtenus montrent que l'introduction des cendres de déchets d'olive comme sable dans les mortiers donne des résultats acceptables.*

**Mots clés :** mortier, valorisation, cendres, déchets d'olive, caractérisations, formulation, performances.

## Valorization of wastes in the composition of mortar

### «Fly ash olive»

### Abstract

*This work is part of the development of local materials, especially agricultural wastes. Among these wastes, we find waste of olives, first rank product in Algeria. The use of olives incineration residue "olive ash" as sand in the composition of a mortar, was investigated. Sand is partially replaced with rates of 5, 10 and 15% in mortar composition. Fresh mortar experiments such as density, consistency and air content were carried out. Furthermore, compressive strength and splitting-tensile strength experiments on the hardened specimens were carried out. Properties of all the mortar types were compared to control mortar based on ordinary sand.*

*Obtained results show that the introduction of olive ash as sand in mortar gives satisfactory performances.*

**Key Words:** mortar, valorization, ashes, olive waste, characterization, formulation, performances.

## INTRODUCTION

La valorisation des déchets et en particulier les cendres végétales dans le domaine de génie civil comme matériaux de construction sont devenue un axe de recherche largement abordé du point de vue de son importance économique par la réutilisation de ces déchets soit comme ajout dans le ciment pour diminuer leur coût de fabrication et réduit les émissions de CO<sub>2</sub> ou comme sable dans les mortiers et les bétons. L'élimination des déchets d'olive par leur valorisation dans le domaine de la construction permet de protéger l'environnement et préserver nos ressources naturelles et contribue au développement durable.

Plusieurs types de déchets d'origine végétale ont été utilisés dans le ciment, mortiers et bétons:

La balle de riz est un sous-produit dérivé du décorticage du riz, après une combustion complète de ces balles, on obtient des cendres de couleur grisâtre. La cendre de balle de riz possède une teneur élevée en silice de l'ordre de 90%. Les cendres de riz peuvent alors devenir un matériau cimentaire pouzzolanique [1]. Les coques de noix de palme sont obtenues après extraction des fibres et concassage du noyau. Ils présentent une masse volumique en vrac de 560 kg/m<sup>3</sup>, ce type de déchet a été valorisé dans la fabrication d'un béton léger [2].

Les cendres de bagasse de cannes à sucre (résidu fibreux de la transformation des cannes en sucre), un matériau largement produit en Amérique Latine. Ces cendres sont utilisées comme substituant de 20 à 40% dans le ciment et utilisé pour développer un béton écologique [3, 4].

Les grignons d'olives sont des sous-produits de l'activité des moulins à huile. Ils sont obtenus par des moyens strictement mécaniques excluant tout adjuvant (noyau, pulpe et peau de l'olive) sont des produits plus ou moins pâteux. Ces déchets après incinération peuvent être utilisés dans le domaine de la construction utilisé dans la confection d'un béton écologique [3].

Les pays de la méditerranée sont connus par leur production considérable en olive chaque année [5] en particulier l'Espagne [6], l'Italie, la Tunisie et l'Algérie. L'activité d'extraction d'huile des olives produisent une grande quantité de déchets constitués de grignons (rejets solides formés des pulpes et noyaux d'olives) et de margines (effluents liquides de composition complexe) qu'il importe de traiter pour faire face aux risques de pollution potentielle [7]. Les grignons d'olives comptent parmi les matières les plus abondantes dans l'Algérie et sont déversées dans la nature. Ces déchets conduisent à des pollutions qui peuvent avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et sur l'environnement [8]. Traditionnellement, ce déchet est valorisé sous forme de combustible et d'engrais.

Ce travail a pour objectif de valoriser et réutiliser les cendres de déchets d'olive, résidus provenant de l'incinération des déchets d'olives. Plusieurs chercheurs ont travaillé sur cet axe:

Alkheder et al, [9] ont travaillé sur le comportement des cendres de déchets d'olives comme ajout dans le ciment avec des taux de 3 à 15%, pour réaliser ce travail des pâtes et mortier ont été confectionnés. Les résultats trouvés indiquent que la consistance, le temps de prise et la densité diminuent avec l'augmentation du pourcentage de déchets et inférieure à celui de l'ordinaire et les résistances en compression diminuent légèrement avec la teneur en déchets d'olives à 3,7,28 jours.

Al-Akhras and Abdulwahid, 2010 [10] ont utilisé les cendres de déchets d'olive dans des mélanges de mortier remplace le sable ordinaire, les résultats ont montré que le temps de prise et la maniabilité du mortier diminuaient avec l'augmentation de la teneur en cendres de déchets d'olive. Les propriétés mécaniques du mortier ont augmenté avec l'augmentation de la teneur en cendres d'olive.

Cruz-Yusta et al. (2011) [11] ont découvert par une étude sur mortier contenant des cendres de biomasse d'olive que jusqu'à 10% du ciment peut être remplacé par des cendres volantes de biomasse d'olive, sans nuire aux propriétés mécaniques d'un mortier.

Al-Akhras et al 2009 [12], ont étudié les performances du béton contenant les cendres d'olives avec des taux 7, 15 et 22% remplace partiellement un ciment et exposé à des températures élevées entre 400 et 600 °C, l'étude montre une augmentation des résistances en compression par rapport au béton témoin et augmente avec l'augmentation du taux des cendres de déchets d'olive.

L'utilisation de cendres volantes provenant de la combustion de granulés de résidus d'olive agricoles comme charge dans le béton auto-plaçant ont été étudiées par Cuenca et al. 2013 [13]. Les essais en laboratoire ont montré que le béton contenant des cendres volantes de biomasse avait une résistance à la compression égale ou supérieure à celle du béton de référence. Ces résultats indiquent clairement que les cendres volantes de biomasse peuvent être utilisées pour fabriquer du béton auto-plaçant de haute qualité.

Le remplacement partiel du ciment par les cendres de la graine d'olive dans un béton hydraulique a été étudié par Eisa, 2014 [14], un effet significatif sur la maniabilité du béton frais. La résistance à la compression diminue de 75% par rapport aux mélanges témoins.

Les résultats trouvés par les chercheurs favorisent l'utilisation des cendres de déchets d'olive dans la formulation du mortier l'objet de cette étude.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### \* Matériaux utilisés

Les différents matériaux utilisés dans ce travail sont:

-Un sable de dune SD d'origine Oued z'hour-Skikda (Est de l'Algerie)

-Ciment CPA-CEM I 42.5N provenant de la cimenterie de Msila- Algerie.

-Sable de cendres de déchets d'olive SC de classe 0/2 obtenue par incinération des déchets d'olive et tamisage dans le tamis 2mm.

-Eau de gâchage du robinet.

Les résultats des essais de caractérisation sont donnés dans le tableau I et les courbes granulométrique des deux sables sont représentées sur la figure I.

**Table I – Resultats des essais de caracterisations.**

Propriétés	SD	SC
Masse volumique apparente g/cm <sup>3</sup>	1,53	1,50
Masse volumique absolue g/cm <sup>3</sup>	2,608	1.100
Equivalent de sable %	83	66
Absorption	1.50	4.96
VB	0.6	-
Module de finesse %	1.8	3.32
CaO	0.80	19.00
SiO <sub>2</sub>	94.09	29.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.36	1.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.15	1.01

-Le module de finesse du sable SD est de 1.8 indique un sable fin.

-Le module de finesse du sable SC est 3.32 indique un sable grossier ce qui donne une bonne résistance et une mauvaise ouvrabilité.

-La masse volumique apparente du sable SC est légèrement inférieur à celle du sable SD.

-La masse volumique absolue du sable SD est supérieur à celle du sable SC.

-Le sable SC absorbe plus d'eau que le sable SD.

-Le sable SD est plus propre que le sable SC.

-La teneur en silicium est de 94,09%, donc le sable SD est de nature siliceux.

-Les cendres de déchets d'olive riches en CaO et SiO<sub>2</sub>.

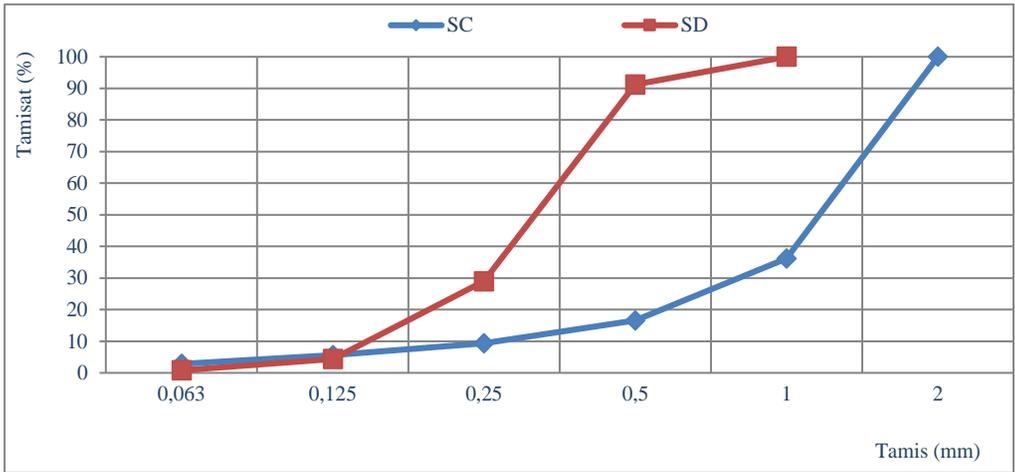


Fig. 1 – Courbe granulométriques des sables

**\*Programme expérimental**

L'objectif de ce travail est étudié l'effet du taux de substitution d'une partie de sable ordinaire SD par un sable de cendres de déchets d'olive SC dans un mortier 1/3, en faisant varier les taux de substitution (5%, 10 et 15%) sur les caractéristiques de mortier à l'état frais et durci, ensuite comparé les résultats obtenus avec des bétons témoin de 0% de taux de substitution. Les paramètres fixes sont le dosage en ciment et le dosage en eau et les paramètres variables sont les taux de substitution.

Les essais effectués sur mortier à l'état frais sont mesure de la consistance, densité et air occlus et à l'état durci sont, mesure de la résistance en compression et en traction par flexion à 2 et 28 jours sur éprouvettes prismatiques de dimension (4x4x16) cm<sup>3</sup>.

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

**Densité**

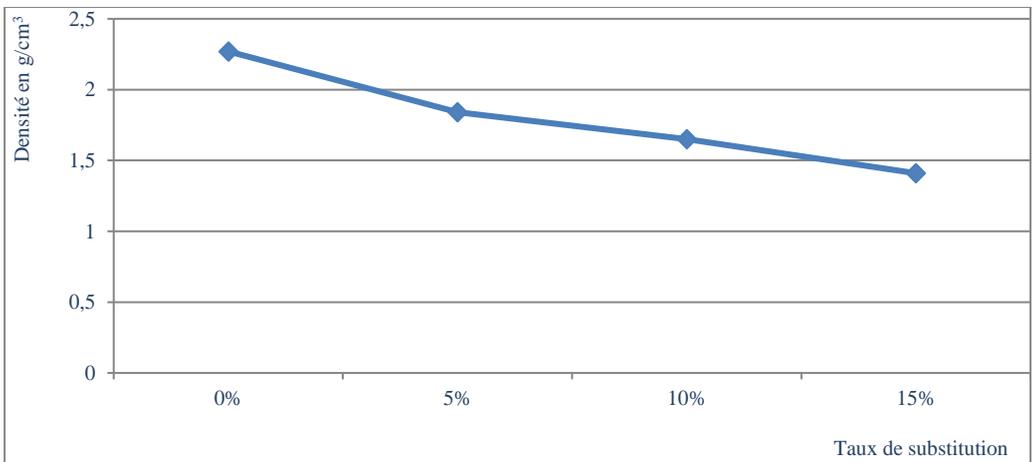


Fig. 2 - Variation de la densité en fonction du taux de substitution

L'introduction des cendres de déchets d'olive dans le mortier conduit à diminuer la densité, ceci est expliqué par la faible densité du cendres de déchets d'olive (figure 2). La densité minimale est donnée par le mortier de 15% de taux de substitution tandis que la plus grande densité est donnée par le mortier témoin. Les résultats sont en cohérence avec ceux trouvés par Alkheder et al, 2016 [9] et Al-Akhras and Abdulwahid, 2010[10].

### Consistance

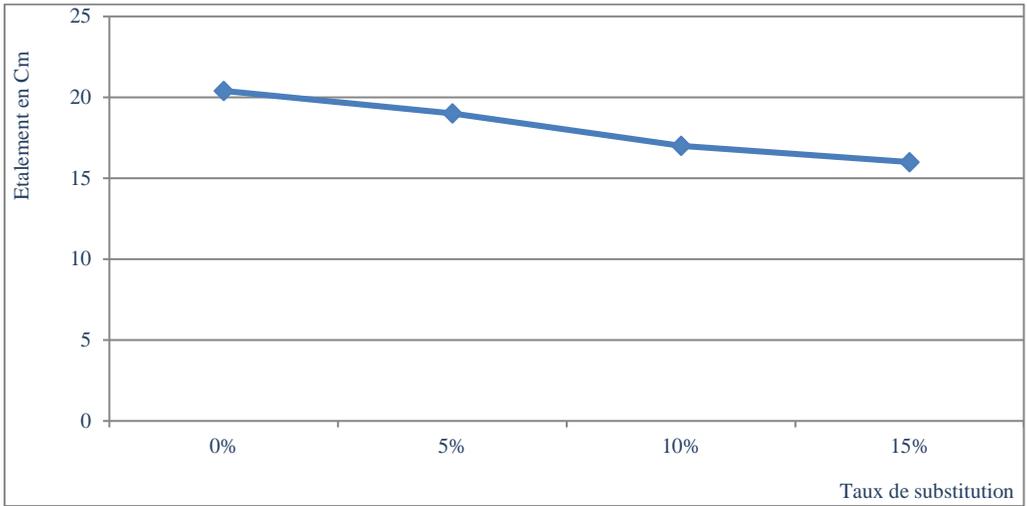


Fig. 3 - Variation de la consistance en fonction du taux de substitution

La figure 3 indique que l'introduction de sable de cendres de déchets d'olive conduit à diminué la consistance du mortier témoins jusqu'à un taux de 15% (Alkheder et al, 2016) [9], ceci est expliqué par la plus forte absorption d'eau du sable recyclé d'une part et au module de finesse élevé du sable de cendres de déchets d'olive d'autre part. La meilleure consistance est donnée par le mortier témoins. Ces résultats correspondent avec ceux trouvés par Eisa, 2014[14].

### Air occlus

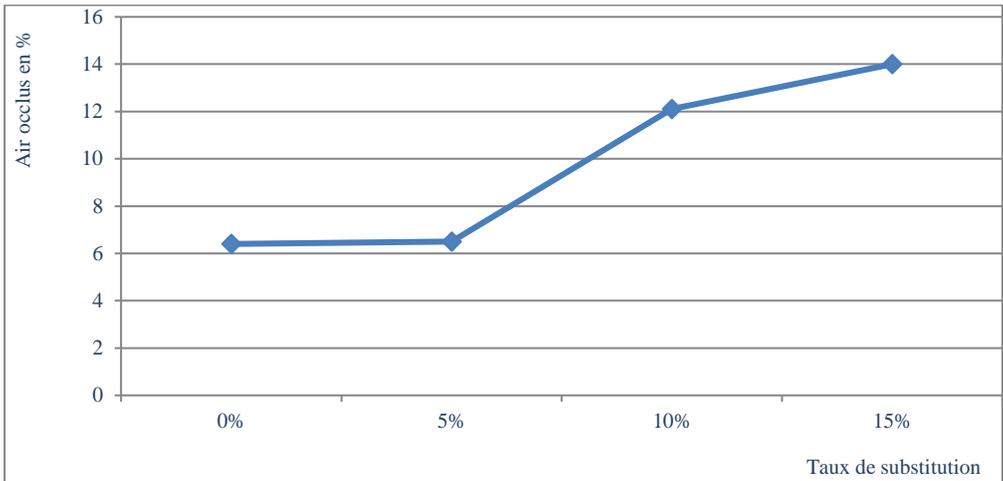


Fig. 4 - Variation de la teneur en air occlus en fonction du taux de substitution

La teneur en air occlus augmente avec l'augmentation du taux de substitution du sable de cendres de déchets d'olive (figure 4), ceci est du à la porosité créée par le sable de cendres de déchets d'olive qui présente un coefficient d'absorption élevé.

### Résistance en compression

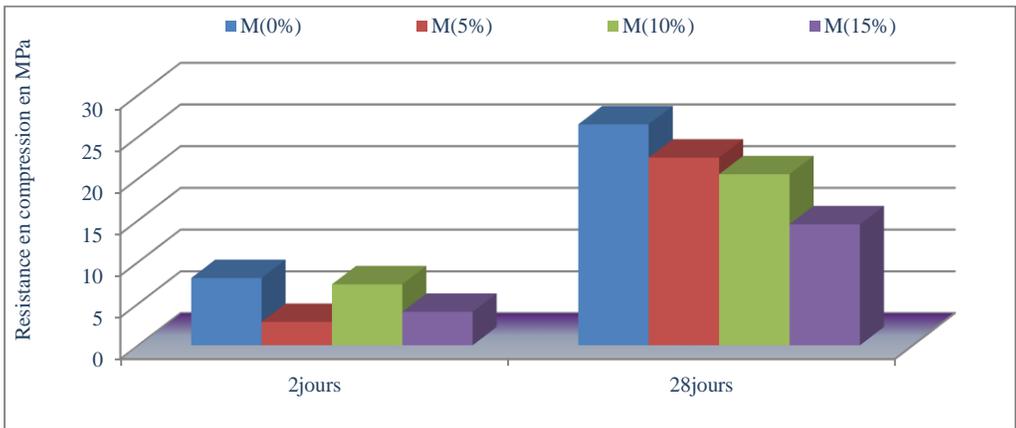


Fig. 5 – Influence du taux de substitution sur la résistance en compression

-L'introduction de sable de cendres de déchets d'olive entraine une chute des résistances du mortier témoins quelque soit le taux de substitution pour tous les âges (figure 5), ce chute est du à la propriété de sable de cendres d'olive (Fava et al. 2011) [15].

-A 2 jours l'introduction de sable de cendres de déchets d'olive entraine une perturbation dans la réaction d'hydratation du ciment, ce qui traduit par une diminution de la résistance en compression pour atteindre une valeur de 2.8MPa a un taux de 5%, au-delà de ce taux l'effet s'inverse pour avoir une résistance de 7.3MPa pour un taux de 10%, cette valeur est proche a celle du mortier témoins.

-A 28 jours, l'introduction de sable de cendres de déchets d'olive engendre une diminution des résistances en compression en fonction de l'augmentation du taux de substitution (Eisa, 2014) [14] mais reste acceptable. La valeur minimale est donnée par le mortier de 15% de sable de cendres de déchets d'olive et la valeur maximale est enregistrée sur le mortier témoins. La résistance augmente avec l'âge. Ces resultats correspond avec ceux trouvés par Alkheder et al, 2016 [9] et Cruz-Yusta et al. (2011) [11] et ne correspond pas avec ceux trouvés par Al-Akhras and Abdulwahid, 2010[10].

### Résistance en traction par flexion

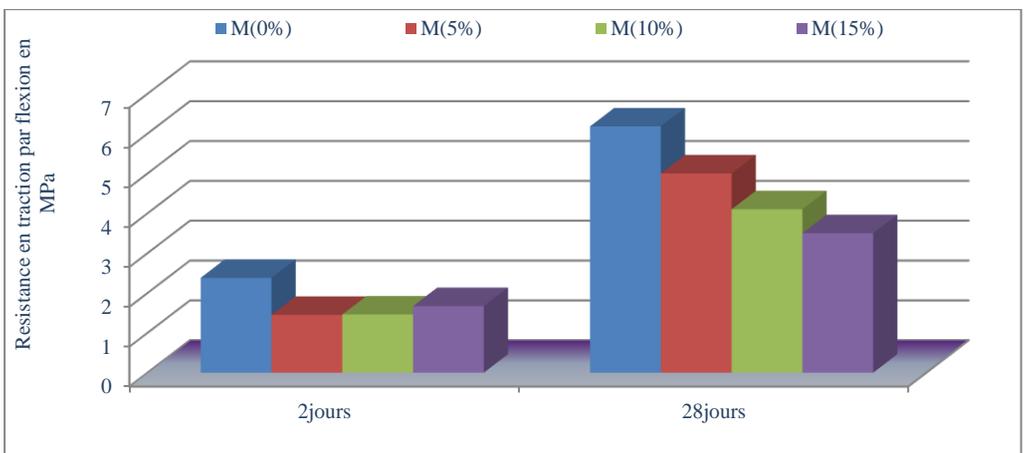


Fig. 6 - Influence du taux de substitution sur la résistance en traction par flexion

D'après la figure 6, on constate que le comportement en traction est le même qu'en compression, la valeur maximale est donné par le mortier témoins tendis que la valeur minimale est donné par le mortier de 15% de taux de substitution.

## CONCLUSION

D'après cette étude on peut conclure que:

- L'introduction de sable de cendres de déchets d'olive conduit a diminue la densité.
- La densité minimale est donné par le mortier de 15% de taux de substitution
- L'introduction de sable de cendres de déchets d'olive conduit a diminué la consistance.
- La meilleure consistance est donnée par le mortier témoins.
- La teneur en air occlus augmente avec l'augmentation du taux de substitution du sable de cendres de dechets d'olive.
- L'introduction du sable de cendres de déchets d'olive entraine une chute des résistances en compression.
- La résistance en compression minimale est donnée par le mortier de 15% de sable de cendres de déchets d'olive à 28 jours.
- La résistance augmente avec l'âge.
- Le comportement en traction est le même qu'en compression.
- La résistance en traction par flexion maximale est donnée par le mortier témoins.
- L'introduction de sable des cendres de déchets d'olive dans les mortiers affecte les performances mecaniques mais reste acceptable.

## Références

- [1] W.Wilson, Bétons durables à base de cendres d'écorces de riz, Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke 2012.
- [2] D.Y.Osei, E.N.Jackson, Experimental study on palm kernel shells as coarse aggregates in concrete, *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 3(8)( 2012).
- [3] G. Gauvin, Beton plus resistant grace aux cendres de la cane a sucre, Forum Politique des Iles, Chagos Madagascar 2014.
- [4] L. Rodier, Matériaux de construction en zone tropicale humide- Potentialités de sous produits ou de matériaux naturels locaux en substitution ou en addition a la matrice cimentaire, These de doctorat, université des Antilles et de la Guyane (2014).
- [5] R. Loussert, G. Brousse, L'olivier, techniques agricoles et production Mediteranéennes, (1978), 1-6.
- [6] F. Papi, J. Antonio, Use of olive biomass waste ashes in mortars and concrete, University of Wales Trinity Saint David (UK), School of Architecture, Built and Natural Environments (2015).
- [7] S. Etahiri, J. Amine, B. Bihouï, Production of organic waste generated by food industry in Morocco, *MOROCOMP (LIFE TCY05/MA000141)*, (2006), 1-12.
- [8] S.Djedouf, A. Tahakourt, N. Chelouah, D. Merabet, Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caracteristiques physico-mecanique de la brique de terre cuite, *Communication Science & technologie*, 9 (2011), 1-7.
- [9] S. Alkheder, Y.T. Obaidat, M. Taamneh, Effect of olive waste (Husk) on behavior of cement paste, *Case Studies in Construction Materials*, 5 (2016), 19-25.
- [10] N. M. Al-Akhras, M. Y. Abdulwahid, Utilisation of olive waste ash in mortar mixes, *Structural Concrete*, 11(4) (2010), 221-228.
- [11] M. Cruz-Yusta, I. Märmol, J. Morales, L. Sánchez, Use of olive biomass fly ash in the preparation of environmentally friendly mortars, *Environ. Sci. Technol.*, 45(16) (2011), 6991-6996.
- [12] N.M. Al-Akhras, K.M. Al-Akhras, M.F. Attom, Performance of olive waste ash concrete exposed to elevated temperatures, *Fire Safety J.*, 44(3) (2009), 370-375.
- [13] T J. Cuenca, J. Rodríguez, M. Martín-Morales, Z. Sánchez-Roldán, M. Zamorano, Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete, *Const. Build. Materls.*, 40(2013), 702-709.
- [14] A. Eisa, Properties of concrete incorporating recycled post-consumer environmental wastes ,*International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(3) (2014), 251–258.
- [15] G. Fava, T. Naik, G. Moriconi, Properties of cementitious paste made with cement and ash from olive waste, [www.cbu-uwm.info](http://www.cbu-uwm.info) > *Papers* > *CBU-2011-02*.



Changements  
climatiques

## Eau et Climat dans le bassin versant de la Madjerda Est de l'Afrique du Nord

Abdellouadoud Mahfoudi<sup>1</sup>, Nouredine Gaaloul<sup>2</sup> et Wacila Khouldia <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université ElManar, ENIT, BP 37, Rue le Belvedere 1002 Tunis Tel: +213. 671231108, E-mail:  
[abdellouadoudmahfoudi@yahoo.com](mailto:abdellouadoudmahfoudi@yahoo.com)

<sup>2</sup> Université de carthage-IRESA, INGRES, Rue Hédi Karray B.P.10,2080,Ariana,Tunisie Tel: +216.98.435.772, E-mail:  
[gaaloul.nouredine@iresa.agrinet.tn](mailto:gaaloul.nouredine@iresa.agrinet.tn) [ngaaloul2003@yahoo.fr](mailto:ngaaloul2003@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Université de Souk-Ahras , MCM, Faculté des sciences et Technologie , Laboratoire de recherche InFrees,Team climat et gestion des ressources en eau Rue BP.1553.Route de Annaba 41000,Algérie Tel: +213.69.84.48.30, E-mail:  
[w.khouldia@univ-soukahras.dz](mailto:w.khouldia@univ-soukahras.dz) [mwacila@yahoo.fr](mailto:mwacila@yahoo.fr)

### Résumé :

Le Maghreb est confronté à un manque d'eau important due à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations, et à la sécheresse qui sévit d'année en année face à des besoins qui ne cessent d'augmenter due à l'accroissement démographique, l'urbanisation accélérée et le développement économique. Et à la grande variabilité interannuelle et saisonnière des précipitations, une forte irrégularité des apports liquides avec de violentes crues et des périodes de basses eaux qui a persisté sur plusieurs mois consécutifs sont observés, entraînant une baisse sensible de la production agricole. D'après les modèles climatiques, les effets attendus du changement climatique global sur les ressources en eau indiquent une aggravation de leur vulnérabilité. A cet effet, les États maghrébins ont largement mobilisé leurs potentiels en eau face à ce changement. Pour faire face à cette situation notre thème de recherche est une collaboration sans frontière entre l'Algérie et la Tunisie, dans le domaine de l'étude de la variabilité climatique et son impact sur les ressources hydriques cas de Medjerda. A travers cette étude on va présenter une synthèse bibliographique sur « eau et climat cas de la Medjerda ».

**Mots-clés :** Eau, Climat, Ressources hydrique, Sécheresse, Madjerda, Nord-Est Afrique.

### Climatic changes and water resources in the watershed Medjerda in the East of North Africa

### Abstract:

The Maghreb is facing as a severe lack of water due to the semi-aridity of its territory, the low rainfall, and the drought which is rife from year to year with needs that are constantly increasing due to the population growth, accelerated urbanization and economic development. And with the great interannual and seasonal variability of rainfall, a large irregularity of liquid inputs with violent floods and periods of low water that persisted for several consecutive months are observed, resulting in a significant decline in agricultural production. According to climate models, the expected effects of global climate change on water resources indicate a worsening of their vulnerability. To this end, the Maghreb states have largely mobilized their water potential in the face of this change. To deal with this situation our research theme is collaboration without borders between Algeria and Tunisia, in the field of the study of climate variability and its impact on the water resources case of Medjerda. Through this study we will present a bibliographical synthesis on "water and climate case of the Medjerda "

**Keywords:** Water, Climate, water resources, Drought, Madjerda, North-East Africa.

### Présentation de la zone d'étude:

Le bassin versant de Medjerda qui s'étale entre l'Algérie et la Tunisie occupe une superficie de 23700 km<sup>2</sup> dont 7600 km<sup>2</sup> en territoire algérien. Ce dernier est bordé au Nord par le bassin des Côtiers Constantinois, à l'Ouest par les bassins de la Seybouse et des hauts plateaux Constantinois, au Sud par le bassin de Chott Melghrir, et à l'Est par le Ghardimaou; Souk al arba et mdjez el bab.

Ce bassin est aussi traversé par un des principaux oueds maghrébins, la Medjerda au Nord et le Mellègue au Sud. Ces deux oued prennent leurs sources de l'Algérie et se réunissent au niveau du golf de Tunis avant de se jeter dans la mer méditerranéenne. Il S'écoule sur plus de 460 kilomètres dont 350 en Tunisie, c'est à la fois le plus long cours d'eau et le seul pérenne de Tunisie. 1/3 de ces ressources hydriques restent en Algérie et les 2/3 partent pour la Tunisie (ANRH,2018)

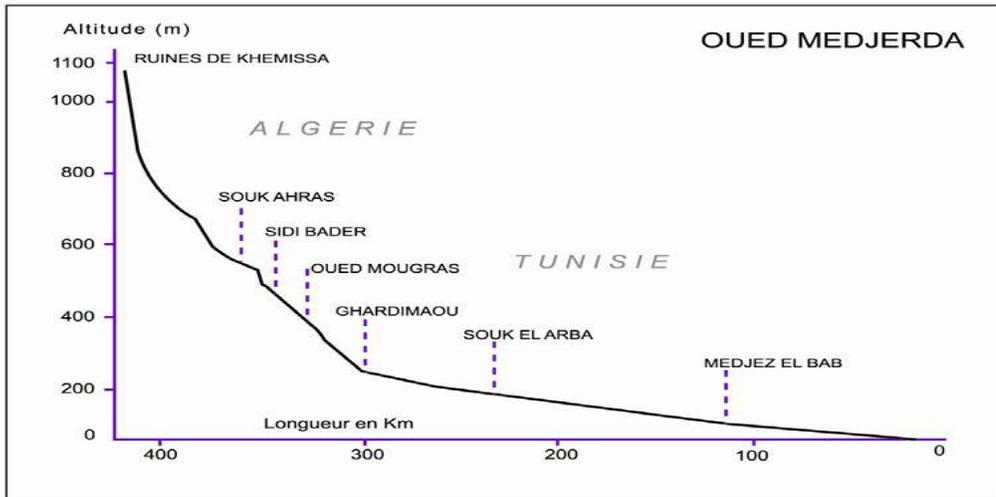


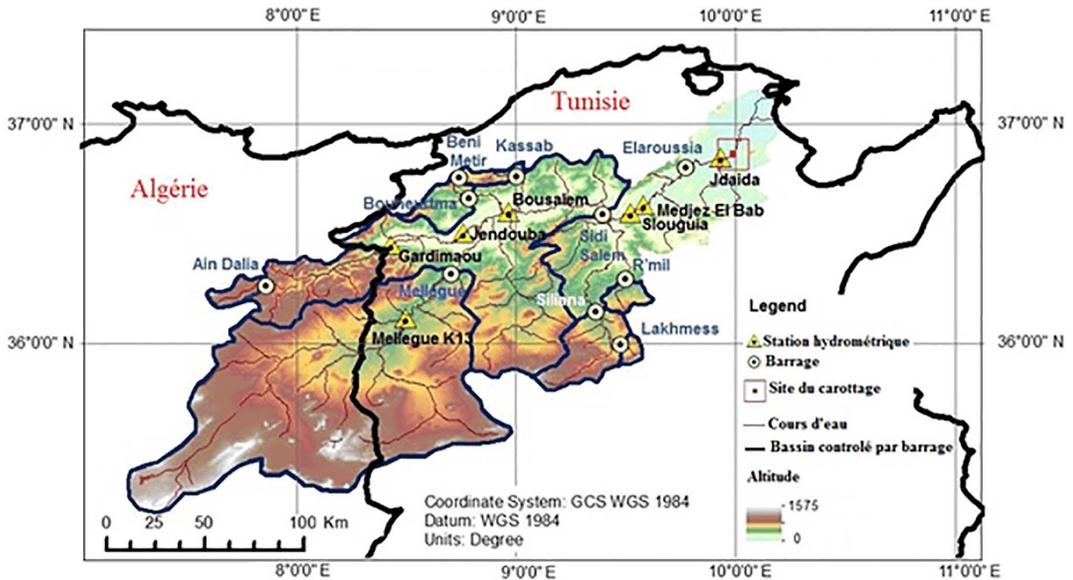
Figure 1 : Profil en long de l'oued Medjerda (d'après Gautier E-F., 1910)

### I. Aperçue sur la mise en eau des barrages dans le Bassin versant de la Medjerda

Le régime hydrologique de la Medjerda est typiquement méditerranéen. Les contrastes saisonniers sont très marqués puisque, pendant l'été, le débit d'étiage peut se réduire à moins d' 1 m<sup>3</sup>/s tandis que, pendant le reste de l'année, celui d'une crue de périodicité décennale atteint 1000–1200 m<sup>3</sup>/s (Rodier et al., 1981).

La Medjerda est la principale source hydrique pour la frontière Est de l'Algérie et après l'indépendance un seul barrage a été construit en 1987 de capacité 82 Mm<sup>3</sup>, ce barrage AinDalia est destinée à l'alimentation en eau potable pour la willaya de Souk-Ahras et d'autres villes limitrophes. Alors pour la Tunisie la Medjerda représente la douzième de ses ressources hydriques. C'est pourquoi l'oued est équipé de plusieurs barrages hydroélectriques, barrage régulateur de Mellegue et la construction du barrage de Beni Metir (Strugo, 1955). Lakhmes (1966), Kasseb (1968), Bouhertma (1976), Siliana (1987), Sidi Salem (1981) et R'Mil (1999). Ces aménagements hydrauliques ont connu un essor très important vers les années 1980 En Tunisie, qu'en Algérie et Avec la mise en eau de ces barrages dans le bassin versant de la Medjerda, le régime hydrologique du fleuve Medjerda a été modifié.

La Medjerda est par ailleurs une voie d'eau cruciale pour l'irrigation et joue donc un rôle important pour l'agriculture régionale (Figure 2).



**Figure 2 :** Localisation du bassin versant Medjerda et des aménagements hydrauliques (Fatma K et al ,2018)

**Tableau I :** Aménagements hydrauliques construits sur le bassin de la Medjerda (Fatma K et al ,2018)

Barrages /Mise en eau	Superficie du bassin (km <sup>2</sup> )	Capacité Totale initiale (Mm <sup>3</sup> )
AinDalia (1988)	193	82
SILIANA (1987)	972	70
RMIL (1999)	221	4
MELLEQUE (1954)	10 300	182
BENI METIR (1954)	103	62
KASSEB (1966)	170	81
SIDI SALEM (1981)	17 885	814
BOU HEURTMA (1976)	457	117
LAKHMESS (1968)	127	8,22

### Changement climatique

Il est maintenant largement reconnu que le climat de la terre change comme en témoigne la décennie 1990, la plus chaude depuis dix siècles (GIEC, 2008). Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté scientifique à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs conséquences socio-économiques

Parmi ces manifestations on peut citer :

- La sécheresse qui a touché les deux bandes tropicales de notre planète, surtout les régions sahéliennes d'Afrique de l'Ouest, depuis les années 70 (Sircoulon, 1976).
- Les récents phénomènes d'El Niño (Vandiepenbeeck M., 1998).
- Les constatations de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) sur le réchauffement de la planète évalué à 0.5 °C depuis la moitié du siècle dernier (Cantat, 1995). La moyenne décennale des températures

(2001 – 2010) représente la moyenne la plus élevée depuis le début des relevés des instruments météorologiques (OMM, 2013).

Et En Afrique sahélienne et non sahélienne beaucoup d'auteurs ont mis en évidence, à partir des séries hydro-pluviométriques, une phase sèche qui a débuté vers les années 1970 et qui perdure jusqu'à présent. Dans cette région, il a été constaté :

- Diminution de la pluviométrie annuelle (Hubert et Carbonnel, 1998; Paturel et al., 1995; Paturel. et al., 1997; Tarhule Aondover et Woo Ming-ko, 1998; Moron Vincent, 1994 ; Servat et al., 1999),
- Diminution du nombre de jours de pluie (Paturel J.E. et al., 1997; Servat et al., 1997; Houndénou et Hernandez., 1998; Tarhule Aondover et Woo Ming-ko, 1998; Servat et al., 1999),
- Diminution des débits des rivières (Sircoulon, 1987; Opoku-Ankomah et Amisigo., 1998),
- Diminution des niveaux des lacs (Sircoulon, 1987),
- Fortes intensités de pluies (Houndénou et Hernandez, 1998; Tarhule et Woo, 1998, GIEC, 2008),
- ainsi qu'un raccourcissement de la saison pluvieuse (Bello, 1998 ; Servat et al., 1999). Assani (1999) a mis en évidence, à l'aide du filtre récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2 :
- La succession de phases sèches et humides à Lubumbashi (Congo-Kinshasa); La dernière phase sèche en date a commencé vers les années 1980 et se prolonge jusqu'à nos jours ; Malgré cela, avec les tests il n'a pas détecté de rupture de la stationnarité dans la série chronologique étudiée alors que ;
- Les précipitations sont significativement corrélées aux indices d'oscillation australe pendant la saison de pluies.

#### **Evolution de la variabilité climatique dans le bassin de la Medjerda**

La Medjerda se distingue par un climat doux et humide en hiver, et chaud et sec en été. La moyenne pluviométrique annuelle et la température moyenne indiquent une réduction et une augmentation des tendances respectivement vers le sud dans la zone d'étude. La moyenne pluviométrique annuelle dépasse 1000 millimètres dans la partie du nord-ouest de la zone d'étude, alors que la partie méridionale a une moyenne aussi basse que 300 mm.

Des études de la sécheresse météorologique et hydrologique dans la région de Siliana et en Tunisie, la Medjerda, l'oued Merguellil ont été effectuées en se basant sur plusieurs indices statistiques (Bergaoui et Alouini, 2001), Benzarti et al. (2001), (Kingumbi, 2006), (Bergaoui et al, 2001; Kingumbi, 2006; Lahache et Pillet, 2008), (Kotti et al., 2016).

Les résultats obtenus montrent que :

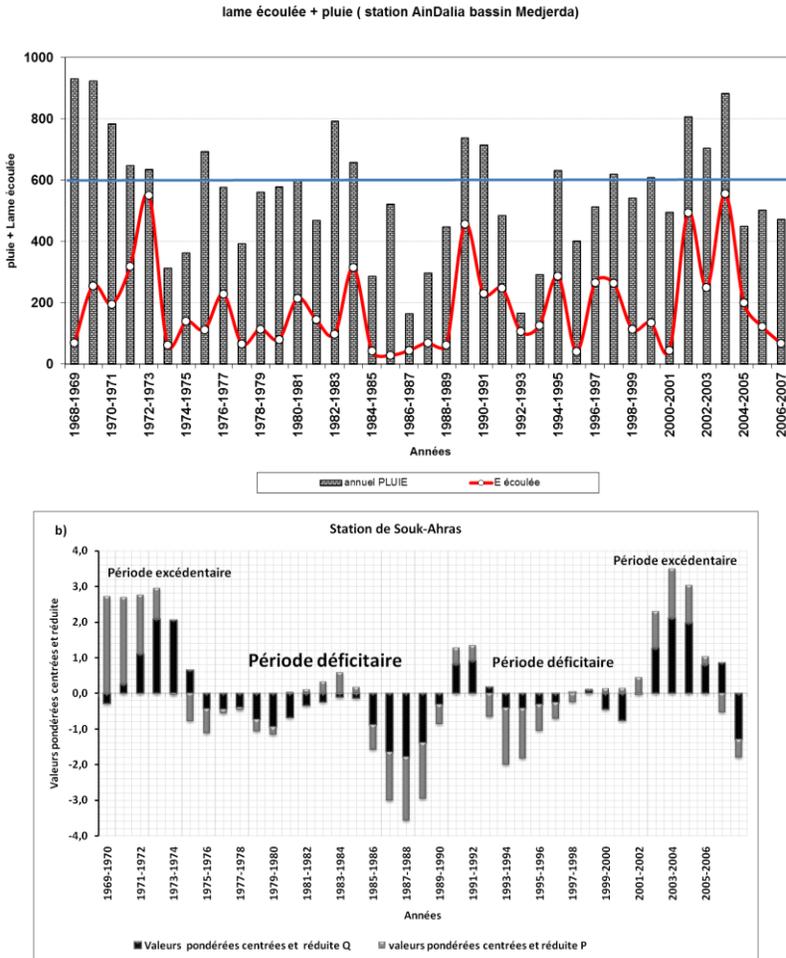
1. la méthode des écarts à la moyenne donne un pourcentage de 60 % d'années sèches. L'analyse fréquentielle révèle que la sécheresse est de classe modérée (35 %). La fréquence d'apparition d'années successives sèches est relativement élevée : 55 % d'années sèches sont formées de deux, trois ou cinq années sèches consécutives.
2. Quant à la sécheresse hydrologique, elle est plus accentuée, prouvant la dissymétrie des apports et la tendance générale des phénomènes hydrologiques à la faible hydraulicité.
3. la persistance des années sèches est plus fréquente dans les régions du nord et du centre du pays. De plus, la probabilité d'avoir deux années sèches consécutives varie de 23 à 40 % suivant une croissance du sud-ouest au nord-ouest. Les études effectuées sur la pluviométrie et les apports de l'oued Merguellil ont connu une baisse assez significative ces dernières décennies, et l'année 1988-1989 est aussi apparue dans plusieurs variables comme une année de rupture ;
4. Une autre étude indiquent que les bassins-versants très anthropisés comme celui de la Medjerda induisent très probablement des impacts importants dans le cycle hydrologique. L'indice standardisé du coefficient d'écoulement annuel pour les sous bassins versants de la Medjerda traduit la variation des écoulements dans ces bassins

Meddi et Hubert (2003) et Khettab (2001) mettent, par des études de la sécheresse aux stations du nord de l'Algérie, en évidence une diminution pluviométrique au cours des dernières décennies. Ce déficit génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation...).

Mebarkie (2010) signale par une étude sur les apports des cours d'eau de l'est algérien que 1987-1988 est l'année la plus marquée par la sécheresse hydrologique (faible hydraulicité) suivie par les années 1993-1994 et 2001-2002.

Khoualdia et Djebbar, (2008, 2010, 2011,2012, , 2014,2015,2017) mettent en évidence par des études de la sécheresse aux stations du nord-est de l'Algérie (région de la Medjerda) le suivant :

1. Diminution pluviométrique au cours des dernières décennies (1970-1980-1990-2000) ;
2. Diminution des débits de la rivière de la Medjerda durant ces mêmes décennies ;
3. Augmentation de la température et de l'évapotranspiration durant ces mêmes décennies ;
4. Fortes intensités de pluies ;
5. Diminution des apports liquides au niveau du barrage d'Ain Dalia, et les années 1988-1989, 1993-1994 et 2001-2002 ont connu une baisse jamais atteinte depuis sa mise en service.



**Figure 3:** Variation interannuelle des lames écoulées et des modules annuels pondérés de la pluviométrie et des débits de l'Oued Medjerda à la station de Souk-Ahras et Ain-Dalia de 1969 à 2007(khoualdia et al ;2015).

Le changement de la variabilité climatique des dernières décennies (1980-1990-2000) a produit dans la région d'oued Medjerda des pluies plus fréquentes, de courtes durées et d'intensités élevées pendant l'été, avec une irrégularité des pluies d'hiver. Celles-ci sont caractérisées par une pluie d'intensité moyenne, et de longue durée moins critique que les orages d'été. Un exemple a eu lieu le 22 Août 2002 où un orage violent s'est abattu sur la ville de Souk-Ahras en 13 minutes occasionnant des inondations, la mort de 2 personnes, et plusieurs dégâts matériels (O.N.M., 2008; lamétéo.org, 2008).

La crue de janvier 2003 du débit entrant à Ghardimaou due à de longue durée de précipitations. Des caractéristiques semblables ont été également constatées lors de la crue de janvier 2004(Kotti et al., 2016).

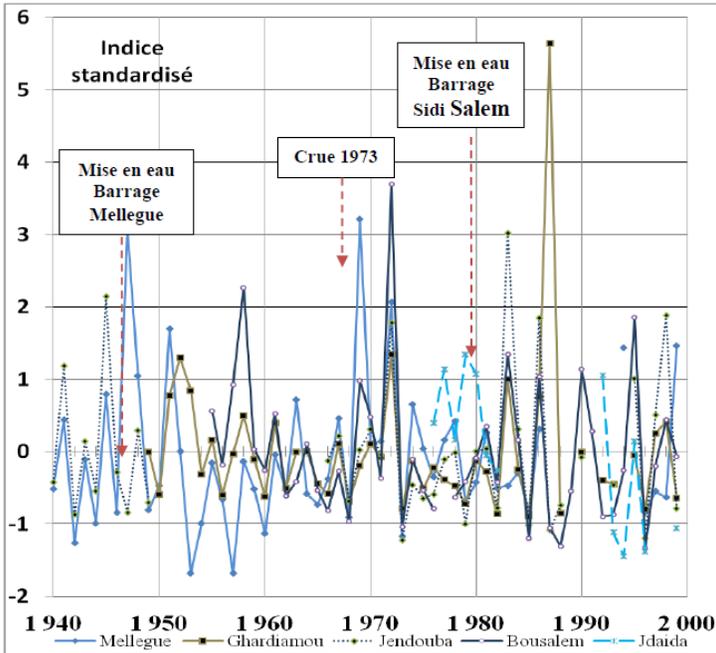


Figure 4 : Indice standardisé de l'écoulement des sous-bassins versant de la Medjerda (Kotti et al., 2016).



Photo : Inondation à Bou salem janvier 2003 (Nippon Koei Co.,Ltd. ;2009)

Ce changement climatique génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, industrie, irrigation...).

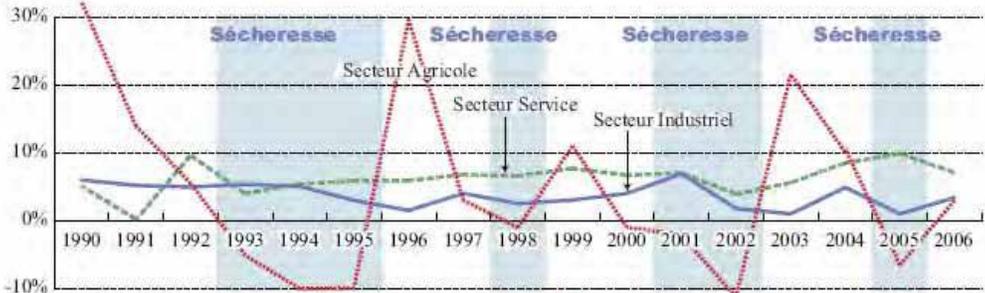


Figure 5 : taux de croissance réel du Pib par secteur en Tunisie 1990 – 2006 (Nippon Koei co.,Ltd ;2009)

### Conclusion :

L'étude de la synthèse bibliographique de la Medjerda sur la variabilité climatique indique que ce bassin à connue une diminution pluviométrique au total avec une augmentation des pluies estivales, qui a provoqué Une persistance de l'alternance d'épisodes humides et secs, avant 1973. Après 1973, on peut distinguer une nette décroissance continue des débits moyens qui atteint son paroxysme de 1992 à 1996. Une augmentation des débits moyens est observée vers la fin de la décennie 90 pour le bassin d'étude.

En effet, les fortes averses provoquent des inondations et causent de gros dégâts matériels, voire des pertes humaines. Les pluies, qui avaient été tant attendues, sont ainsi devenues de plus en plus redoutées.

Par conséquent, les déficits pluviométriques et hydrologiques peuvent renforcer l'écart entre les besoins importants en eau d'une population sans cesse croissante et les ressources hydriques pouvant être mobilisées.

### Recommandations :

Les travaux de recherche sont en cour pour élargir la base de données couvrant plus le territoire de la Medjerda pour une meilleure analyse et gestion des extrêmes hydrologiques et une régionalisation des résultats trouvés. Entreprendre la régionalisation, et caractériser le changement de la variabilité climatique en termes de quantification probabiliste des précipitations, et évaluer l'impact sur les ressources en eau.

### Références bibliographiques :

1. Assani A., 1999: Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña).Sécheresse, 10(4), pp 245- 252.
2. Bergaoui. M et al., 2001: Caractérisation de la sécheresse météorologique: cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. Rev. Sécheresse. Vol. 12 n°4. p. 205-213.
3. Bergaoui Z., 1983 : Contribution à l'étude statistique de la pluie dans la région de Tunis. Thèse présentée à l'institut nationale polytechnique de Toulouse. 134 pp.
4. Benzarti Z. et Habaieb H., 2001 : Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909- 1996). Sciences et changements planétaires, Sécheresse. Vol 12 (4), 215-20, Notes méthodologiques.
5. Chaîne Météo, 2013 : Crues et inondations historiques : l'Europe centrale sous l'eau. URL: <http://actualite.lachainemeteo.com/actualite-meteo/2013-06-11-00h00/crues-et-inondations-historiques---l-europe-centrale-sous-l-eau-21278.php>
6. F. Kotti et al. ;2018: Etude de l'impact des barrages sur la réduction des transports sédimentaires ;Published by Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences.
7. F. Kotti et al.2016 : Etude des pluies et des débits sur le bassin versant de la Medjerda, Tunisie :Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2016, n° 38, 19-28.
8. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2007: Rapport 2001 et 2007 sur l'évolution du climat. Genève. 20p.
9. GIEC, 2008 : Changements climatiques et impacts dans les Alpes. Résultats du WP5 du projet Clim Ch Alp. Rapport Technique N° 1 de l'ONERC, France.
10. Gautier E-F., 1910 : Profils en long des cours d'eau en Algérie-Tunisie, Annales de Géographie, XX, p. 351-366 et 431-447
11. Hubert P., Carbonnel J.P., et Chaouche A., 1989: Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology, 1(10), pp 349-367.
12. Kettab A., Ait Mouhoub D., Ouarda T., Bobbee B., 2002 : Contribution à l'étude du phénomène de la sécheresse sur les régions littorales de l'Algérie » Laboratoire de recherche en Sciences de l'eau – LRS – EAU/ENP Ecole Nationale Polytechnique (E.N.P) – Alger; Colloque international sur l'eau, Chelef, 05/06/février, Algérie.

13. Kingumbi A., 2006 : Modélisation hydrologique d'un bassin affecté par des changements d'occupation. Cas du Merguellil en Tunisie Centrale. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 300 p.
14. Khoualdia W., Mrad D., Djebbar Y., et Abida H., 2008 : Cycle, Tendance ou Changement Climatique Analyse Statistique de la Pluviométrie de la Région de Souk-Ahras, Algérie. 4ème conférence internationale sur Les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Alger, Algérie, 22-23 Mars 2008.
15. Khoualdia W.,et Djebbar Y., 2010: « sécheresse et gestion des ressources en eau dans le bassin versant Nord de la Medjerda, Algérie».Colloque international CIEAU, 25-27 octobre 2010 Annaba.
16. Khoualdia W.,et Djebbar Y., 2011: « Changement de la variabilité de pluie et concepts de modèles probabilistes pour la gestion des ressources hydriques du bassin versant d'oued Medjerda : Est Algérien». Colloque international sur les ressources en eau et le développement durable CIREDD'4 : ENSH/22 et 23 février 2011 Alger. Communication sur
17. Khoualdia W.,et Djebbar Y., 2012: « Contribution à l'étude de la sécheresse et son impact sur les ressources en eau de surface du bassin versant nord de la Medjerda (Nord Est de l'Algérie) ». Colloque international «Géomatique et gestion des risques naturels»: 6-8 Mars 2012 université Oujda (Maroc).
18. Khoualdia W., Djebbar Y., et Hammar Y., 2014: Caractérisation de la variabilité climatique « cas du bassin versant de Medjerda » Nord-Est de l'Algérie. Rev. Sci. Technol., Synthèse 29: 6-23 (2014) (REVUE. SYNTHESE ANNABA).
19. Khoualdia W.,et al., 2015: contribution à l'étude de la variabilité climatique et son impact sur les ressources hydriques cas de la Medjerda Est Algérie ; Thèse de Doctorat université Annaba.
20. Khoualdia W.,et al., 2017: contribution à l'étude de la sécheresse et concepts des modèles probabilistes « cas de la région de Souk-Ahras, Algérie » Courier de savoir université de Biskra
21. Meddi M. et Hubert P., 2003 : Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions. IAHS publication N° 278.
22. Mebarki A., 2010: Apport des cours d'eau et cartographie du bilan hydrologique : cas des bassins de l'Algérie ; Sécheresse. Volume 21, Numéro 4, 301-8, octobre-novembre-décembre 2010, Article de recherche.
23. Nippon Koei co.,ltd ;2009 : Etude sur la Gestion Intégrée du Bassin axée sur la Régulation des Inondations dans l'Oued Mejerda ; Rapport finale AGENCE JAPONAISE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE janvier 2009
24. Nicholson S-E., 1994: "Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent," The Holocene 4,2 pp 121-131.
25. OMM (2013), 2001-2010 : une décennie d'extrême climatique. Organisation Météorologique Mondiale, communiqué de presse n° 976, URL : [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_976\\_fr.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_976_fr.html)
26. Moron Vincent, 1994: Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly scales (1933-1990). International Journal of Climatology, 14(3), pp 325-341.
27. Patuarel J.E., Servat E., Delattre M., 1998 : "Analyse des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. Journal des Sciences Hydrologiques," volume 43, n°3, pp. 937-945.
28. Rodier J-A., Colombani J., Claude J., Kallel R., 1981, Le bassin de la Medjerdah, Monographies hydrologiques, ORSTOM, DRES (Tunisie), 451 p.
29. Sircoulon J., 1987: Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'ouest depuis le début du 20ème siècle. Proceedings of the Vancouver Symposium on the Influence of Climatic Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources. IAHS Publ. n° 168, pp 13-25.
30. Servat E., Patuarel J.E., Lubès-Niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M., et Mariue B., 1999 : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. Revue des sciences de l'eau, 12(2), pp 363-387.
31. Servat E., Patuarel J.E., Lubès H., Kouamé B., Ouedraogo M. et Masson J.M., 1997 : Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I : detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. Journal of Hydrology, 191, pp 1-15.
32. Trenberth K.E., Jones P.D., Ambenje P., Bojariu R., Easterling D., Klein T A., Parker D., Rahimzadeh F., Renwick J.A., Rusticucci M., Soden B. et Zhai P., 2007 : Chapter 3: Regional climate projections. In : Climate change 2007:
33. Vandiepenbeek M., 1998 : El Niño : l'enfant terrible du pacifique. Ciel et Terre, 114(2), pp 52-56.

## Les sols matorralisés dans la région ouest Algérienne, Aspects physico-chimique

<sup>1</sup>Merzouk Abdessamad, <sup>2</sup>Meftah Fatima Zahra, <sup>3</sup>Benabadji Noury,

<sup>1,2</sup> Professeurs membres du Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels, Faculté des Sciences et de la Nature, Université de Tlemcen, BP 119 13000 Tlemcen, Algérie,

<https://egen.univ-tlemcen.dz/>, [Lecgen2014@gmail.com](mailto:Lecgen2014@gmail.com)

<sup>3</sup> doctorante

### Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence des facteurs physico-chimiques du sol sur la répartition spatiale des matorrals dans la plaine allant de Remchi à Béni-Saf située dans la région de l'Ouest algérien. Cette étude nous renseigne les relations que peuvent avoir les sols sur la diversité des matorrals. Sur le plan bioclimatique, la région est caractérisée par une semi-aridité accentuant les phénomènes de thérophysation. Les analyses du sol effectuées à partir des méthodes connues (Méthode granulométrique de Stokes, Méthode électrométrique pour le pH, Méthode extrait 1/5 pour la conductivité électrique, Méthode de Calcimètre de Bernard pour le Ca CO<sub>3</sub>, Méthode Anne pour le carbone organique). Les résultats montrent une diversité texturale ; sablo-limoneuse à « Remchi », sableuse à « Rachgoun 1 et Rechgoun 2 », pas loin de Béni-Saf. La faible teneur en argile (Remchi : Profil 1: Horizon 1 argiles 10%, Profil 2: Horizon 1: argiles 16%, Profil 3: Horizon 1: argiles 5%; Rechgoun Profil 1: Horizon 1: argiles 3; Profil 3: Horizon 1: argiles 2% et Horizon 2: argiles 3%) entraîne une faible stabilité structurale conduisant à la dégradation de la surface des sols par le biais de l'érosion. Cette dernière est révélée par la présence de petites griffes d'érosion visibles sur ces versants accidentés ou presque.

### Mots clés

Sol, Facteurs physico-chimiques, Végétation du Matorral, anthropisation, Oranie (Algérie)

## Soils matorralised in the western region of Algeria, physico-chemical aspects

### Summary

The objective of this study is to determine the influence of soil physico-chemical factors on the spatial distribution of matorrals in the plain from Remchi to Béni-Saf located in the western region of Algeria. This study informs us of the relationships that soil can have on the diversity of matorrals. On the bioclimatic level, the region is characterized by semi-aridity accentuating the phenomena of thérophysation. Soil analyzes carried out using known methods (Stokes Particle Size Method, Electrometric Method for pH, 1/5 Extract Method for Electrical Conductivity, Bernard Calcium Method for Ca CO<sub>3</sub>, Anne Method for Organic Carbon). The results show a textural diversity; sandy-muddy "Remchi", sandy "Rachgoun 1 and Rechgoun 2", not far from Béni-Saf. The low clay content (Remchi: Profile 1: Horizon 1 clays 10%, Profile 2: Horizon 1: Clays 16%, Profile 3: Horizon 1: Clays 5%, Rechgoun Profile 1: Horizon 1: Clays 3, Profile 3: Horizon 1: 2% clays and Horizon 2: 3% clays) leads to poor structural stability leading to degradation of the soil surface through erosion. The latter is revealed by the presence of small erosion claws visible on these rough slopes or almost.

Keywords: Soil, Physico-chemical factors, Matorral vegetation, anthropization, Oran (Algeria).

## I. Introduction

La région méditerranéenne à matorral présente une gamme très diversifiée de sols en raison de la grande variabilité des facteurs naturels (climat, végétation, physiographie, géologie et lithologie) qui conditionnent leur formation et leur répartition. Le sol est la formation naturelle de surface structure meuble d'épaisseur variable résultat de la transformation de la roche mère, sous – jacente sous l'influence de divers processus physique chimique et biologique ,c'est un milieu vivant ,dont la qualité peut être altéré de façon irréversible par des interventions humaines inadaptées. Plusieurs travaux lui ont été consacrés [1] [2] [3].

La vulnérabilité d'un sol dépend beaucoup de son couvert végétal, et de son exposition par rapport au soleil aux vents desséchants aux averse selon Roose [4]. Cette dernière est actuellement considérée comme une interface dans l'environnement et une ressource pour le développement, mais l'application depuis des siècles et sans doute des millénaires du feu a abouti à une sahélisation presque générale de certains régions du globe, comme le pourtour méditerranéen, en effet le tapis végétal dégradé a cessé de protéger et de retenir l'humus et le sol, en particulier sur les pentes qui est devenu mince et squelettique inapte à la reconstitution d'une végétation productive [5] [6].

Ozenda [7] définit le sol comme un élément principal de l'environnement qui règle la répartition de la végétation. Il se développe en fonction de la nature de la roche-mère, la topographie et les caractéristiques du climat. Le sol est une formation superficielle meuble et relativement stable du terrain, il comporte une fraction minérale et une fraction organique [8]. Dans toute étude écologique, le sol reste la clé déterminante des différents phénomènes (croissance, maintenance, adaptation) par ses éléments nutritifs et minéraux, ainsi que sa teneur en eau et en matière organique [9].

Duchafour [10] lui souligne que le sol est une réserve de substances nutritives et un milieu stable pour l'activité biologique. Il a aussi bien précisé que tous les sols qualifiés de steppiques appartiennent à la classe des sols iso humiques (sols bruns de steppe).

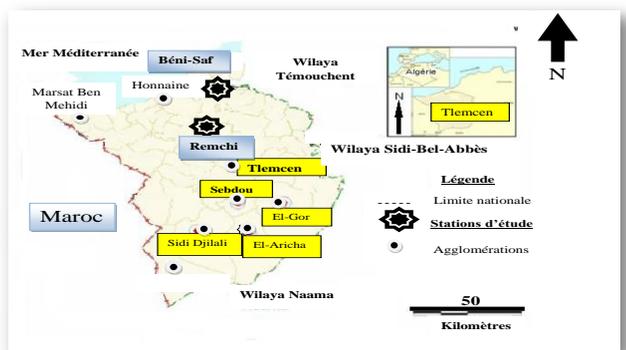
Alors que Benabadij *et al.* [11], de leur côté, précisent que le sol joue un rôle de facteur de compensation au niveau des précipitations. Il est possible dans notre cas de voir comment sont structurés un certain nombre de sols. Cet aperçu nous fournira des éléments indispensables liés à la compréhension de la formation et la structure des sols. Pour cela nous avons donc jugé utile de présenter les sols en liaison avec les nôtres localisés au niveau du littoral [12].

D'autres facteurs, comme la nature du matériau et la situation topographique, contribuent à une grande diversité morphologique. La définition d'un profil type s'avère difficile d'autant que la terminologie utilisée pour décrire les horizons d'accumulation calcaire prête souvent à confusion. Certes, depuis le travail remarquable de [13] au Maroc, il est maintenant possible d'arriver à un certain accord concernant la nomenclature des accumulations calcaires dans les sols. Le terme de « sol à croûte calcaire » utilisé ici englobe les « sols à encroûtement feuilleté » et les « sols à dalle compacte » (dalle et croûte) de [13].

En tout état de cause, la distinction entre les deux types de sols s'observe aisément, malgré un grand nombre de profils de transition; elle se justifie aussi dans les études de mise en valeur.

Cette étude des sols pourra-t-elle nous montrer une différenciation entre les paramètres édaphiques et entre les profils des différents horizons portant une végétation de matorral pris sur une topographie assez pentue? Afin de pouvoir ou de tenter de répondre à cette préoccupation il convient cependant d'être amené à traiter dans ce chapitre :

- Méthodologie,
- Analyses des sols,
- Interprétations des résultats,
- Conclusion.



## 2. Méthodologie

### 2.1. Site géographique

#### 2.1.1 Station de « Remchi » (Figures 1. 2)

La station de Remchi se trouve à proximité de la route nationale n°22 Remchi - Béni-Saf. Elle s'élève à une altitude de 60 m et présente les coordonnées Lambert suivantes : 1° 42' longitude Ouest, 35° 19' latitude Nord.

La station se trouve sur une pente de 30% elle est limitée par des parcelles de culture céréalière. Le taux de recouvrement de la végétation est de 60 à 70% représenté par quelques Chamephytes *Urginea maritima*, *Chamaerops humilis* (doux) et quelques espèces annuelles.



Figure 1. Station de Remchi

Metftah F.Z.le 12/02/2015

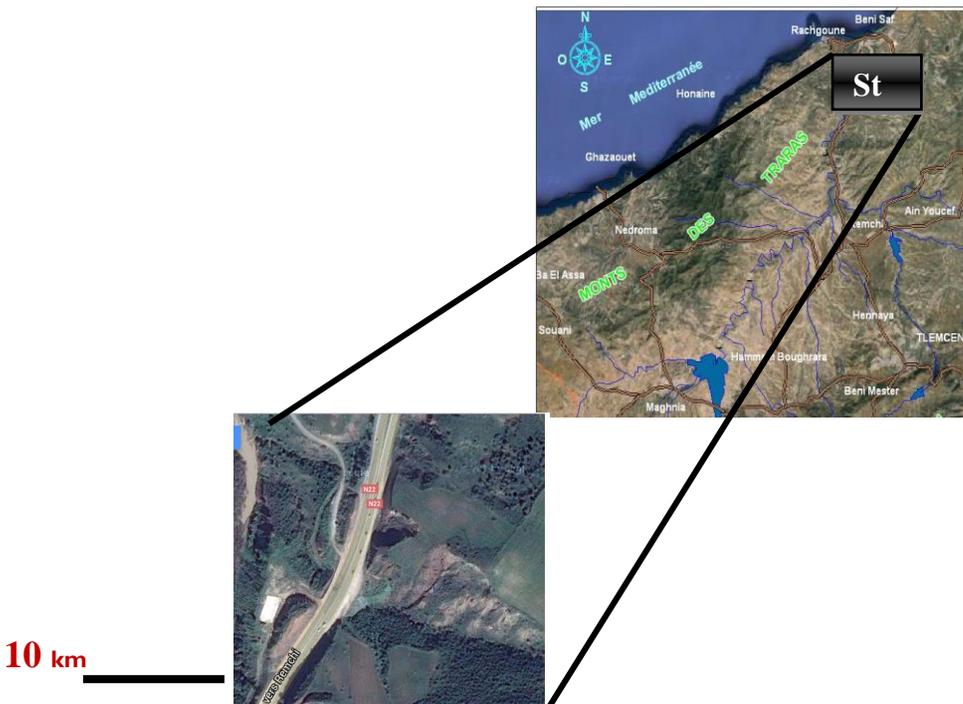


Figure 2. Vue satellitaire de la zone de Remchi

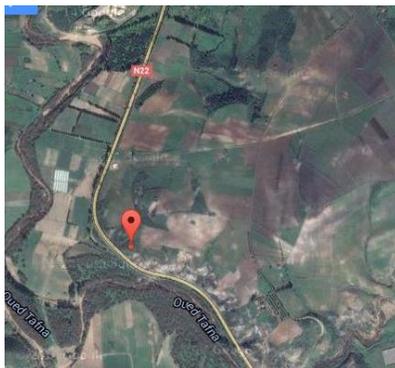
### 2.1.2 Station de « Rachgoun I » (Figure 3)

La station de Rachgoun I se trouve à peu près à 1.2 km du carrefour de la nationale 22, sur le chemin menant à Béni-Saf, Elle s'élève à une altitude de 35 m et présente les coordonnées Lambert suivantes : 1°41' longitude Ouest, 35°22' latitude Nord.

Le taux de recouvrement de la végétation varie de 60 à 70% sur une pente de 30 à 40% représentée par une végétation composée en grande partie de : *Olea europea*, *Chamaerops humilis*, *Urginea maritima* et *Calycotome spinosa* .



Figure 3. Station de Rechgoun I. Meftah F.Z .le 10/02/2015



10Km

Figure 4. Vue satellitaire de la zone de Rechgoun I



## 2.2. Méthodologie sur le terrain

En premier lieu, il s'agissait de repérer une zone où les formations matorrals sont considérées comme bien venantes, pour cela nous sommes dirigés vers les versants d'orientation (Nord-Sud, Nord-est, etc...), où l'exposition micro topographique (pente cuvette, butte, etc..) a été prise en compte dans notre démarche.

Afin de connaître les facteurs édaphiques qui régissent la répartition des matorrals étudiés, nous avons suivi une méthodologie comportant deux étapes, la première sur le terrain et la seconde au laboratoire où des analyses physiques et chimiques ont été réalisées.

Nous avons effectué nos prélèvements au niveau des profils par rapport à l'inclinaison du versant. Pour chaque station, nous avons déterminé 3 profils assez écartés le long de la pente, de chaque profil nous avons pris deux échantillons: un en surface (horizon de surface) et l'autre en profondeur (horizon de profondeur), soit au total 6 échantillons prélevés au niveau de chaque station

Les méthodes utilisées sont celles exposées par [14] dans son manuel d'analyse du sol.

## 2.3. Méthodologie au laboratoire

Les échantillons du sol ont été acheminés vers le laboratoire d'analyse des sols pour y être soumis à différents traitements :

### 2.3.1. Analyses physiques

Granulométrie

Méthode granulométrique de Stokes

## 2.4. Analyses chimiques

### 2.4.1. pH

Méthode électrométrique

### 2.4.2. CaCO<sub>3</sub> (Calcaire totale)

Méthode de Calcimètre de Bernard

### 2.4.3 Matière organique

Méthode Anne (15)

En connaissant la quantité de bichromate nécessaire pour cette Oxydation, on peut calculer le pourcentage de carbone organique et d'humus dans le sol (le rapport % humus/ % Cox = 1,724), [16].

### 2.4.4. Conductivité électrique

Méthode de l'extrait dilué ou l'extrait un cinquième (1/5). Les mesures sont exprimées en mS/cm.

### 2.4.5. Coloration selon Munsell (17)

La couleur du sol, expression des présences de matière organique, d'éléments divers (oligo éléments, macroéléments) peut varier d'un profil à l'autre et d'un échantillon à un autre

### 2.4.6. Aspect Bioclimatique de la zone d'étude

Nos stations d'études sont situées dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver chaud et dans le semi-aride inférieur à hiver tempéré.

Selon la classification thermique de **Debrach** [18], nous avons deux types de climat à savoir, semi-continentale pour la station de Remchi et littoral pour la station de Béni-Saf. Selon **Sari-Ali** [19], cette différence est due à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude.

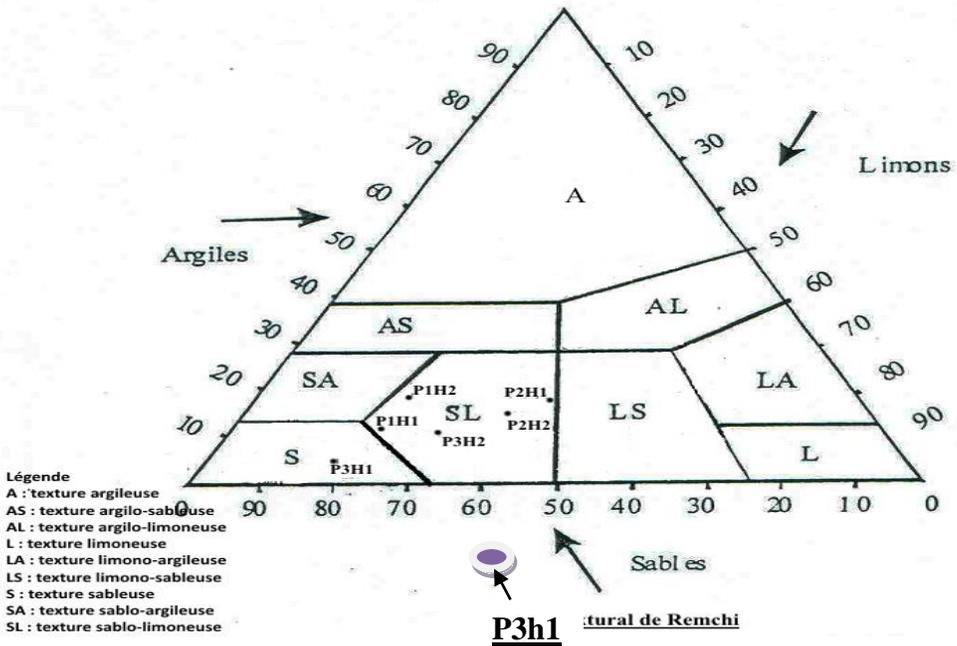
La classification bioclimatique en fonction de la température moyenne annuelle et de « m » montre que les stations de Béni-Saf et Remchi appartiennent à l'étage thermo-méditerranéen.

### 3. Résultats et interprétations

#### 3.1. Station de Remchi (Tableau I ; Figure 7. 8. 9. 10. 11)

	Profil 1		Profil 2		Profil 3	
	Horizon 1					
<b>Profondeur (cm)</b>	0-15	15-80	0-8	8-60	0-20	20-80
<b>Granulométrie (%)</b>						
• Sables	73	65	44	54	79	62
• Limons	17	17	40	31	16	27
• Argiles	10	18	16	15	5	11
<b>Type de texture</b>	Sableux - Limoneux	Sableux - Limoneux	Sableux - Limoneux	Sableux - Limoneux	Sableux Sableux	Sableux - Limoneux
<b>Matière organique</b>						
• MO (%)	5,16	4,64	4,90	4,40	4,60	4,30
• Estimation	Très forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte
<b>Réserves minérales</b>						
• Ca Co3 (%)	11,28	8,71	26,15	2,00 Moyen	21,53	16,92
Interprétations	Moyen	Moyen	Fort		Moyen	Moyen
<b>Solution du sol</b>						
• pH	7,02	7,08	7,02	7,02	7,34	7,34
• Estimation	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre
Conductivité électrique	0,65	0,44	0,76	0,67	0,87	0,67
• Estimation	Peu salé	Non salé	Peu salé	Peu salé	Peu salé	Peu salé
<b>Couleur Munsell</b>	10 YR 5/4	5 YR 5/4	5 YR 4/4	10 YR 4/3	7,3 YR 4/3	5 YR 4/6

**Tableau I. Résultats des analyses physico-chimiques du sol de Remchi**



**Figure 7. Triangle textural Remchi**

20cm



Figure 8. Les horizons du profil 1 de la station de Remchi Meftah FZ le 10/01/2015



Figure 9. L'horizon 1 du profil 2 de la station de Remchi Meftah FZ le 10/01/2015



Figure 10. L'horizon 1 du profil 2 de la station de Remchi Meftah FZ le 10/01/2015

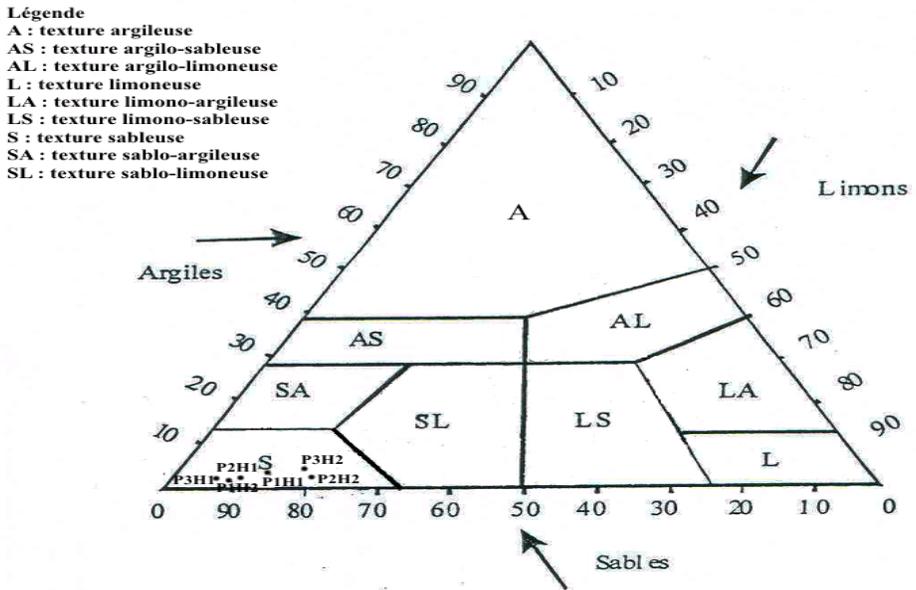


Figure 11. Les horizons de profil 3 de la station de Remchi Meftah F.Z. le 10/01/2015

### 3.2. Rachgoun I (Tableau 2; Figure 12. 13. 14)

	Profil 1		Profil 2		Profil 3	
	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 1	Horizon 2
<b>Profondeur (cm)</b>	0-15	15-80	0-15	15 -100	0-15	15-80
<b>Granulométrie (%)</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sables</li> <li>• Limons</li> <li>• Argiles</li> </ul>	83 14 3	90 8 2	89 9 2	79 19 2	92 6 2	79 18 3
• Type de texture	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
<b>Matière organique</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MO (%)</li> <li>• Estimation</li> </ul>	5,18 Très forte	2,86 Moyenne	4,95 Forte	2,90 Moyenne	4,50 Forte	2,80 Moyenne
<b>Réserves minérales</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca Co3 (%)</li> <li>• Interprétations</li> </ul>	22,05 Moyen	17,94 Moyen	10,76 Moyen	20,00 Moyen	14,35 Moyen	18,46 Moyen
<b>Solution du sol</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Estimation</li> </ul>	7,06 Neutre	7,12 Neutre	7,06 Neutre	7,07 Neutre	7,04 Neutre	7,05 Neutre
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductivité électrique</li> <li>• Estimation</li> </ul>	0,59 Non salé	0,62 Peu salé	0,46 Non salé	0,46 Non salé	0,50 Non salé	0,49 Non salé
• <b>Couleur de Munsell</b>	2,5 YR 3/4	5 YR 3/4	7,5 YR 4/4	7,5 YR 4/6	7,5 YR 3/4	YR 3/3

**Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques du sol de Rechgoun I**



**Figure 12. Triangle Textural Rechgoun I**

20 cm



**Figure 13. Les horizons du profil I de la station de Rechgoun Meftah F.Z. le 15/01/2015**

20 cm



Figure 14. Les horizons du profil 2 de la station de Rechgoun I Meftah F.Z le 15/01/2015



Figure 15. Les horizons du profil 3 de la station de Rechgoun I Meftah F.Z le 15/01/2015

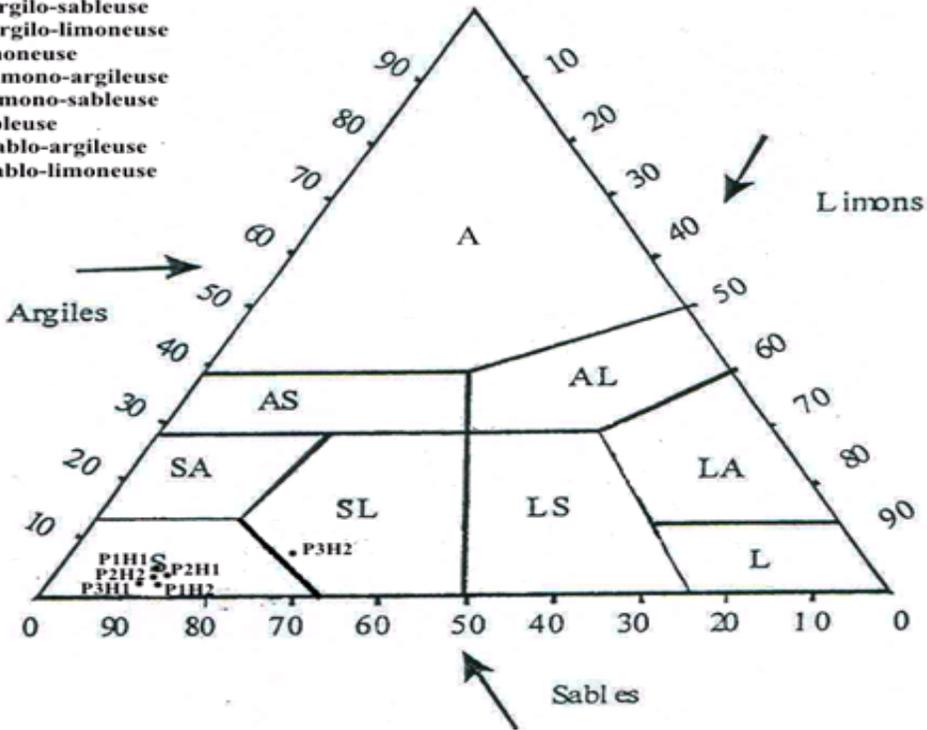
3.2. Rachgoun 2 (Tableau. 3 ; Figure 16. 17. 18. 19)

	Profil 1		Profil 2		Profil 3	
	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 1	Horizon 2
<b>Profondeur (cm)</b>	0-15	15-80	0-15	15-80	0-20	20-100
<b>Granulométrie (%)</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sables</li> <li>• Limons</li> <li>• Argiles</li> </ul>	84 12 4	84 14 2	81 14 5	82 14 4	85 12 3	68 23 9
<b>Type de texture</b>	Sableux	Sableux	Sableux	Sableux	Sableux	Sableux - Limoneux
<b>Matière organique</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MO (%)</li> <li>• Estimation</li> </ul>	5,17 Très forte	3,25 Forte	4,90 Forte	3,10 Forte	4,55 Forte	2,90 Moyenne
<b>Réserves minérales</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca Co3 (%)</li> <li>• Interprétations</li> </ul>	17,43 Moyen	24,10 Moyen	22,56 Moyen	22,05 Moyen	26,66 Fort	28,20 Fort
<b>Solution du sol</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Estimation</li> </ul>	7,00 Neutre	7,11 Neutre	7,12 Neutre	7,12 Neutre	7,08 Neutre	7,13 Neutre
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductivité électrique</li> <li>• Estimation</li> </ul>	0,49 Non salé	0,49 Non salé	0,05 Non salé	0,53 Non salé	0,62 Peu salé	0,55 Non salé
<b>Couleur Munsell</b>	7,5 YR 5/4	2,5 YR 5/8	5 YR 5/8	5 YR 5/4	5 YR 4/6	5 YR 6/4

**Tableau 3. Résultats des analyses physico-chimiques du sol de Rachgoun 2**

**Légende**

- A : texture argileuse
- AS : texture argilo-sableuse
- AL : texture argilo-limoneuse
- L : texture limoneuse
- LA : texture limono-argileuse
- LS : texture limono-sableuse
- S : texture sableuse
- SA : texture sablo-argileuse
- SL : texture sablo-limoneuse



**Figure 16. Triangle Textural Rechgoun 2**

20cm



**Figure 17. Les horizons du profil I de la station de Rechgoun 2 Meftah F.Z. le 21/01/2015**

20cm



Figure 18. Les horizons du profil 2 de la station de Rechgoun 2 Meftah F.Z. le 21/01/15

20cm



Figure 19. Les horizons du profil 3 de la station de Rechgoun 2 Meftah F.Z. le 21/01/2015

#### 4. Conclusion

Pour connaître les caractéristiques édaphiques du sol sur lesquelles reposent les matorrals, il était essentiel de réaliser un ensemble d'analyses qui mettent en évidence sa nature physique et chimique. On remarque que les sols des matorrals étudiés occupent des zones remarquablement variées tant par la localisation topographique que par la texture et les propriétés du sol. La faible teneur en argile (**Remchi**: Profil 1: Horizon 1 argiles 10%, Profil 2: Horizon 1: argiles 16%, Profil 3: Horizon 1: argiles 5%; **Rechgoun** Profil 1: Horizon 1: argiles 3%; Profil 3: Horizon 1: argiles 2% et Horizon 2: argiles 3%) entraîne une faible stabilité structurale conduisant à la dégradation de la surface des sols par le biais de l'érosion. Celle-ci est révélée par la présence de petites griffes d'érosion visibles sur ces versants accidentés. Nous remarquons entre autre une diminution des pourcentages de sables vers les horizons profondeur (Tableaux 1, 2, 3 et Figures 7, 12, 16). Comment peut-on expliquer ce phénomène qui a tendance à se généraliser dans l'ensemble des profils ? A notre avis cette différenciation séquentielle serait due aux phénomènes colluvionaires et alluvionaires dans ces versants matorralisés pentus. Les sols affectés par cette sensibilité sont les sols souvent riches (**Remchi** : Profil 2: Horizon 1: limons 40% et Horizon 2: limons 31% ; Profil 3: Horizon 1: limons 16%,) en limons et/ou sables fins (Profil 1: Horizon 1 sables 73% et Horizon 2: sables: 64% ; Profil 2: Horizon 1: Horizon 2: sables 54% ; Profil 3: Horizon 1: sables 79% et Horizon 2: Sables 62%). Les limons ont une faible cohésion et sont des particules très fines. Ils sont donc facilement détachés de la matrice du sol et facilement transportés par le ruissellement puisqu'ils sont petits. Les sables fins ont une cohésion encore plus faible. Les sables grossiers possèdent une très faible cohésion, mais parce que ce sont aussi des sédiments plus gros que les limons et les sables fins. Facilement transportés par les eaux ces derniers ruissellent le long des pentes. Une fourchette très approximative pour une teneur en argile idéale se situerait entre 15% et 30-40%. En-dessous de 15%, la stabilité structurale devient relativement faible et le sol facilement érodé; au-delà d'environ 40%, le sol a tendance à être lourd, avec une forte rétention de l'eau et une structure tendant à être massive [20].

Cette description très modeste de cette partie édaphologique reste quelque part incomplète, il serait probablement utile d'entamer des analyses plus fouillées (quantitatives) portant sur d'autres éléments édaphiques comme la CEC, le chlore, et d'autres cations (Fe) notamment dans cette région d'étude. Ces éléments dépendent beaucoup de la micro-topographie locale et des facteurs climatiques ainsi que de l'action humaine (agriculture limitrophe surtout).

#### Références bibliographiques

- [1] **Merzouk A., Benabadji N., Benmansour D. et Thion M., (2009)** – Quelques aspect adapho-floristique des peuplements halophiles de l'Algérie occidentale. Première partie : aspect édaphiques. Bull. Soc. linn. Provence, T.60 :1-15.
- [2] **Laperche V and Moussman J. R., 2004** – Protocol of Sampling of the Urbain. Ground polluted by lead, RP-52928-FR ,Doc, pdf.
- [3] **Collier D., Gachon L.; Robelin M.,1957** – Cinquieme année d'épérience en cases d'essai de vegetation de la station d'agronomie du massif centrale Essai sur L'orge de printemps, C.R. Acad.Séance du 26 juin.
- [4] **Roose E.,1991** - Conservation des sols en zone méditerranéens. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie et lutte antiérosive : FCES-cCahier artom,série pédologie, vol XVI,n2145-181.
- [5] **Robert M.,1992** - Le sol, ressources naturelle à préserver pour la protection de l'environnement .Cahiers agricultures,20-34.
- [6] **Benabdelmoumene F., 2018** - Contribution une étude phytoécologique des peuplement situées dans la région de Hammam Boughrara(Oranie),36- 37.
- [7] **Ozenda P., 1977** – Flore du Sahara. 2ème éd. revue et complétée, C.N.R.S. Paris, 622 p.
- [8] **Guinochet M., 1973** – Phytosociologie .Ed Masson et Cie Paris. 227 p
- [9] **Meziane H., 2010** – Contribution à l'étude des Groupements psammophytes de la région de Tlemcen (Algérie occidentale). Thèse Doc. Univ. Tlemcen. 230 p.
- [10] **Duchauffour Ph., 1977** – Pédologie, Pédogénèse et classification, Tome I, Ed. Mass. Cie, 477 p.
- [11] **Benabadji N., Bouazza M., Metge M.et Loisel R., (1996)** – Description et aspects des sols en région semi aride et aride au sud de Sebdo (Oranie,Algerie).Bull. Inst.SCI.Rabat.1996 n° 20.PP :77-86.
- [12] **Aubert Guy.et Chalabi N.,1981** – Contribution l'étude édaphique des groupements Quercus cerris su. P.Pseudocerris,cedruslibani et Abies cilica dans le nord-Ouest de la Syrie.Ecol. Med. Rev.d'Ecol. Terr. Et Limn. Tome VII, pp.23-35.
- [13] **Ruellan A., 1970** – Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse-Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens. Mém. ORSTOM n° 54, 302p.
- [14] **Aubert G., 1978** – Méthodes d'analyses du sol 2ème Edition C.N.D.P. Marseille 199 p.
- [15] **Baize D., 1988** – Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris, 172 p.
- [16] **Anne.,1945** - Dosage rapide du carbone organique des sols agronomique.
- [17] **Munsell soil color charts., 1971**-Munsell color company Inc, Baltinore, Mary land 21218 USA.
- [18] **Debrach J., 1959** – Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional; 32 :1122-34.
- [19] **Sari-Ali A., 2012** – Contribution à l'étude des peuplements à *Arthrocnemum glaucum* (Del.) Ung. de l'Oranie (Algérie occidentale) taxonomie et bio- écologie. Thèse Doct., Univ. Tlemcen, 245 p.
- [20] **Mezouar K., 2016** - Relations Sol-Végétation dans la région sud de Tlemcen 197p.

## La végétation perturbée de quelques régions matorralisées de l'Ouest algérien

BENABADJI Noury (Professeur) <sup>1</sup>

Melle BENABDELMOUMEN Fatna (Docteur) <sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> Professeur, Faculté des Sciences de la Nature de la vie et de l'Univers, Université de Tlemcen – Algérie E-mail : [Benabadji.n@gmail.com](mailto:Benabadji.n@gmail.com),

<sup>(2)</sup> Doctorante, laboratoire de gestion des écosystèmes naturels, Département d'Ecologie., Université de Tlemcen – Algérie E-mail : [benabdelmoumene.f@g.mail.com](mailto:benabdelmoumene.f@g.mail.com)

### Résumé

L'approche floristique repose sur la caractérisation de la végétation où il a été montré que la région d'étude abritait une flore diversifiée bien que l'action anthropique et la rigueur du climat méditerranéen paraissent avoir une incidence négative sur le tapis végétal surtout par la prolifération des espèces végétales xériques et halophiles et parfois toxiques.

La flore analysée montre que les stations d'études (Béni-Saf et Hammam Boughrara) sont floristiquement riches où nous avons recensé pendant la période de 2010-2011, 33 familles qui renferment 84 espèces et 75 genres dans les stations de la région de Hammam Boughrara, ainsi que 84 espèces et 33 genres réparties en 76 familles dans la région de Béni-Saf, la richesse au niveau du barrage de Hammam Boughrara est estimée à 40 espèces appartenant à 18 familles et 36 genres. En revanche cette richesse floristique est légèrement modifiée pendant la période 2013-2014-2015 où nous avons enregistré 87 espèces partagées entre 71 genres et 35 familles dans la région de Hammam Boughrara, cependant les stations de la région de Béni-Saf sont dotées de 75 espèces, 63 genres et 28 familles. L'étude de la végétation nous a éclairés sur l'importance et la dominance des espèces xérophytes accompagnées par une majorité de thérophytes.

La station protégée du barrage de Hammam Boughrara semble indiquer une relative remontée biologique par rapport à l'ancienne période où nous avons comptabilisé 64 espèces réparties en 56 genres et 29 familles.

**Mots clés** : Végétation, Phyto-dynamique, Bioclimat, Action anthropique, Hammam- Boughrara, Béni-Saf, Ouest algérien

### Disturbed vegetation of matorral region in Western Algeria

#### Abstract

The first part rests on the characterization of the vegetation where it showed that the region of study sheltered a flora diversified although the anthropogenic action and the rigor of the Mediterranean climate appear to have a negative incidence on the plant carpet by the proliferation of the botanical species xériques and halophiles and sometimes toxic.

The flora shows that the stations of studies are floristiquement rich where we counted during the period of 2010-2011, 33 families which contain 84 species and 75 kinds in the stations of the region of Hammam Boughrara, as well as 84 species and 33 kinds distributed in 76 families in the region of Béni-Saf, The wealth at the level of the dam of Hammam Boughrara is estimated at 40 species include in 36 kinds and 18 families. On the other hand this floral wealth is slightly modified during the period 2013-2014- 2015 where we registered 87 species shared between 71 kinds and 35 families in the region of Hammam Boughrara, However the stations of the region of studies are endowed with 75 species, 63 kinds and 28 families. The study of vegetation relized through the floristic composition, has shown the importance of the xerophile species followed by a majority of thérophytes.

The station protected from the dam of Hammam Boughrara marks a biological ascent compared with the old period when we recorded 64 species distributed in 56 kinds and 29 families.

**Keywords** : Plant ecology. Bioclimat. Anthropisation. Hammam Boughrara. Béni-Saf. Western algérien.

## I. INTRODUCTION

La flore est influencée par les stress environnementaux et les perturbations qui ont en effet un rôle majeur dans la dynamique des systèmes biologiques méditerranéens, en maintenant de fortes hétérogénéités spatiales et temporelles, mais la mosaïque des paysages, les fortes variations topographiques et enfin l'impact très ancien de l'homme sur les milieux naturels modèle aussi cette biodiversité [1]. A l'heure actuelle, les écosystèmes forestiers et les maquis méditerranéens sont très réduits en comparaison avec les surfaces qu'ils occupaient autrefois. **Lucas (1952) in [2]** précise que parmi toutes les causes de destruction qui menacent la propriété forestière algérienne, il n'en est certes pas de plus grave que l'incendie. S'ajoutent à cette dernière les conditions climatiques du pays, l'urbanisation anarchique, les déboisements, la mentalité et les habitudes des populations autochtones qui vivent à leur contact.

Les plantes à fleurs, en raison de leurs exigences écologiques strictes, sont de bonnes indicatrices des conditions dans lesquelles elles se développent par ailleurs en tant qu'organismes les moins mobiles, on peut penser qu'elles expriment au mieux les dynamiques paysagères et révèlent aisément l'impact des activités humaines sur la biodiversité dans les paysages agricoles [3] et [4].

La couverture forestière qui est située aux espaces d'extension des agglomérations semble régresser en Algérie en général et dans la zone en particulier (Ouest algérien).

La formation végétale dominée par les sujets forestiers s'est-elle transformée généralement en pré forêt et en matorral ? Les sites d'étude ont-ils connus une destruction totale et irrémédiable ou une destruction partielle de la végétation ? Les labours abusifs dans les enclaves pré-forestières sont-ils responsables de ces dégradations prononcées ?

L'usage anarchique des parcours sur les piémonts forestiers ont-ils participé à ces perturbations au niveau de ces écosystèmes continental de Hammam Boughrara et littoral de Béni-Saf (Nord Ouest algérien) ?

Afin de tenter de répondre aux questions posées liées aux modifications de ces écosystèmes, en particulier, nous procéderons à une étude floristique au sein de leurs milieux physiques en comparant des listes floristiques (issues des inventaires floristiques), en suivant la dynamique et la fluctuation de la végétation évaluée en partie par l'indice de perturbation.

## 2. METHODOLOGIE

### 2.1. Situation géographique de la région (carte)

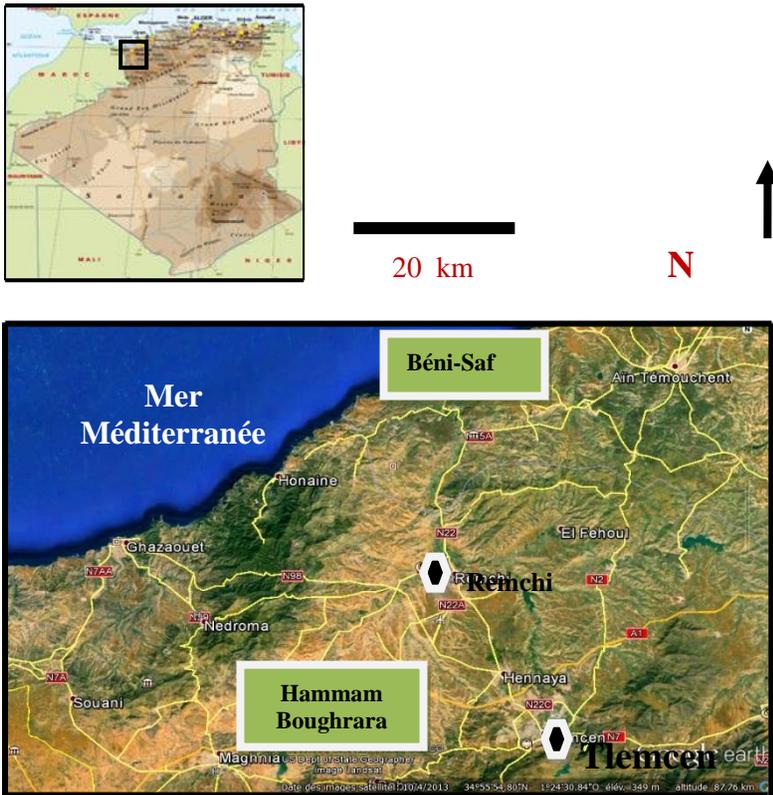
La zone d'étude comprenant les différentes stations choisies à partir d'un échantillonnage stratifié se localise dans la partie occidentale du Nord-Ouest algérien. Elle se trouve dans la wilaya de Tlemcen, longeant la route Tlemcen - Maghnia (Nationale 35). S'étendant sur une superficie de 9017.59 km<sup>2</sup> la zone d'étude s'élève à une altitude approximative de 214 m et limitée entre le 34°25' et 35°25' de latitude nord et 0°55' et 2°30' de longitude ouest.

### 2.2. Choix des stations

Le choix a été orienté par la présence de formations matorralisées. Quatre stations par région (continental : Hammam Boughrara et littoral : Béni-Saf) sont réparties

sur l'ensemble de la région d'étude ont fait l'objet d'un échantillonnage stratifié, ce qui peut paraître insuffisant sur un espace s'étendant sur une importante surface. Celles-ci sur le plan géologique reposent sur des dépôts Jurassiques, Néogènes et Quaternaires. Les roches mères sont le plus souvent recouvertes de dépôts épais [5].

Ces différentes stations appartiennent au sens d'Emberger à des étages bioclimatiques différents (semi aride supérieur et inférieur à variantes hivernales tempérée et chaude) [6].



Carte : Situation géographique de la région

### 2.3. Méthode d'étude de la végétation

Les relevés floristiques effectués à partir de la méthode **Braun-Blanquet** [7] représentatifs des formations ont été effectués du mois de Mars au mois de Juin, période durant laquelle, l'optimum floristique est atteint, en d'autres termes quand la végétation est en plein développement.

La détermination des espèces végétales a été réalisée jusqu'au niveau spécifique (connaissance de l'espèce et même parfois la sous-espèce), chaque espèce bien entendu est notée avec son nom latin.

La méthode que nous avons utilisé a consisté à inventorier les sujets herbacées et ligneux, de calculer la fraction des types biologiques, morphologiques et celles des types biogéographiques et les familles seront également fournies, ce qui correspond à la caractérisation botanique de **Rankiaer [8]** qui reste à notre avis la plus utilisée, elle est clair d'une application simple et sa grande valeur écologique pour les climats à saison défavorable sèche est reconnue par de nombreux auteurs [9]. Cette classification est basée sur la position des bourgeons de renouvellement pendant la saison défavorable. Pour évaluer l'état de dégradation en général et particulièrement de quelques groupements, un indice de perturbation (Ip) a été élaboré. Cet indice défini par **Loisel et Gamila [10]** est donné par le rapport suivant :

$$Ip = \frac{\text{Nombre de chaméphytes} + \text{nombre de thérophytes}}{\text{Nombre total des espèces}}$$

### 3. Résultats et interprétations (Figures 1 à 4, Tableau 1)

#### 3.1. Répartition par types biologiques

##### 3.1.1. Hammam Boughrara (Figure 1)

###### 3.1.1.1. Station 1

Cette station compte 41.44% de thérophytes, les chaméphytes (23.44%) arrivent en seconde position, alors que les hémicryptophytes (12.5%) occupent la troisième place avant les phanérophytes (10.9 %) et les géophytes (4.69 %).

###### 3.1.1.2. Station 2

Au niveau de cette station on compte 51.61% de thérophytes, 22.5% de chaméphytes, 12.5%, 4.34 % d'hémicryptophytes et enfin 3.67% de phanérophytes.

###### 3.1.1.3. Station 3

La station 3 comprend 60.71% de thérophytes, les chaméphytes (14.3%) arrivent en seconde position avec un pourcentage très éloigné, alors que les hémicryptophytes (10.71%) et les géophytes (10.71%) sont suivies par les phanérophytes 3.57 %.

###### 3.1.1.4. Station 4

Les thérophytes dans station affichent une importance particulière 53% de en seconde position on a les chaméphytes 24%, puis arrivent les hémicryptophytes (9%), et les dernières places sont représentées par les phanérophytes (8 %) et les géophytes 6%.

##### 3.1.2. Béni-Saf (Figure 3)

###### 3.1.2.1. Station 1

Au niveau de cette région de Béni-Saf, la station 1 enregistre 47.62% de thérophytes, 38.10% de chaméphytes, 14.29% d'hémicryptophytes, les phanérophytes et les géophytes sont absentes dans ce lot de flore.

###### 3.1.2.2. Station 2

Celle-ci est dominée par les thérophytes 46%, les chaméphytes 28% sont moins nombreuses, les hémicryptophytes 10%, les phanérophytes 8% et les géophytes 8% se caractérisent par un taux de présence assez faible.

###### 3.1.2.3. Station 3

On remarque que cette station est dominée par les thérophytes 44.83%, les chaméphytes 31.03% sont moins nombreuses, les phanérophytes 8.62%, les hémicryptophytes 8.62% et les géophytes 6.69% se trouvent faiblement représentées.

#### **3.1.2. 4. Station 4**

La station 4 présente la même situation que les précédentes, les thérophytes avec 41.67% sont les plus importantes, les chaméphytes 33.33% sont moins nombreuses, les hémicryptophytes 11.11%, les phanérophytes et les géophytes occupent la dernière place avec respectivement 8.33% et 5.56%.

### **3.2. Répartition par types morphologiques**

#### **3.2.1. Hammam Boughrara (Figure 2)**

##### **3.2.1. 1. Station 1**

Dans cette première station les types morphologiques sont dominés par les herbacées annuelles (59.37%), ensuite on a les herbacées vivaces avec 25% et les ligneux vivaces avec 15.62%.

##### **3.2.1. 2. Station 2**

Dans la station 2, les herbacées annuelles (59.37%) ont le pourcentage le plus élevé, les herbacées vivaces 30.69% viennent en deuxième position, alors que les ligneux vivaces 9.69% présente le pourcentage le plus faible

##### **3.2.1. 3. Station 3**

Les herbacées annuelles (59.37%) constituent l'essentiel des types morphologiques dans cette station. Les herbacées vivaces 25% et les ligneux vivaces avec 15.62% sont moins importants.

##### **3.2.1. 4. Station 4**

Dans cette dernière station les herbacées annuelles (60.94%) se placent en première position, les herbacées vivaces (29.69%) occupent la deuxième place alors que les ligneux vivaces avec 9.37% se placent en dernière position.

#### **3.2.2. Béni-Saf (Figure 4)**

##### **3.2.2. 1. Station 1**

La première station au niveau de Béni-Saf est dominée par les herbacées annuelles (61.9%), les herbacées vivaces 33.35% sont moins dominants suivis par les sujets peu ligneux vivaces avec un faible pourcentage (4.76%).

##### **3.2.2. 2. Station 2**

Les herbacées annuelles s'accordent une importance particulière (52%), les herbacées vivaces sont moyennement représentées (34%), tandis que les ligneux vivaces avec des taux très faibles 14% occupent la dernière place.

##### **3.2.2. 3. Station 3**

Les herbacées annuelles dans cette troisième station s'approprient la première place (53.45%), les herbacées vivaces moins nombreuses (34%) et les ligneux vivaces nettement moins (14%) occupent respectivement la deuxième et la troisième place.

##### **3.2.2. 4. Station 4**

La quatrième et dernière station au niveau de Béni-Saf est marquée par un fort taux de présence des herbacées annuelles (58.33%), les herbacées vivaces avec 25% et les ligneux vivaces avec 16.67% sont les moins représentées.

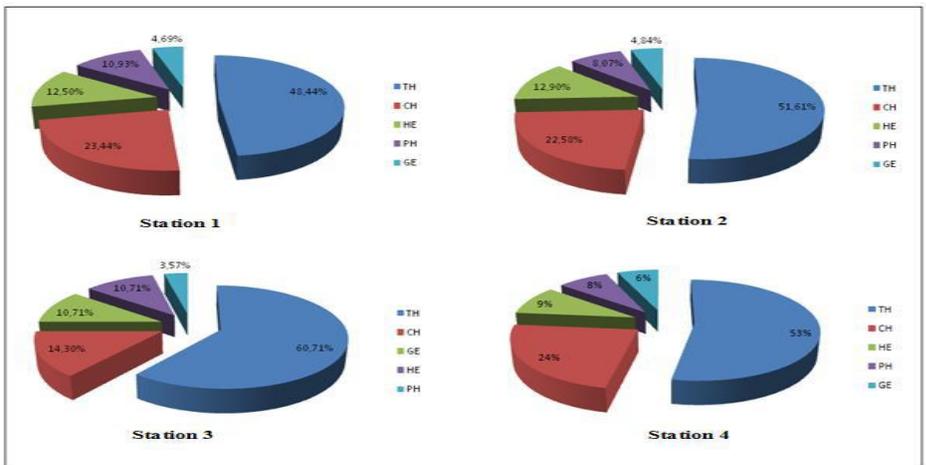
### **3.3. Répartition par types biogéographiques**

### 3.3.1. Hammam Bouhrara

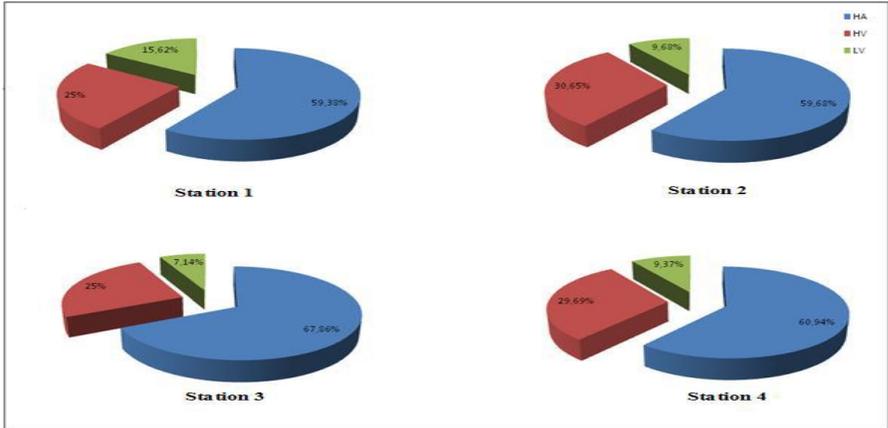
Les espèces d'origine Méditerranéennes varient entre 30 et 31%, et dominent dans toutes les stations et les taxons Ouest- Méditerranéennes se situent entre 9 et 16 % constituent l'essentiel de la flore, cependant les sujets comme les Paléo-tempérées (7%), les Euro- Méditerranéennes (5%), les Européennes et les Cosmopolites (7%) présentent des pourcentages relativement élevés.

### 3.3.2. Béni-Saf

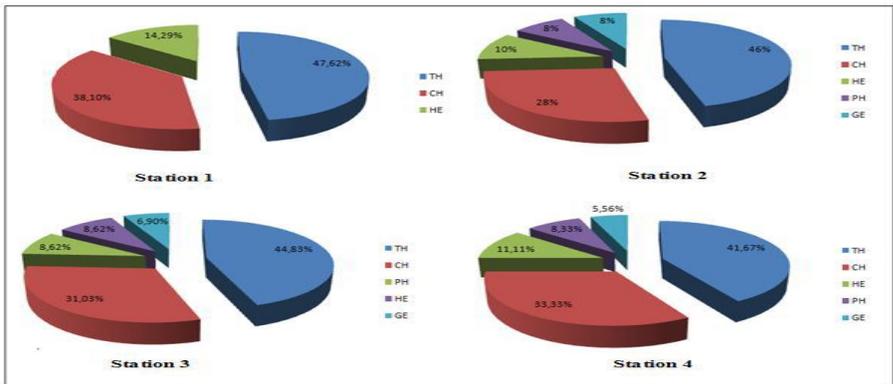
Les espèces d'origine Méditerranéennes occupent la première place, leur pourcentage oscille selon les stations entre 22 et 36% les sujets Ouest-Méditerranéennes (5- 10%) les Euro- Méditerranéennes se situent entre 5 et 8%, les sub-cosmopolites et les Paléo-tempérés, leur pourcentage tourne autour de 5% , tandis que le reste du lot ne dépasse pas les 3% (les Sub- Méditerranéennes, les Saharo- Méditerranéennes, etc...).



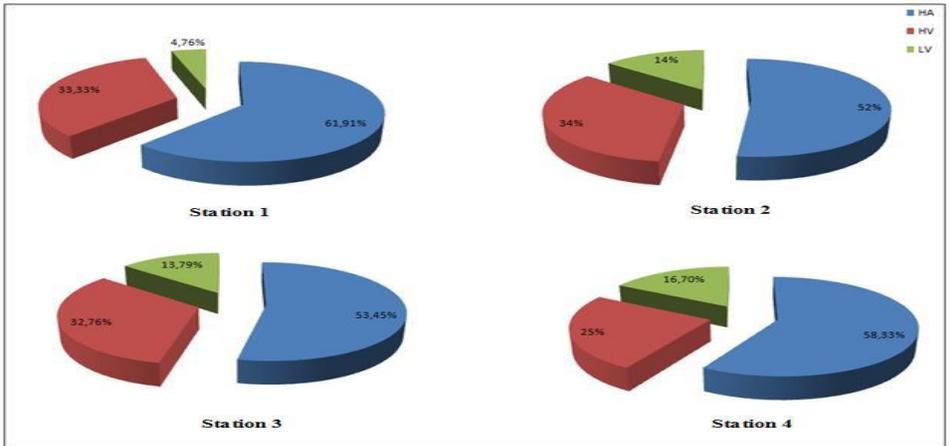
**Figure 1 :** Répartition des types biologiques dans la région de Hammam Bouhrara



**Figure 2:** Répartition des types morphologiques dans la région de Hammam Boughrara



**Figure 3 :** Répartition des types biologiques dans la région de Béni-Saf



**Figure 4 :** Répartition des types morphologiques dans la région de Béni-Saf

### 3.4. Indice de perturbation

La perturbation d'un système écologique peut être définie comme « tout évènement relativement discret dans le temps, désorganisant la structure de l'écosystème, de la communauté ou de la population, modifiant les ressources, la disponibilité du substrat ou l'environnement» [11].

Le paysage est plus sujet au cours du temps à des transformations de l'occupation du sol et à des modifications du parcellaire avec une tendance à la diminution de l'occurrence de ces transformations.

L'analyse du recouvrement montre une remonté biologique dans la station protégée où l'indice de perturbation a connu une baisse de 80% à 76.56% pendant la période de 2010-2011 et 76.56% pour la période de 2013-2014-2015 et un recul de la phytomasse au niveau des stations de Hammam Boughrara où l'indice de perturbation a augmenté de 71.43% pour de 2010-2011 à 77% pour la période de 2013-2014-2015 ainsi qu'à Béni-Saf où il atteint 76% pour la période de 2010-2011 par rapport à la période 2013-2014-2015 qui enregistre 72.62%.

**Tableau N°1 :** Indices de perturbation obtenus successivement en 2011 et 2015 pour Hammam Boughrara, la station protégée et Béni-Saf

Régions	Indice de perturbation (2011) %	Indice de perturbation (2015) %
H. Boughrara	71.43	77
Béni-Saf	72.62	76
Station protégée	80	76.56

#### 4. CONCLUSION

Sur le plan botanique les thérophytes dépassent les 40 % dans les 02 régions. Les chaméphytes oscillent entre 14 et 22 %, les hémicryptophytes varient entre 4 et 9%, celui des phanérophytes entre 3 et 8%, tandis que les géophytes enregistrent 3%, sauf pour la station 4 de Hammam Boughrara où le pourcentage est légèrement plus élevé (6%).

Dans la catégorie des espèces morphologiques, une importance particulière est détenue par les herbacées annuelles dépassant largement les 55% dans l'ensemble des stations avec un avantage pour la région continentale de Hammam Boughrara, représentées surtout par les Astéracées dépassant les 30% (*Pallenis spinosa*, *Scolymus grandiflorus*, *Silibum marianum*....), viennent en seconde position les Poacées (*Hordeum murinum*, *Aegilops triuncialis*, *Bromus madretensis*....) dont les pourcentages fluctuent autour des 18%. Les Fabacées (*Trifolium angustifolium*, *Calycotom villosa*, *Medicago ciaris*....), les Brassicacées (*Sinapis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, *Pallenis spinosa*...) et les Chenopodiacées (*Atriplex halimus*, *Arthrocnemum glaucum*....) sont faiblement représentées (5-10%).

Les faibles progressions dans la région de Hammam Boughrara et la régression de la végétation dans la région de Béni-Saf dont cette dégradation de la végétation, expose les sols à l'érosion hydrique et éolienne avec pour corollaire l'accroissement du ruissellement et les multiples conséquences telles que la baisse de la fertilité des sols. **Fischer [12]** a confirmé que ces changements paysagers qui pèsent sur la végétation, peuvent conduire à terme à un appauvrissement et à une banalisation de la flore locale, puisque la dynamique et le maintien des espèces sont gouvernés par les interactions entre les traits de vie des espèces qui déterminent les niveaux locaux d'extinction, de colonisation et les propriétés paysagères. Toutefois, il a été démontré que chaque écosystème est caractérisé par un seuil de dégradation, à partir duquel, même en cas de disparition de la perturbation, le retour à un état antérieur ne peut être que très lent. La région de Hammam Boughrara connaît une bonne croissance de la végétation, cette tendance peut se traduire par une bonne production de biomasse végétale à cause des reboisements à base de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui peuvent ralentir les processus d'érosion, d'ailleurs, la mise en défens dans notre cas a permis d'obtenir une bonne évolution de la densité végétale et de la diversité floristique, par contre, la régression de la biodiversité au niveau de la région de Béni-Saf peut être expliquée par le défrichement et le surpâturage de la végétation.

#### Références

1. **J. Blondel, J. Aronson, J.-Y. Bodiou and G. Boeuf** The Mediterranean region. Biological diversity in space and time, 2 nd Ed. Oxford University Press, Oxford (2010).
2. **F. Benabdelmoumen** Contribution à une étude phyto-écologique des peuplements situés dans la région de Hammam Boughrara. Thèse Doct. Ecol. Vég. Univ. Tlemcen. (2018), 167p.
3. **N. Polunin** Eléments de géographie botanique. Paris. Gauthier- Vilars (1967), 532p.
4. **F. Burel, J. Baudry** Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. Acta ecologica, 19 (1) (1998) : 47- 60.

5. **M. Benest** Évolution de la plate-forme de l'ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du jurassique supérieur et au début du crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Doc-Lab-Géol. Lyon no 95. (Fasc.1). Département des sciences de la terre, Université Claude Bernard, Lyon, **(1985)**, 367 p.
6. **N. Benabadji, D. Benmansour et M. Bouazza** La flore des Monts d'Ain Fezza dans l'Ouest algérien, Biodiversité et Dynamique. Rev. Sci. Tech. Constantine, N° 26, **(2007)** : 47-59.
7. **J. Braun-Blanquet** Pflanzensoziologie. Springer Ed. Vienne. 2° Ed. **(1951)**, 631p.
8. **C. Raunkiaer** Biological types with reference to the adaptation of plants to survive the unfavorable season. In Raunkiaer ; 1934, **(1905)**, 1-2.
9. **L. Emberger** Travaux de botanique et d'écologie. Ed. Mass. Cie Paris. **(1971)**, 520p.
10. **R. Loisel et H. Gamila** Traduction des effets du débroussaillage sur les écosystèmes forestiers et pré-forestiers par un indice de perturbation. Ann. Soc. Sci. Nat. Arch. Toulon (Var.) **(1993)**, 123-132.
11. **J. Ph. Schutz et R. Oldeman** Gestion durable par automation biologique des forêts. Revue forestière française **(1996)** : 65-74.
12. **M. Fischer** Lands cap dynamique can accelerate meta population extinction. TREE, 16 (5) **(2001)** : 225-226.

## **Impact des activités anthropiques sur les ressources en eau de la périphérie ouest d'Abidjan (Sud-est de la Côte d'Ivoire)**

Natchia AKA<sup>1</sup>, Yao Dakro Albert GBOKO<sup>2</sup>, Siaka Barthélémy BAMBA<sup>3</sup>, Nagnin SORO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Physique et Géologie Marine, Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan (CRO), BP V 18 Abidjan (Côte d'Ivoire), Tel. (225) 08190378, Fax (225) 21351155, [akanatch@yahoo.fr](mailto:akanatch@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR STRM, Université Félix Houphouët Boigny, 22 B.P. 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire), Tel. (225) 89552612, [dakroalbert@yahoo.fr](mailto:dakroalbert@yahoo.fr)

<sup>3</sup> Laboratoire de Physique et Géologie Marine, Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan (CRO), BP V 18 Abidjan (Côte d'Ivoire), Tel. (225) 08084723, Fax (225) 21351155, [bambasb@hotmail.com](mailto:bambasb@hotmail.com)

<sup>4</sup> Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR STRM, Université Félix Houphouët Boigny, 22 B.P. 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire), Tel. (225) 04002386, [soro\\_nagnin@yahoo.fr](mailto:soro_nagnin@yahoo.fr)

## **RÉSUMÉ**

*La périphérie ouest d'Abidjan est une zone qui subit une pression anthropique du fait de la démographie de la ville d'Abidjan et ses environs et des activités agricoles. Cette pression anthropique influence la quantité et la qualité des ressources en eau de la zone. L'objectif du présent travail est de comprendre l'influence des activités anthropiques sur la qualité des ressources en eau de la périphérie ouest d'Abidjan. Pour ce faire, la technique utilisée est : l'hydrochimie, avec l'étude des paramètres physico-chimiques, des Eléments traces Métalliques (ETM), des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPS) et la microbiologie. L'étude des eaux de cette zone montre qu'elles sont acides et peu minéralisées avec un pH moyen de 5,1 et une Conductivité Electrique (CE) moyenne de 52,42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La pollution nitratée n'est pas relevée par cette étude. Les eaux de surface de la zone d'étude sont très chargées en Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et en *Vibrio cholerae*. Au niveau des métaux lourds, le Fe et le Pb présentent des concentrations supérieures aux normes OMS (2006) dans la rivière R2 et dans le forage F1. L'étude révèle la présence de HAPS dans les eaux de la zone d'étude dont l'origine est essentiellement pyrolytique.*

**Mots clés :** Périphérie ouest d'Abidjan, occupation du sol, anthropique, minéralisation, hydrochimie, microbiologie.

## **Impact of human activities on water resources of the western side of Abidjan City (South-East of Côte d'Ivoire)**

## **ABSTRACT**

*The western side of Abidjan is an area that is undergoing an human pressure to the demography of that city and its suburbs, and the farming activities. That anthropic pressure influences the chemistry and physical quantity and quality of the area waters resources. This work aims at understanding the impact of the ground occupation on the quality of the water resources of the Abidjan western side. For that to make, the used technique is hydrochemistry, with the survey of the physicochemical parameters, the metallic traces elements, the polycyclic aromatic hydrocarbons and the microbiology. The survey on the Abidjan periphery waters has revealed that they are acidic (pH average of 5.1) and less mineralized by weak conductivity (an average of 52.42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). The surface waters of the area of research are highly charged with colonies of faecal coliforms, faecal streptococci and cholera vibrio. Concerning the heavy metal, the iron (Fe) and the lead (Pb) show concentrations higher than the WHO standards in the river R2 and F1. The survey shows the presence of HAPs in the waters in the area of research. The origin of these HAPs is essentially pyrolytic.*

**Key words:** Abidjan western periphery, ground occupation, anthropic, mineralisation, hydrochemistry, microbiology

## INTRODUCTION

Disposer de l'eau en quantité et en qualité suffisante est l'un des enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle [1]. Un constat amer est la dégradation de la qualité des ressources en eau par les activités humaines à travers le monde. En effet, les populations des grandes métropoles Africaines en général et de la Côte d'Ivoire en particulier connaissent ces dernières décennies une croissance accélérée de leurs populations. Cette croissance engendre un gain d'espace des habitats et sols nus, des zones industrielles et des cultures [2]. Corrélativement, on assiste à la régression des espaces naturels comme la forêt et la mosaïque forêt/culture [2]. La forêt favorise l'infiltration et protège les zones de recharges contre la pollution [3]. Par contre, les habitats dégradent considérablement la qualité de l'eau avec la construction de fosses septiques, l'inexistence ou la défaillance des réseaux d'assainissements [4]. L'activité agricole modifie fortement la dynamique et la qualité de l'eau dans le milieu. En effet, par la transformation du couvert végétal, le travail du sol, l'apport de fertilisants et de pesticides, l'agriculture altère le cycle de l'eau et ses composants [5]. La zone comprise entre Anyama et Songon (périphérie ouest d'Abidjan), est une zone qui subit l'influence des activités humaines à cause de l'extension de la ville d'Abidjan, des espaces agricoles et la mise en place d'une zone industrielle. Ainsi, dans un contexte d'expansion des activités anthropiques dans la périphérie ouest d'Abidjan et vu que les populations locales utilisent pour la consommation les eaux souterraines et de surface, il importe de se pencher sur la relation qualité des eaux et activités anthropiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude dont le thème est « Impact des activités anthropiques sur les ressources en eau de la périphérie ouest d'Abidjan (Sud-est de la Côte d'Ivoire) ». Dans cette étude, nous nous proposons de comprendre l'influence des activités anthropiques sur la qualité des eaux de la zone comprise entre Anyama et Songon. Pour y arriver, il s'agira d'évaluer les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de la zone d'étude, évaluer les concentrations en éléments traces métalliques et en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) des eaux de la zone d'étude.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE

### Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située à l'intérieur du district d'Abidjan entre les sous-préfectures d'Anyama, de Songon et d'Abidjan. Elle est limitée par 5° 18' et 5° 30' N de latitude puis 4° 00' et 4° 15' W de longitude avec une superficie de 550 km<sup>2</sup>. Le climat de la zone est de type équatorial de transition. C'est une région humide avec des précipitations interannuelles de plus de 1500 mm. Le climat est caractérisé par quatre saisons dans le cycle annuel, avec une grande saison sèche de décembre à mars, une grande saison des pluies d'avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre et une petite saison pluvieuse d'octobre à novembre. La végétation est marquée par la forêt sempervirente et ombrophile dégradée par les activités anthropiques. Au niveau hydrogéologique, la zone est limitée au Sud par la lagune Ebrié qui reçoit les eaux venant de nombreuses rivières dont les plus importantes sont le Niéké, le Banco, le Gbangbo et l'Anguédédou. La géologie de la zone d'étude est dominée par les formations du bassin sédimentaire côtier. Au Sud, on y rencontre les sédiments du Quaternaire, constitués de vases permanents ainsi que de vases de marécages lessivés [6]. Au centre, les formations du Mio-pliocène (Continental Terminal (CT)) composées d'argiles, de sables et de grès ferrugineux. À l'extrême Nord, on y rencontre les formations du socle (paléoproterozoïque) avec des métagranites à biotite et des métasiltites [6]. Au niveau hydrogéologique, la zone est dominée par les aquifères du Quaternaire et du Continental Terminal (CT). L'aquifère du Quaternaire présente quatre formations du haut vers le bas. Les formations trois (nappe de l'Ogolien) et quatre (nappe du Nouakchottien) sont celles qui présentent des intérêts hydrogéologiques [7]. L'aquifère du CT est le plus important et le plus sollicité pour l'alimentation en eau potable de la population Abidjanaise [4]. Il comprend également du haut en bas quatre horizons. Sur le plan hydrogéologique les horizons trois et quatre sont les plus intéressants [7]. Les activités économiques sont dominées par l'agriculture qui couvre de vastes espaces avec la société Palmafricque et de vastes champs d'hévéa. L'action de l'activité industrielle est due à l'extension de la zone industrielle de Yopougon qui se met en place vers Attigué.

### Méthodes d'échantillonnages et d'analyse des données

La campagne de prélèvement d'échantillons d'eau s'est faite sur sept points de mesures répartis sur l'axe Anyama-Songon en décembre 2017. Pendant cette campagne, les eaux d'un puits captant la nappe phréatique, trois forages captant le CT ainsi que les eaux de trois rivières ont été échantillonnées (figure 1). Des flacons en polyéthylène et en verre borosilicaté ont servi respectivement au prélèvement des eaux destinées aux analyses des éléments majeurs, aux éléments traces métalliques (ETM) et aux analyses microbiologiques puis aux HAPs. Les paramètres comme la température (T°), le pH, la Conductivité Électrique (CE), l'O<sub>2</sub> dissous et les Solides Totaux Dissous (TDS) ont été analysés *in situ* à l'aide d'un multiparamètre de type HACH. Les analyses des matières en suspension (MES) et microbiologiques ont été réalisées au Centre de Recherches Océanologiques. La méthode 9222B du Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [8] a été utilisée pour les coliformes fécaux, la 9230 C pour les streptocoques et la méthode par la gélose TCBS, utilisée pour l'isolement des vibrions. Quant aux salmonelles, elles seront détectées par la méthode présence /absence USEPA 1682 [9]. Les travaux d'analyse des anions majeurs se sont déroulés au Centre Ivoirien Anti-Pollution (CIAPOL) à l'aide d'un spectrophotomètre DR 6000. Les métaux lourds ont été analysés par spectrométrie d'émission optique (ICP AES) à l'Environnement et Agroalimentaire (ENVAL) et les HAPs également à ENVAL par la méthode chromatographique en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC MS) de marque SHIMADZU.

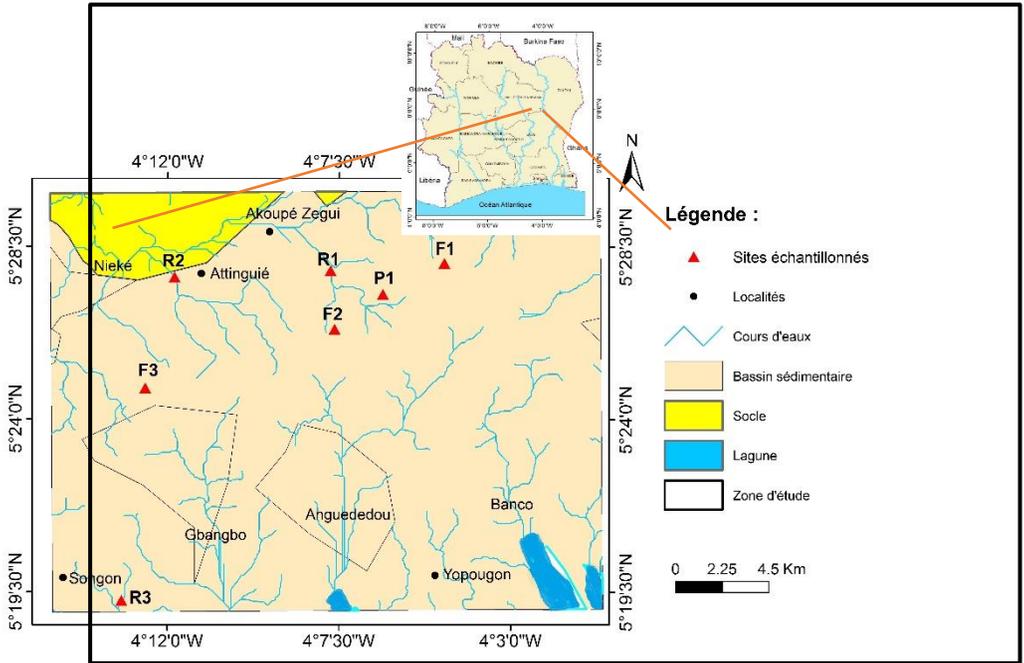


Figure 1 : Carte de présentation de la zone d'étude et sites échantillonnées

### Méthodes de détermination de l'origine des HAPs

Pour déterminer l'origine des HAPs nous avons utilisé la méthode des ratios.

Le rapport impliquant le phénanthrène (P) et l'anthracène (A) fait partie de ceux qui ont été définis afin de différencier les sources pétrolières des sources pyrolytiques [10]. Le principe est que la valeur du rapport P/A dépend de la température de formation des composés. Pour des températures élevées, typiques des processus de combustion, le rapport est faible (de 4 à 10) alors que pour des températures plus faibles (origine pétrolière), ce rapport est important ([11], [12]). Ces auteurs définissent deux classes. La première d'entre elles correspond aux entrées pétrolières et est caractérisée par un  $P/A > 10$ . La seconde correspond aux origines pyrolytiques et est caractérisée par un rapport  $P/A < 10$ . Selon [13], le rapport fluoranthène (Fluo) et pyrène (Pyr), semble, au regard de la littérature, pouvoir être aussi utilisé pour la distinction entre les origines pyrolytiques et pétrolières. Une valeur inférieure à l'unité étant le témoin d'une origine pétrolière tandis qu'une valeur supérieure à 1 serait la conséquence d'une contamination pyrolytique. Dans le but d'éviter les interprétations erronées, des combinaisons entre indices ont été définies [11]. Ces combinaisons peuvent éventuellement être représentées sous la forme de repères orthonormés où à chacun des deux axes correspond un indice (Figure 2). Ainsi, le rapport P/A a pu être combiné avec le ratio Fluo/Pyr. Dans ce cas, il a été estimé que l'origine pyrolytique est incontestablement mise en évidence lorsque  $P/A < 10$  et  $Fluo/Pyr > 1$ .

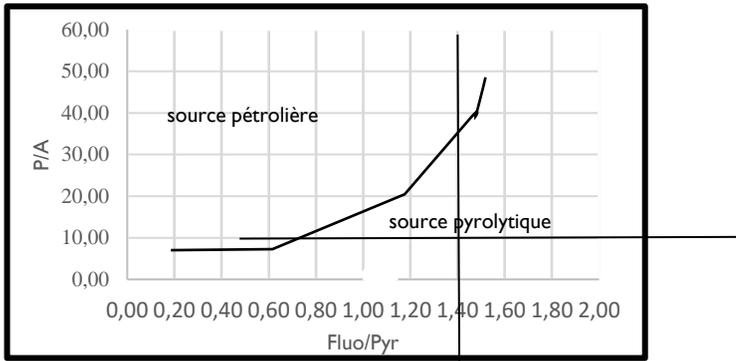


Figure 2 : Double ratio P/A = fn (Fluo/Pyr) [11].

## RÉSULTATS

### Paramètres physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques sont résumés dans le tableau 1. La T° des eaux a des valeurs qui varient de 26,1°C à 28,7°C, avec une moyenne de 27,5°C. Les valeurs de pH varient de 4,1 à 6,5, avec une moyenne de 5,1. Les valeurs de la Conductivité Électrique (CE) sont comprises entre 32,42 µS/cm et 118,70 µS/cm, avec une moyenne de 52,42 µS/cm. Les valeurs de la Turbidité oscillent entre 0,29 NTU à 21,80 NTU, avec une moyenne de 5,95 NTU. Les valeurs de l'O<sub>2</sub> dissous sont comprises entre 2,07 mg/L et 7,51 mg/L, avec une moyenne de 4,6 mg/L. La TDS a des valeurs qui varient de 15,14 mg/L à 73,70 mg/L, avec une moyenne de 26,35 mg/L. Les MES ont des valeurs qui oscillent entre 1 mg/L et 11 mg/L, avec une moyenne de 5,18 mg/L. La DCO à des valeurs allant de 10 mg/L à 20 mg/L, avec une moyenne de 15 mg/L. Quant à la DBO<sub>5</sub>, elle a des valeurs comprises entre 5 mg/L et 10 mg/L, avec une moyenne de 6,67 mg/L.

Les valeurs de température sont toutes supérieures à 25°C, valeur seuil de l'OMS, le pH a des valeurs inférieures à 6,5 et la Turbidité a des valeurs supérieures à la valeur seuil fixée par l'OMS dans P1 et R2.

Tableau 1 : Résultats, et statistiques élémentaires de certains paramètres physico-chimiques

	O <sub>2</sub> dissous (mg/L)		Turb (NTU)	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	MES (mg/L)			
	28,5	5,03	5,61	5,23	112,7	73,7	8	-	-
	27,2	4,33	7,51	0,61	32,4	15,14	2	-	-
	28,7	4,48	7,02	0,69	42,4	17,99	1	-	-
	27,5	4,1	7,45	0,29	45,6	20,28	1	-	-
	26,5	5,5	2,07	4,96	57,9	26,4	5	15	5
	26,6	6,48	4,54	21,8	43,7	19,84	11	10	5
	27,8	5,52	3,85	3,3	38,2	16,92	5	20	10
	26,5	4,1	2,07	0,29	32,4	15,14	1	10	5
	28,7	6,5	7,51	23,80	112,7	73,70	11	20	10
	27,1	5,1	4,60	5,95	52,42	26,35	5,18	15	6,67
DMS [1]	<25	6,5-8,5	-	5	400	200	15	30	7

Min= minimum, Max= maximum, moy= moyenne

### Étude des ions majeurs

Les résultats des analyses des ions majeurs sont consignés dans le tableau 2. Les concentrations en sodium (Na<sup>+</sup>) varient de 0,23 mg/L à 10,20 mg/L, avec une moyenne de 2,18 mg/L. celles du potassium (K<sup>+</sup>) sont comprises entre 0,90 mg/L à 1,77 mg/L avec une moyenne de 1,18 mg/L et les concentrations en Ca<sup>2+</sup> d'une valeur inférieure à 0,5mg/L à 4,98 mg/L, avec une moyenne de 4,30 mg/L. Les concentrations en Mg<sup>2+</sup> varient de moins de 0,05 mg/L (<0,05mg/L) à 2,32 mg/L, avec une moyenne



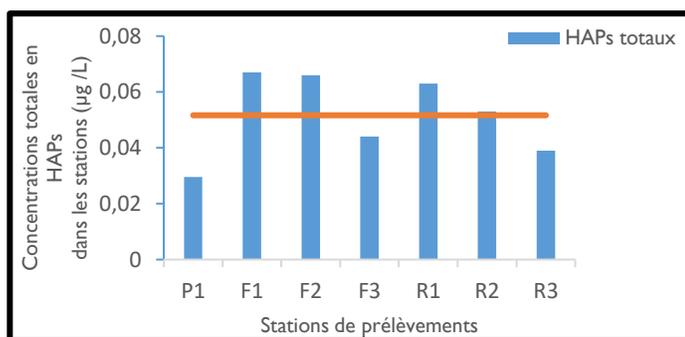
concentrations en Cu sont de 19,1 µg/L dans R2 et 11 µg/L dans R3. Les autres points de mesure enregistrent des concentrations inférieures à 5 µg/L. Fe à une concentration de 55,3 µg/L dans P1 et 1190 µg/L dans la rivière R2. Les autres points de mesure ont des concentrations inférieures à 50 µg/L. Les concentrations en Mn sont de 53 µg/L dans P1 et de 72,7 µg/L dans R2 et inférieures à 50 µg/L Dans les autres points de mesure. Enfin, le Pb enregistre des concentrations de 10,5 µg/L dans R2 et de 23,1 µg/L dans F1 et inférieures à 10 µg/L dans les autres points. Selon les recommandations de l'OMS de 2006, le Fe a une concentration anormale dans R2 (1190 µg/L) et on observe également des valeurs anormales en Pb dans R2 (10,5 µg/L) et dans F1 (23,1 µg/L).

**Tableau 4:** Éléments traces métalliques dans la matrice de l'eau

Nature	Stations	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb
		(µg /L)	(µg /L)	(µg /L)	(µg/L)	(µg /L)	(µg /L)	(µg /L)
	P1	<50	<5	19,1	55,3	53	<50	<10
	F1	<50	<5	<5	<50	<50	<50	23,1
	F2	<50	<5	<5	<50	<50	<50	<10
	F3	<50	<5	<5	<50	<50	<50	<10
	R1	<50	<5	<5	<50	<50	<50	<10
	R2	63	<5	11	1190	72,7	<50	10,5
	R3	<50	<5	11	<50	<50	<50	<10
<b>CRITÈRES</b>								
	OMS (µg /L)	200	50	2000	300	400	70	10

### Étude des HAPs

Au total 18 HAPs ont été analysés. Les résultats sont consignés dans le tableau 5. Ce tableau montre également les concentrations des HAPs totaux pour chaque point de mesure (Figure 3). L'analyse a mis en évidence la présence de HAPs dans tous les sept points de mesure avec comme concentration minimale de HAPs totaux de 0,03 µg/L au point P1 et une concentration maximale de 0,067 µg/L dans le forage F1 avec les Forages F1 et F2 ainsi que la rivière R3 ayant des teneurs totales supérieures à 0,05 µg/L. La moyenne en HAPs totaux est de 0,052 µg/L. L'analyse du tableau 5 montre que la molécule de HAPs la plus rencontrée dans les eaux est le Benzo(a)pyrène (B(a)P) suivie du Benzo(a)anthracène (B(a)A). Le 1,1'-Biphenyl 4-methyl, le Indeno(1,2,3, cd)pyrilène, le Dibenzo(a, h)anthracène et le Benzo(g, h,i) pyrelène sont absents dans les eaux de la zone. Selon les recommandations de l'US EPA [8], le Benzo(a)anthracène a des concentrations supérieures à la valeur seuil de 0,0038 µg/L dans tous les points sauf dans P1. Le Chrysène a une concentration anormale dans la rivière R2 (0,0106 µg /L). Le Benzo(b)fluoranthène et le Benzo(k)fluoranthène ont des concentrations supérieures à 0,01 µg /L, donc non conformes à la recommandation de 0,0038 µg /L de l'US EPA [8] dans les forages F1 et F2 et dans la rivière R1. Le Benzo(a)pyrène est fortement concentré dans tous les points de mesures sauf dans la rivière R3 où sa concentration est inférieure à la limite de détection.



**Figure 3 :** Concentration totale en HAPs pour chaque point de mesure

Tableau 5 : Teneurs en HAPs dans les eaux

HAPs	Points de mesure							tères US E (2006)
	PI	FI	F2	F3	R1	R2	R3	
Naphtalène (N)	0,00037	0	0	0	0	0	0,00032	0,02
Acenaphthylène (Any)	0	0	0	0	0,000774	0	0	-
Acenaphthène (Anè)	0,000574	0,00045	0,0006	0,000942	0,000462	0,00059	0,000632	200
Fluorène (F)	0,00108	0,00114	0,001122	0,001188	0,00137	0,00108	0,001086	1100
1,1'-Biphenyl 4-methyl (1,1'B,4 m)	0	0	0	0	0	0	0	-
Phenanthrène (P)	0,002302	0,00247	0,00229	0,002354	0,00236	0,00237	0,002356	-
Anthracène (A)	0,002022	0,00203	0,002466	0,002082	0,002182	0,00207	0,00207	8300
Fluoranthène (Fluo)	0,002892	0,00268	0,002874	0,002672	0,00277	0,00269	0,002616	130
Pyrène (Pyr)	0,002828	0,00289	0,002834	0,002808	0,00284	0,00283	0,002832	830
Benzo(a)anthracène (B(a)A)	0	0,01309	0,01309	0,01309	0,013104	0,01311	0,013154	0,0038
Chrysène (C)	0	0	0	0	0	0,01067	0	0,0038
Benzo(b)fluoranthène (B(b)F)	0	0,01123	0,011656	0	0,01025	0	0	0,0038
Benzo (k)fluoranthène (B(k)F)	0	0,01419	0,011278	0	0,010662	0	0	0,0038
Benzo(a)pyrène (B(a)P)	0,0175228	0,01683	0,017666	0,018634	0,01677	0,01781	0	0,0038
Benzo(a)phenanthridin (B(a)ph)	0	0	0	0	0	0	0,013596	-
Indeno(1,2,3,cd)pyrilène l(1,2,3,cd)	0	0	0	0	0	0	0	0,0038
, h)anthracene								
, i)pyrele								
ux des points onnages								

Les résultats des calculs des rapports P/A et Fluo/Pyr sont consignés dans le tableau 6. La projection des échantillons dans le repère orthonormé (figure 4) selon les travaux de [11] montre que les échantillons sont tous d'origine pyrolytique.

Tableau 6 : Rapports P/A et Fluo/Pyr dans la matrice de l'eau

	FI	PI	F2	F3	R1	R2	R3
	1,22	1,14	0,93	1,13	1,08	1,15	1,05
	1,03	1,12	1,11	1,05	1,08	1,14	1,02

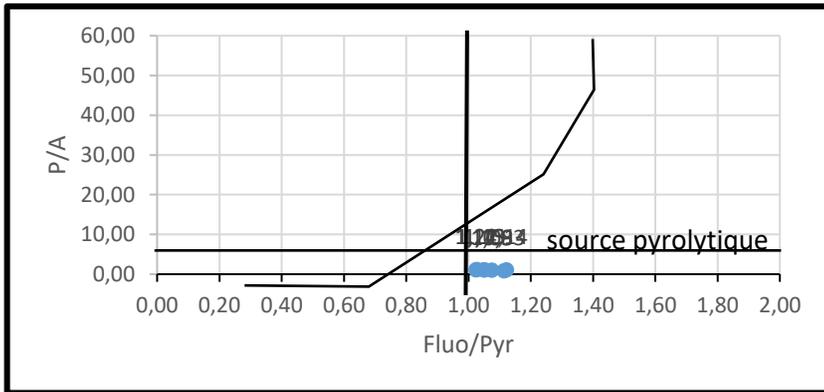


Figure 4 : Double ratio  $P/A = f_n(\text{Fluo/Pyrr})$  [11] dans l'eau

## DISCUSSION

La température moyenne des eaux de la zone d'étude est de 27,5 °C. Cette valeur est supérieure à la norme OMS [1] de 25 °C. Selon les travaux de [14], réalisés dans le degré carré de Grand-Lahou, la température de ces eaux est influencée par celle de l'atmosphère, ce qui explique leur similitude. Selon [15], la température seuil de 25°C fixée par l'OMS est difficile à respecter en Afrique de l'Ouest où la température moyenne est de 30°C. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par plusieurs auteurs. [14] a obtenu une valeur moyenne de 27°C dans le bassin versant de la Mé, [16], (26,6°C) dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire, [17], (27,25°C) dans le département d'Abengourou, [4], (27,13°C) dans la région d'Abidjan-Agboville, [2], (29,3°C) en lagune Aghien et 29°C en lagune Potou. Les eaux de la périphérie ouest d'Abidjan sont acides avec une moyenne de pH de 5,1. La moyenne du pH des eaux souterraines rejoint celle rapportée par les auteurs comme [16] et [4] qui trouvent respectivement une moyenne de pH des eaux du Continental Terminal de 4,7 et de 4,53. Selon Fritz et Tardy (1973), cités par [16], l'acidité des eaux est liée à la forte pression partielle du CO<sub>2</sub>. Les expériences de ces auteurs montrent que pour des pCO<sub>2</sub> 10 ou 100 fois plus grandes que la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère normale (pCO<sub>2</sub> = 10<sup>-3,5</sup> atm), le pH d'une eau déminéralisée est respectivement égal à 4,5 et 3,5. La pression partielle du CO<sub>2</sub> des eaux du CT trouvée par les travaux de [16], est de 10<sup>-0,4</sup> atm. Une autre explication de l'acidité des eaux est la présence de CO<sub>2</sub> libre en quantité élevée dans le sol [14]. [17] signale que l'acidité des eaux peut être due à l'acidité du sol. Pour cet auteur en effet, lorsque le sol est cultivé de façon continue, cela amène rapidement à une acidification, due à la décomposition de la matière organique du sol par l'effet de l'activité microbienne et la respiration des racines. Cette assertion est confirmée par la présence de vastes champs de palmier à huile et d'hévéa dans la zone d'étude. Les valeurs de conductivité trouvées qui sont toutes inférieures à 250 µS/cm avec une moyenne de 52,42 µS/cm attestent que les eaux de la zone d'étude sont faiblement minéralisées. Plusieurs auteurs confirment que les eaux du bassin sédimentaire (CT) sont peu minéralisées ([16]; [2]). La moyenne de la turbidité obtenue est 5,95 NTU. Cette moyenne est supérieure à la valeur seuil de l'OMS [1] de 5 NTU. Les valeurs de turbidité, ainsi que celles de la MES sont dues à la présence dans l'eau des matières colloïdales, minérales ou organiques : limons, argiles, phytoplanctons, complexes organoleptiques, etc. Ainsi, la quantité des MES et les valeurs de la turbidité diminuent en fonction de l'importance de la profondeur des ouvrages [15]. C'est ce qui explique que les eaux de surface et le puits peu profond ont des valeurs de la turbidité élevées par rapport aux forages profonds. Les valeurs moyennes sont de 1,6 mg/L pour le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et 0,86 mg/L pour le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> suggéreraient une origine atmosphérique pour ces paramètres. En effet, Shoeller (1962), cité par [15], évalue les concentrations de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> apportés par l'air atmosphérique à l'eau souterraine dans une fourchette comprise entre 0,03 et 12 mg/L. Or, les valeurs obtenues pour ce paramètre s'inscrivent dans cette plage. Les valeurs de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> prélevées sur le toit de la pharmacie de Séguéla entre avril et juin 1988 par ce même auteur varient de 0,2 mg/L à 2,5 mg/L confirmant l'origine atmosphérique du PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> des eaux de la zone. Ces résultats pour le NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ne sont pas en encore avec ceux des travaux antérieurs [4] (maximum : 196,2 mg/L dans le Quaternaire et 120 mg/L dans le CT) ; et [2] (maximum : 100,98 mg/L dans le C T) qui signalent des valeurs élevées dans certains points de mesures des eaux du Quaternaire et du CT. On pourrait expliquer la faible moyenne de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la présente étude par le fait que les points d'eaux échantillonnés ne sont pas situés dans des zones fortement urbanisées. Les facteurs anthropiques évoqués par ces auteurs comme la présence de fosses septiques, de latrines trop proches des puits comme dans le cas du puits P1, le dysfonctionnement du système d'assainissement qui laisse infiltrer les eaux usées ne sont donc pas réunies pour favoriser des concentrations élevées en nitrates.

### Cas des éléments traces métalliques

Les eaux de la zone d'étude sont en général faiblement concentrées en éléments traces métalliques. Les ETM tels que Al, Cu, Cr, Ni et Zn ont des concentrations conformes aux valeurs seuils de l'OMS [1] pour les eaux de boissons. Le fer enregistre également des valeurs faibles dans l'ensemble sauf dans les eaux de la rivière R2 où il a une concentration de 1190 µg/L, qui est supérieure à la valeur seuil de l'OMS [1] pour les eaux de consommation de 300 µg/L. Le plomb enregistre des

concentrations supérieures à la valeur seuil de l'OMS dans les eaux de la rivière R2 (10,5 µg/L) et du forage FI (23,1 µg/L). Le fer est issu des formations géologiques de la zone d'étude [2], avec une teneur moyenne de 30 890 µg/L dans la croûte terrestre. Cette zone est constituée de sols ferrallitiques [18] qui sont lessivés par les eaux de pluie, dans les rivières. La zone d'étude est également constituée de grès ferrugineux [6]. Les précipitations étant abondantes, ces formations s'altèrent et produisent d'importantes quantités d'oxydes de fer qui sont lessivés dans les rivières. Ahoussi [4] a obtenu une teneur moyenne en Fe de 1060 µg/L dans les eaux du Quaternaire et Traoré [2] ; 2914,04 µg/L dans les forages environnants des lagunes Potou et Aghien. Le plomb comme certains métaux provient des eaux de ruissellement issues des orages urbains et le lessivage des métaux en provenance des ordures ménagères et des résidus solubles [4]. Les peintures à base de plomb sont encore des sources de relargage de plomb [19]. Les concentrations élevées en ETM dans la rivière (R2) peuvent s'expliquer par le fait que cette rivière traverse la nouvelle zone industrielle qui se met en place vers Attinguié et le point d'échantillonnage se trouve en aval. Cette rivière peut donc drainer des ETM issus des rejets des industries comme « la Société Ivoirienne de Béton », la société de production de ciment qui se trouve dans cette zone. Le forage FI se trouve dans la ville d'Anyama dans une ferme aujourd'hui abandonnée. Aux alentours de ce forage se trouvent un garage de mécanique ainsi que des petits dépôts d'ordures sauvages. Cela pourrait expliquer la valeur du plomb obtenue dans ce forage. [20] ont obtenu des teneurs allant de 0 à 2800 µg/L de plomb dans les eaux souterraines d'Abidjan. [2] a obtenu une teneur moyenne en plomb de 15,83 µg/L dans les eaux souterraines situées aux environs des lagunes Potou et Aghien.

#### Cas des HAPs

Sur les 18 HAPs étudiés, cinq (5) ont des concentrations supérieures aux normes de l'US EPA pour les eaux de consommations. Curieusement quatre (4) de ces cinq (5) HAPs sont classés par le *Centre international de recherche contre le cancer* comme cancérigène probable ou possible. Le benzo-(a)pyrène et le benzo(a)anthracène sont classés cancérigènes probable, le benzo(b)fluoranthène et benzo(k)fluoranthène sont classés cancérigènes possible. L'origine de ces HAPs peut être naturelle comme anthropique. L'origine naturelle s'explique par la pratique de l'agriculture sur brûlis dans la zone [21]. Les sources anthropiques s'expliquent par la circulation automobile qui constitue l'une des principales sources d'hydrocarbures puisqu'elle combine les deux processus : d'une part les émissions des gaz d'échappement provenant de la combustion incomplète des carburants, et d'autre part les déversements de produits tels les carburants, les huiles lubrifiantes ou les débris de pneumatiques sur le sol [13]. L'étude a montré que l'origine de ces HAPs est essentiellement pyrolytique. L'origine pyrolytique dans le cadre de notre étude peut s'expliquer par les émissions de gaz d'échappement et par les cultures sur brûlis. Ainsi, le forage FI situé à côté de l'axe Abidjan- Adzopé où il y a une forte circulation automobile enregistre la concentration maximale en HAPs totaux (0,067 µg/L). Quant au puits PI, situé dans une zone à très faible circulation automobile, il a la concentration minimale en HAPs totaux de 0,03 µg/L.

#### Cas des microorganismes pathogènes

Les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, les vibrions cholériques et les salmonelles constituent une indication de la contamination des eaux par les fèces. Toutes les rivières sont contaminées en microorganismes pathogènes d'origine fécale. Cette contamination provient du lessivage des fèces des humains et animaux issus des fermes de la zone situés en amont des points échantillonnés. Les populations ne disposant pas de latrines déposent les fèces à l'air libre. Ces fèces sont ensuite acheminées dans les rivières par ruissellement.

#### CONCLUSION

Cette étude vise à évaluer les paramètres physico-chimiques, des concentrations en ETM, des concentrations en HAPs et la microbiologie en rapport avec les sources de pollution humaine. L'étude des eaux souterraines et de surface de la périphérie ouest d'Abidjan montre que les valeurs moyennes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , CE, et  $\text{NO}_3^-$ ; TDS déterminées dans les eaux souterraines sont conformes aux valeurs seuils de l'OMS pour l'eau potable. Cependant, les points d'eau échantillonnés ont tous des pH trop acides pour les eaux de consommations. Les températures obtenues sont aussi supérieures aux valeurs seuil de l'OMS. Parmi les ETM étudiés, le Fe et le Pb ont des concentrations souvent supérieures aux valeurs seuils en vigueur dans la matrice des eaux. Cette étude révèle que toutes les rivières échantillonnées sont contaminées en microorganismes d'origine fécale, attestant de l'impact des activités humaines sur les eaux de surface. Concernant les HAPs, cinq sur les dix-huit HAPs étudiés ont des concentrations supérieures aux valeurs seuils de l'US EPA à certains points de mesure. Ce sont le benzo-(a)pyrène, le benzo(a)anthracène, le benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et le Chrysène. L'origine des HAPs dans les eaux de la zone d'étude est essentiellement anthropique avec la circulation des automobiles.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Directives OMS de qualité pour l'eau de boisson, 4<sup>e</sup> éd. Intégrant le premier additif, Genève, Organisation Mondiale de la Santé, Licence : CCBY-NC-SA 3.0 IGO, 2017, 539 p.
- [2] A. Traoré, Impacts des changements climatiques et du changement de l'occupation et de l'utilisation du sol sur les ressources en eau de l'environnement lagunaire d'aghien et de potou (Sud-Est de la côte d'ivoire), Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 2016, 249p.
- [3] G. Soro, K. E. Ahoussi, K. E. Kouadio, T. D. Soro, S. Oularé, M. B. Saley, N. Soro et J. Biémi J., Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire), *Afrique science*, Vol. 10, N°3, (2014), 146 – 160.

- [4] K. E. Ahoussi, Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat Unique de l'Université de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 2008, 270 p.
- [5] L. François, Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales, ESO LE MANS - UMR 6590, 2013, pp 27-29.
- [6] C. Delor, I. Diaby, Y. Simeon, M. Adou, B.Z. Zamble, J.P. Tastet, B. Yao, G. Konan, J.-C. Chiron et A. Dommanget, Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, 1ère Edition, Feuille GRAND-BASSAM, Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, (1992).
- [7] N. Aghui et J. Biemi, Géologie et Hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan et risques de contaminations, Annales de l'Université de Côte d'Ivoire, série C (Sciences), tome 20, 1(984), pp. 313-347.
- [8] APHA, AWWA et WEF, Standard Methods for examination of water and wastewater. 22<sup>nd</sup> ed, Washington: American Public Health Association, 2012, 1360 p.
- [9] US EPA, National recommended water Quality. Office of water, 2006, 13p.
- [10] Z. Wang, M. Fingas et D. S. Page, Oil spill identification. Journal of Chromatography, vol.843, (1999) pp 369-411.
- [11] H. Budzinski, I. Jones, C. Bellocq, P. Pierard et P. Garrigues, Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. Marine Chemistry, vol.58, (1997), 85-97.
- [12] E.Y. Zeng et C. L. Vista, Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. I. Source identification and assessment by compositional indices of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Toxicology and Chemistry vol.16, (1997) 179-188.
- [13] V. Rocher, Introduction et stockage des hydrocarbures et des éléments métalliques au sein du réseau d'assainissement unitaire parisien, Thèse de Doctorat de l'Université Paris VII- Val de Marne, 2003, 232p.
- [14] N. Soro, Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : bassin versant de la Mé, Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université Scientifique, Technologique et Médicale de Grenoble, France, 1987, 213 p.
- [15] J. Biémi, Contribution à l'étude géologique, hydrologique et par télédétection des bassins versants subsaharien du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1992, 480 p.
- [16] B. Adiaffi, Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact "Socle-Bassin Sédimentaire" du Sud-Est de la Côte d'Ivoire, Thèse de l'Université Paris sud, France, 2008, 196 p.
- [17] N. Aka, Impact des activités anthropiques sur les ressources en eau du département d'Abengourou (est de la Côte d'Ivoire) : apport de l'hydroclimatologie, de la télédétection et de l'hydrochimie, Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan), Côte d'Ivoire, 2014, 249 p.
- [18] E. Roose et M. Cheroux, Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. Centre de recherche O.R.S.T.O.M, (1966), 43p.
- [19] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet et Coll., L'analyse de l'eau, 9eme Edition, 2009, 1579p.
- [20] K. E. Ahoussi, N. Soro, A. M. Kouassi, G. Soro, Y. B. Koffi et P. S. Zade, Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des métaux lourds ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Pb}^{2+}$ ) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan, Int. J. Biol. Chem. Sci, Vol.4, N°5, (2010), pp. 1753-1765.
- [21] M. D. K. Lamprea, Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains, Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes, 2009, 296 p.

## Analysis of pillar design practices using different approaches (Case of the mine of Sétif -Algeria)

S.Berdoudi<sup>1\*</sup>, A. Chaib<sup>2</sup>, Z.Mekti<sup>2</sup>, M.C.Djouamaa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LMPPM laboratory, Department of mining engineering, Annaba University, Algeria  
berdoudisaid@yahoo.fr

<sup>2</sup> LAVAMINE laboratory, Department of mining engineering, Annaba University, Algeria

### Abstract

*The stability of underground mines exploited by the chamber and pillar method relies mainly on the ability of natural rock pillars to support the weight of the overburden without breaking; the sizing of these pillars represents a significant economic challenge for ore operators. This is to collect as much ore as possible while ensuring the safety and therefore the stability of the mine in the short and long term.*

*The purpose of this study is to show technically the possibility of recovering the maximum amount of ore left in place, to give a stability analysis methodology, to resize the pillars and consequently to increase the productivity of the mine.*

*The basis of this work is to study the stability of the pillar from the different analytical methods, analyse their dimensions and compare the results by respecting the corresponding safety factor. Our study example is applied to the pillars of the Zinc mine, in the province of Sétif in the east of Algeria.*

*The results obtained show that the volume to be extracted according to the new dimensions of the pillars is very important with a recovery rate representing 70% of the current volume (80 m<sup>3</sup>).*

**Key Words:** chambers and pillars, sizing, productivity, methodology, stability.

## INTRODUCTION

The pillars of the mines have a very important role in the proper functioning of the underground mines; we must choose the minimum amount of ore to leave in place to allow the minimum support necessary to ensure the stability of the excavations.

Methods for sizing mine piers can be divided into two categories, each corresponding to a different approach. The first category includes the methods that postulate that the pillar is in uni-axial compression, in particular, those of the tributary areas, and the empirical formulas. In the second category, we find methods that impose no simplification on the stress field in the pillar. With these methods, the stress fields required for the sizing of pillars were obtained by experimental techniques such as photoelasticity. Now they are generated by computerized numerical methods such as finite element methods.

The objective of this work is to study the stability of the pillars from the analytical methods and to analyse their dimensions to recover the maximum of the ore while ensuring the stability of the medium. The methods of sizing the pillars will be analysed by several methods namely; Tributary air, Duval, Bieniawski, Hardy-Agapito and Hedly, their conditions of application and their efficiencies, It will be estimated afterwards the resistance of the pillars and one will calculate the supported load, to leave finally with a factor of rational security.

## MECHANISMS OF RUPTURE OF THE PILLARS

The manifestations of land pressure vary according to geological factors such as:

- Physico-mechanical properties of rocks;
- Conditions of the deposit;
- Presence of water in the deposit;
- The dimensions of the underground mining structures as well as the mode and quality of their execution.

Exploitation carried out by "abandoned pillars" can, as in the case of partial operations carried out in stratified plots (Poular, 2005), generates breaks in the roof of rooms left empty or fractures of pillars. When the depth of exploitation is important and the width of the panel operated is significant in relation to its depth, [1] the repercussion of the surface disorders usually results, again, in the appearance of a subsidence cup.

## FACTORS INFLUENCING THE RESISTANCE OF THE AIN AZEL'S DEPOSIT MASSIF

Factors that may have an influence on the resistance of the massif of the Chaabet El-Hamra deposit are:

A/Cracking

b/Influence of water infiltration

c/Influence of loading time

d/Influence of the geometric factor

## SIZING METHODS FOR PILLARS

The first empirical formulas [2] for the design of the pillars (Gonzalez-Nicieza et al, 2006) have been developed in coal mines and are therefore applicable to soft rocks.

### The tributary area method

This method allows, from only some data, to determine the load of a pillar. The theory of the tributary area (Brown, 1985) assumes that after excavation, the pillar supports the weight of the earth contained in an augmented imaginary prism, extending from the level of the excavation to the free surface. The theory of the tributary area [3] accepts that the average load of the pillar can be obtained from the following equations:

For a wall pillar, the average axial stress at the center of the pillar is defined by:

$$\sigma_p = \frac{(w_0 + w_p)}{w_p} * P_{zz} \quad (1)$$

$W_0$  : Width of the excavation.

$W_p$  : Width of the pillar.

If the vertical stress of the initial state is due solely to gravity; we have:

$$P_{zz} = \sum_{i=1}^n \gamma_i * h_i * g \quad (2)$$

**P<sub>zz</sub>**: Vertical constraint of the initial state of the constraints.  
**γ<sub>i</sub>**: Specific gravity of the overburden soil for layer i.  
**h<sub>i</sub>**: Thickness of the layer i.  
**g**: Acceleration of gravity.

if we define an overall extraction rate τ:

$$\tau = \frac{\text{used thickness}}{\text{total thickness}} \rightarrow \tau = \frac{(w_0+w_p)-w_p}{(w_0+w_p)} \quad 1 - \tau = \frac{w_p}{(w_0+w_p)} \quad (3)$$

The equation of the wall pillar can then be written:

$$\sigma_p = \frac{1}{1-\tau} * P_{zz} \quad (4)$$

\* For column pillars (Brown, 1985) with rectangular cross section, the extraction rate becomes:

$$\tau = \frac{(a+c)*(b+c)-ab}{(a+c)*(b+c)} \quad (5)$$

a,b: Width and length of the cross section of the pillars  
 c: Distance between the pillars

This makes it possible to calculate the axial stress σ<sub>p</sub> mean:

$$\sigma_p = P_{zz} \frac{(a+c)*(b+c)}{ab} \quad (6)$$

\* For square pillars:  
 We have: a = b then:

$$\sigma_p = P_{zz} * \frac{\text{volume tributaire}}{\text{volume du pilier}} = P_{zz} * \frac{A_i}{A_p} \quad (7)$$

### The method of Obert and Duvall

The Obert and Duvall (1967) method, derived from the laboratory tests on hard rock's the following formula:

$$s_p = \sigma_c (0.778 + 0.222 * \frac{W_p}{H_p}) \quad (8)$$

S<sub>p</sub>: Resistance of the pillar; (MPa)  
 σ<sub>c</sub>: Uniaxial compression resistance of a rock cube.  
 W<sub>p</sub>, H<sub>p</sub>: The width and height of the pillar respectively.

### The Bieniawski method

Bieniawski (1992) proposed a formula based on large scale inset tests [4] on pillars in South African coal mines:

$$S_p = S_0 * (0.64 + 0.36 * (\frac{W_p}{H_p})) \quad (9)$$

S<sub>p</sub>: The resistance of the pillar  
 S<sub>0</sub>: The compressive strength of intact rock (in situ).  
 W<sub>p</sub>: The width of the pillar.  
 H<sub>p</sub>: The height of the pillar.

## The method of Hardy and Agabito

Hardy and Agabito proposed the following (Lannacchione, 1999) formula for estimating pillar resistance from a study of pillars in Colorado mines. The method proposed by the application of this formula is an extrapolation relationship [5] that requires the determination of the compressive uniaxial resistance ( $\sigma_c$ ) of a rock specimen of known size and shape and estimates the resistance from the expression:

$$S_p = S_s \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^{-0.118} \left[ \frac{\left( \frac{W_p}{H_p} \right)}{\left( \frac{W_s}{H_s} \right)} \right]^{0.833}, \text{ N/m}^2 \quad (10)$$

$V_p$ ,  $W_p$ ,  $H_p$ : Volume and the width and height of the pillar respectively

$V_s$ ,  $W_s$ ,  $H_s$ : Volume and width and height of standard specimen respectively standard specimen:

$\varnothing = 37 \text{ mm}$ ;  $h = 2 * \varnothing$ .

$S_s$ : resistance of the standard specimen

## DETERMINATION OF LAND LOAD ON PZZ PILLARS

Since most of the land above the blocks concerned are not identified by mechanical soundings and therefore no lithological description on the cliffs; For this purpose, we will use an average value of the depth and the average density of the cover areas in order to estimate the load on each of the pillars of the analysed block.

$$P_{ZZ(moy)} = \gamma_{(moy)} * h_{(moy)} * g \quad (11)$$

Now for the block identified with soundings having a lithological description we have used the real value of the thicknesses and the densities of the land cover.

$$P_{ZZ(moy)} = \sum_{i=1}^n \gamma_i * h_i * g \quad (12)$$

$\gamma_i$ : Density.

$h_i$ : Stratum height.

$g$ : gravity acceleration.

These values were given by the operators of the mine according to the following summary.

$\gamma_i$ : Density.(moy); 2.743 ( t/m<sup>3</sup>)

$h_i$ : 106.4 ( m)

$g$ : 10 (m/s)

$P_{ZZ}$  (moy): 28.96 (Mpa)

## ESTIMATION OF THE EXTRACTION RATE BY THE TRIBUTARY AREA METHOD.

The tributary area method (Obert and Duvall, 1967) is a method of controlling the vulnerability of pillars by calculating the so-called slenderness ratio (width / height) [6]. Ratios lower than 1.3 are indicators of vulnerability and those greater than or equal to 1.3 are indicators of robustness. This calculation is used to examine the state of robustness or vulnerability of the pillars. The rate of extraction is defined as the volume of voids created by the exploitation on the volume of the tributary area.

$$\tau = \frac{(a_p+c)*(l_p+c)-a_p*l_p}{(a_p+c)*(l_p+c)} \quad (13)$$

$\tau$ : The extraction rate

$a_p$ ,  $l_p$ : Width and length of the cross section of the pillars;

$C$ : the width of the room.

## SAMPLING AND COMPRESSION TESTING

The compressive strength  $\sigma_c$  of the rock mass (in our case it is dolomite) is estimated by laboratory tests using a hydraulic press on 6 samples, which we took from the site.

$$Rc = \frac{P}{S}; \text{ (Mpa)} \quad (14)$$

P: Load on the sample;  
 S: Cross section of the sample.

## THE SAFETY FACTOR AND SIZING OF THE PILLARS

For this, we use the safety factor formula that evaluates the ratio of the resistance of the pillar to the stress in the pillar. It is defined by the equation:

$$FS = \frac{\sigma_p}{P_{zz}} ; \quad (15)$$

FS: Safety factor.

$\sigma_p$  : Resistance of the pillar

Pzz: Average value of the vertical stress given by the tributary area method.  
 The stability status of the pillars of each block can be estimated from their own safety factor. We have three situations that can be defined as:

- Pillars in danger of rupture (critical): in the case of a safety factor lower than 1.
- Pillars in probable state of rupture (or nascent rupture): in cases of a safety factor varying from 1 to 1.3.
- Pillar in stability: for a safety factor greater than or equal to 1.3.

The stability evaluation of the pillar is more controlled by the safety factor calculations and the  $ap / hp$  ratio can only give a preliminary evaluation of it (Pillar Vulnerability Check).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Calculation of pillar resistance and safety factor

The resistance of the pillars and the corresponding safety factor are shown in the table below for the different measurement methods.

**Table I - The safety factor for the different approaches**

Pillar	Aire tributary		Obert and Duval		Bieniawski		Hardy and Agabito	
	$\sigma_p$ (Mpa)	FS	$\sigma_p$ (Mpa)	FS	$\sigma_p$ (Mpa)	FS	FS	
1	61,13	2,11	80,52	2,78	84,97	2,93	46,50	1,61
2	57,92	2,00	83,12	2,87	89,20	3,08	50,14	1,73
3	65,16	2,25	77,91	2,69	80,75	2,79	41,17	1,42
4	70,33	2,43	75,31	2,60	76,52	2,64	35,80	1,24
5	77,22	2,67	72,70	2,51	72,30	2,50	32,06	1,11
6	57,92	2,00	83,12	2,87	89,20	3,08	46,20	1,60

The safety factor of a pillar and the rate of extraction are related to its height and width, because the resistance of the pillar is inversely proportional to its height.

According to the results of the 4 previous methods, we notice that the first three methods give very similar results, while the last one give very weak resistances, in this case we choose another empirical method, It's HEDLEY's equation, because it gives a mean value of the compressive strength of the pillar for hard rocks from the compressive strength of the sample of standard and unspecified dimensions.

$$\sigma_p = \sigma_c \frac{a_p^{-0.5}}{h_p^{0.75}} \tag{16}$$

- oc: the compressive strength of the intact rock sample.
- ap: the width of the pillar.
- hp: the height of the pillar

All the results of this method are mentioned in Table 2.

**Table 2** - The pillar resistances and the safety factor according to the HEDLEY method for the different pillars in place

	Widht W <sub>p</sub> (m)	Lenght l <sub>p</sub> (m)	Height h <sub>p</sub> (m)	width of the room w <sub>o</sub> (m)		
1	3,6	4	2,5	4	70,00	2,42
2	4	4	2,5	4	73,79	2,55
3	3,2	5,5	2,5	4	66,00	2,28
4	2,8	8	2,5	4	61,74	2,13
5	2,4	8	2,5	4	57,16	1,97
6	4	8	2,5	4	73,79	2,55

The relation between the safety factor and the actual dimensions of the pillars using HEDLEY method is shown in figure 1.

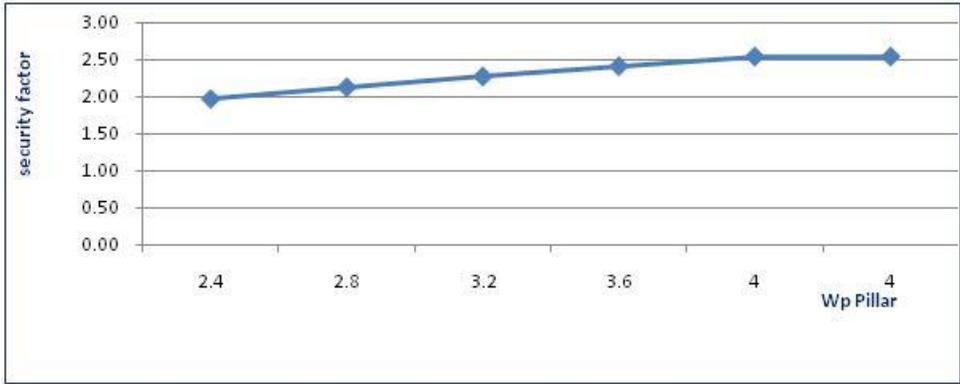


Fig. 1 - The relation between the safety factor and the actual dimensions of the pillars.

The dimensioning of the pillars and the ideal safety factor are shown in the table 3.

**Table 3 - The effect of  $W_p$ ,  $h_p$  as a function of safety factor.**

	Widht $W_p$ (m)	Lenght $l_p$ (m)	Height $h_p$ (m)	lth of the room $w_o$ (m)		
1	1	4	3	7	32,18	1,11
2	2	4	3	6	45,51	1,57
3	3	5,5	3	5	55,74	1,92
4	4	8	3	4	64,36	2,22
5	5	8	3	3	71,95	2,48
6	6	8	3	2	78,82	2,72

The sizing results of the pillars mentioned in Table 3 are shown in figure 2.

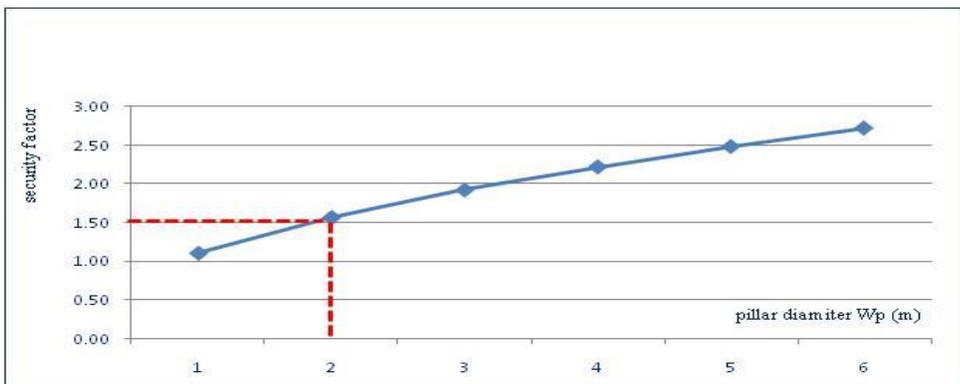


Fig. 2 - Relation between the security factor and the deffernet pillars diamiter.

Good sizing is obtained for pillar 2 who's FS is equal to 1.57, the relation between the extraction rate and the width of the pillars is inversely proportional; more the width of the pillars decreases more the extraction rate increases; which give us an important extraction volume.

The volume of the ore to be extracted from the new dimensions of the pillars is as follows:  
 $V_{\text{ideal}}$ ;  $\text{m}^3$ , From where:

$$V_{\text{extraire}} = V_{\text{act}} -$$

$E_{\text{extract}}$  : Volume of the ore to be extracted from the new dimensions of the pillars.

$V_{\text{act}}$  : Volume of the pillars of the mine (present);  $V_{\text{act}} = 8 \times 4 \times 2.5 = 80 \text{ m}^3$ .

$V_{\text{ideal}}$  : Volume of pillars ideal to propose (Table 3) ;  $V_{\text{ideal}} = 2 \times 4 \times 3 = 24 \text{ m}^3$ .

$V_{\text{extract}} = 80 - 24 = 56 \text{ m}^3$ .

## CONCLUSION

This article proposes a practical methodology for sizing pillars based on different approaches. According to the results of the 4 methods (tributary area, Duval, Bieniawski, Hardy Agabito); we note:

1- The 3 methods; Tributary air, Duval and Bieniawski give a resistance of the pillars are closer to each other which vary between  $57.92 < \sigma_p < 89.20$ ; and the same for the safety factor that varied between  $2.00 < FS < 3.08$ .

2- The method of Hardy Agabito gives a resistance of the pillars varied between:  $50.14 < \sigma_p < 32.04$ ; and a safety factor of  $1.11 < FS < 1.73$ , the specimen dimensions that we use to calculate the compressive strength are not respected which we explain the difference of the results compared to the other 3 methods.

3- For the last method, the relation between the extraction rate and the width of the pillars is inversely proportional, that is to say the more the width of the pillars decreases the more the extraction rate increases; which give us an important extraction volume.

4. The volume to be extracted according to the new dimensions of the pillars is important compared to the current volume of the mine; the volume to be recovered represents 70% of the current volume ( $80 \text{ m}^3$ ).

## Références

- [1] F.Poulard, Typologie des événements redoutés au droit d'exploitation pentée et/ou filoniennes, Partie 2, pp 1-77. INERIS. (2005).
- [2] C.Gonzalez-Nicieza, M. I. Alvarez-Fernandez, A. E. Alvarez-Vigil, Spai, A Comparative Analysis of Pillar Design Methods and its Application to Marble Mines, Springer-Verlag, Australia. November 2006, Volume 39, pp 421–444 (2006)
- [3] B H G, Brady, E T .Brown, Théorie du bloc tributaire, Rock Mechanics for Underground mining, 527 pp London, (1985).
- [4] Z.T. Bieniawski, A method revisited: coal pillar strength formula based on field investigations, Proceedings of the Workshop on Coal Pillar Mechanics and Design, Pittsburgh. US Department of the Interior, Bureau of Mines.pp158-165 (1992).
- [5] A.T .Lannacchione, Analysis of pillar design practices and techniques for US limestone mines, Trans,Instu,Min,Metall, 108.institution of mining and metallurgy.1-9 (1999).
- [6] L. Obert, W.I. Duvall, Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock, John Wiley & Sons Inc; 1st edition (December 1967), New York. (1967).

## Caractérisation des épisodes de sécheresse dans le bassin versant de l'Oued d'Ansegmir (Haute Moulouya, Maroc)

My Hachem Bekri<sup>1</sup>, Abdellah El Hmaid<sup>1</sup>, El Mâti El Faleh<sup>2</sup>, Ali Essahlaoui<sup>1</sup>, Abdelhadi El Ouali<sup>1</sup>  
Hajar Jaddi<sup>1</sup>, Habiba Ousmana<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Equipe Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

<sup>2</sup>Equipe Géosciences, Patrimoine et Substances Utiles (GPS), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

### Résumé

*La sécheresse est une caractéristique climatique normale et récurrente qui peut potentiellement se produire partout, même si ses caractéristiques, telles que la gravité, la magnitude, la fréquence, peuvent varier d'une région à l'autre. Elle est l'un des risques climatiques les plus importants pouvant avoir des effets négatifs sur les systèmes naturels et socio-économiques.*

*La distribution spatiale et temporelle des épisodes de sécheresse dans le bassin versant de l'Oued d'Ansegmir (Haute Moulouya, Maroc) est étudiée sur une période de 35 ans (1979-2013). Les données quotidiennes des précipitations et températures de quatre stations météorologiques ont été examinées. La distribution spatiale annuelle des précipitations et de la température a été analysée, puis des épisodes de sécheresse hebdomadaires à court (3 mois) et à long terme (24 mois) ont été classés en événements faibles, moyens, forts et extrêmes. Les résultats obtenus ont permis de détecter une alternance de périodes sèches et humides remarquables par leur intensité, leur durée et leur fréquence. Durant la période 1989-2003, les précipitations ont baissé de 536,1 à 127,7 mm et les températures ont augmenté de 13,07 à 14,75 °C. Pour la majorité des stations étudiées, la fréquence des années sèches a nettement augmenté pendant la période 1989-2007. Toutefois, toutes les stations restent désignées semi-arides à l'exception de Tnin Lwlja considérée comme tempérée*

**Mots clés :** sécheresse, précipitation, température, bassin versant d'Ansegmir, Haute Moulouya, SPI, Maroc.

## Characterization of drought episodes in the Oued d'Ansegmir watershed (High Moulouya, Morocco)

### Abstract

Drought is a normal and recurring climatic characteristic that can potentially occur anywhere, although its characteristics, such as severity, magnitude, frequency, may vary from region to region. Drought is one of the most important climate hazards that can have negative effects on natural and socio-economic systems. The spatial and temporal distribution of drought episodes in the Oued d'Ansegmir watershed (High Moulouya, Morocco) is studied over a 35-year period (1979-2013). Daily rainfall and temperature data from four meteorological stations were examined. The annual spatial distribution of rainfall and temperature was analysed and weekly short (3 months) and long-term (24 months) drought events were classified as weak, medium, strong and extreme events. The results obtained made it possible to detect an alternation of dry and wet periods remarkable for their intensity, duration and frequency. During the period 1989-2003, precipitation decreased from 536.1 to 127.7 mm and temperatures increased from 13.07 to 14.75°C. For the majority of the stations studied, the frequency of dry years increased significantly during the period 1989-2007. However, all stations remain designated semi-arid with the exception of Tnin Lwlja which is considered temperate.

**Keywords:** drought, precipitation, temperature, Ansegmir watershed, High Moulouya, SPI, Morocco.

## I. INTRODUCTION

Les fluctuations pluviométriques au niveau de la haute Moulouya se caractérisent par une forte variabilité annuelle et interannuelle ainsi que par une variabilité spatiale des précipitations. Cette irrégularité constitue un facteur limitant du développement socio-économique, la diminution des ressources en eaux [1] ; [2], et l'accentuation des phénomènes hydrologiques extrêmes tels que les inondations et les sécheresses [3]. La sécheresse est essentiellement expliquée par les évolutions de comportement des précipitations mensuelles (déficit pluviométrique empêchant le bon remplissage des nappes phréatiques) et des températures maximales journalières (une période prolongée de températures élevées accentue l'assèchement des sols par le phénomène d'évapotranspiration). Les impacts de la sécheresse sont complexes, non structurels et difficiles à quantifier, contrairement aux impacts des autres risques naturels.

Le présent travail est basé sur le calcul de plusieurs indices hydroclimatiques et leur traitement statistique pour le suivi des conditions de sécheresse et d'aridité au niveau de cinq stations météorologiques situées à l'intérieur ou au voisinage du bassin versant de l'Oued d'Ansegmir (Haute Moulouya, Maroc) pour la période 1979-2013.

## 2. PSENENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Situé à l'Est du royaume, le bassin versant de la Moulouya s'étend sur 57 500 km<sup>2</sup>, couvrant à peu près la totalité du Maroc oriental. Géographiquement, il s'inscrit entre les latitudes 32°18' et 35°8'Nord et entre les longitudes 1°11' et 5°37' Ouest (Fig. 1).

Le bassin draine les eaux du Rif oriental et du Moyen Atlas à l'Ouest, et du Haut Atlas au sud, il est limité au Nord- Ouest par les bassins méditerranéens, à l'Ouest par le bassin de l'Oued Sebou, au Sud- Est par le bassin de l'Oued Guir, à l'Est par le territoire Algérien, et au Sud par le bassin de l'Oued Ziz.

Le bassin versant de la Moulouya comprend trois sous- bassins [4], subdivisés suite à plusieurs accidents géologiques, du sud vers le nord : la Haute, la Moyenne, et la Basse Moulouya. La haute Moulouya, où se situe le district minier de Zeïda, s'étend sur une superficie de 4500km<sup>2</sup> dont 85% de plaines et 15% de montagnes [5], elle constitue la partie amont du bassin versant de la Moulouya. Elle se présente sous forme d'une cuvette intra montagne, de forme triangulaire, et encadrée par les reliefs moyens atlasique et haut atlasique [6]. L'altitude varie de 1200 à 1500 m dans la dépression et culmine à 3757 m au jbel Ayachi dans le Haut atlas [7].

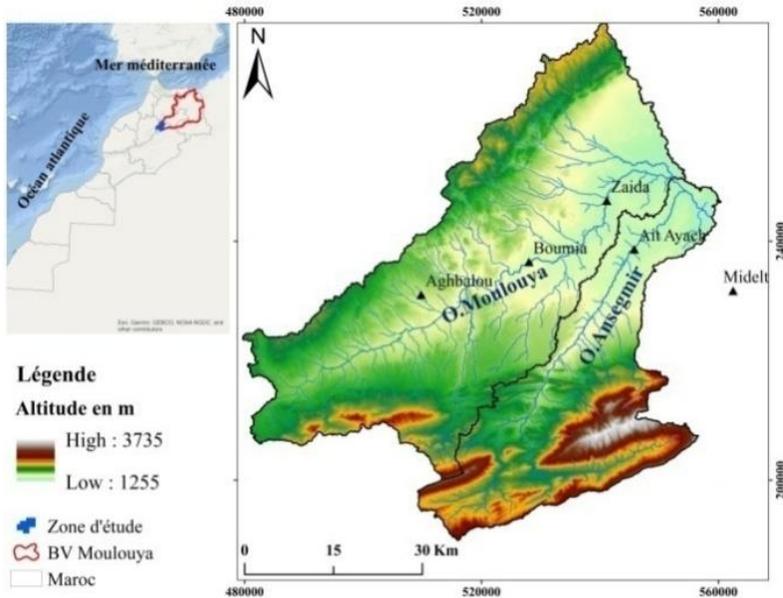


Fig. 1 : Situation géographique du bassin versant de la Haut Moulouya.

D'un point de vue stratigraphique (Fig. 2 et Fig. 3), différentes formations affleurent au niveau du bassin versant de la Moulouya dont l'âge s'étend du Paléozoïque, représentant le socle, au Quaternaire.

-Le Paléozoïque est représenté essentiellement par des schistes et des granites. Il occupe 2,59% de la superficie totale du bassin versant de la Moulouya [5]. Il affleure dans la haute Moulouya sous des granites formant ainsi des massifs primaires de Boumia et d'Ahouli, et sous forme de schistes formant la plupart des séries métamorphiques de la région [8].

-Le Trias affleure en discordance sur les massifs anciens de la haute Moulouya. Au niveau des chaînes des Horsts et des hauts plateaux, le Trias est formé par des marnes, des argiles et par des basaltes très altérés [8].

-Le Jurassique est représenté par des faciès calcaro-dolomitiques et des dépôts terrigènes rouges formant le paléoseuil de la haute Moulouya. Les formations carbonatées affleurent sur les bordures du Haut et du Moyen Atlas et à l'Ouest des Hauts plateaux [8].

-Le Crétacé est constitué par des marnes, grès rouges et calcaires blancs. Ces formations affleurent essentiellement le long du Haut Atlas entre le massif d'Aouli et le Haut Atlas et à l'Est de Midelt. Il débute par des conglomérats puis des marnes et des calcaires sur lesquels viennent se déposer des séries évaporitiques surtout gypseuses [9].

-Le Quaternaire est constitué par des formations les plus récentes qui viennent se déposer au dessus de toutes les autres formations précédentes. Ce sont des terrasses fluviales qui affleurent sous forme de séries emboîtées et recouvertes de dépôts essentiellement limoneux et conglomératiques [10].

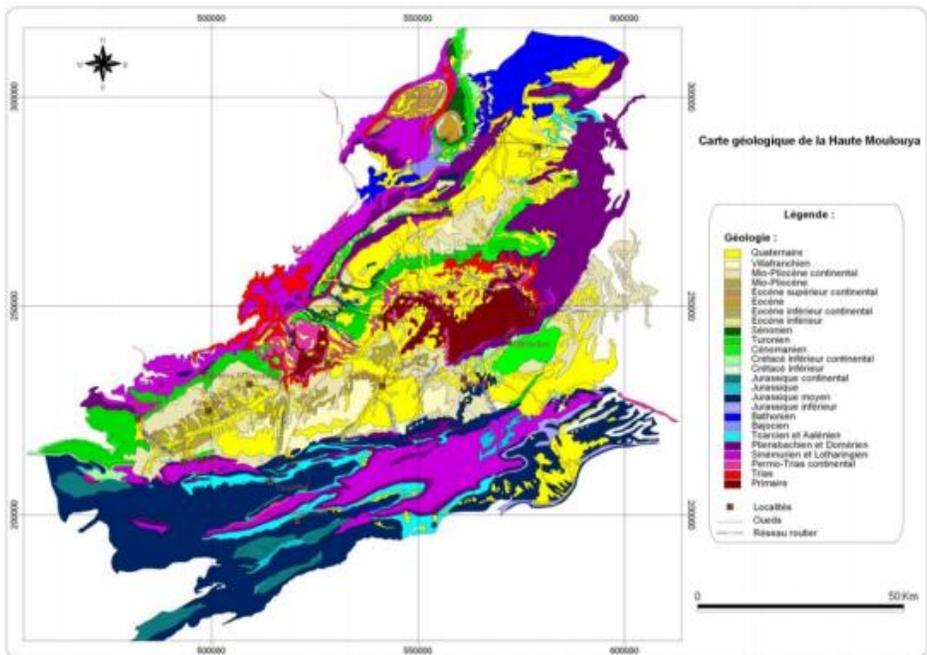


Fig. 2: Carte géologiques du bassin de la Haute Moulouya (d'après la carte géologique du Maroc au 1/500000).

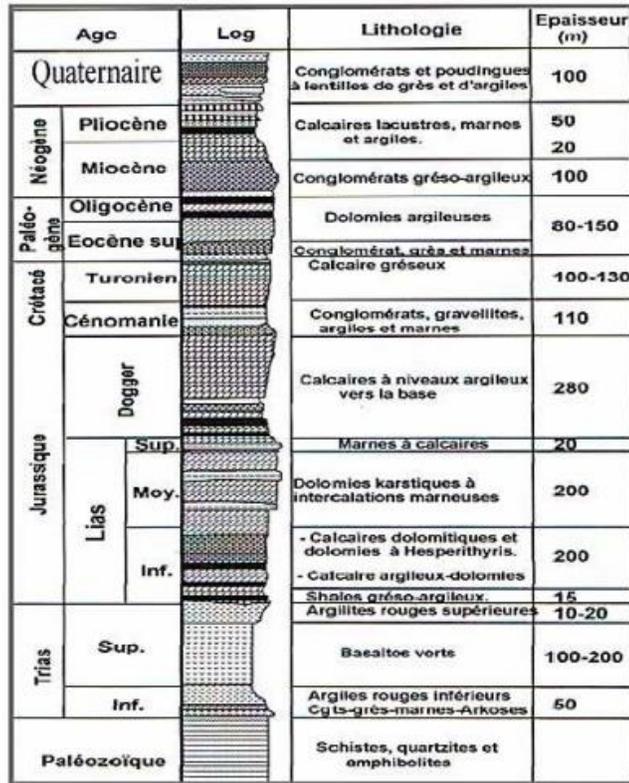


Fig. 3: Log stratigraphique synthétique de la Haute Moulouya et ses bordures atlasiques [11] [10].

### 3. DONNÉES ET MÉTHODES

#### 3.1. Base de données

Ce travail est focalisé sur des analyses statistiques. Cinq stations climatiques ont été utilisées : Midelt (ST1), Tounfit (ST2), Agoudim (ST3), Ansegmir (ST4) et ST5. La majorité des données collectées proviennent de l'Agence Hydraulique du Bassin de la Moulouya. Les autres données proviennent de Global Weather Data for Swat [1]. Pour la caractérisation de la sécheresse dans notre zone d'étude, les données utilisées doivent respecter deux critères importants : d'une part, la longueur des séries pluviométriques (couvrir la plus grande période de temps possible), et d'autre part, la qualité des données (faiblesse des lacunes dans les différentes séries réellement observées). La série climatique étudiée concerne cinq (5) stations couvrant l'ensemble de la zone d'étude, s'étalant sur une période de trente-cinq années, allant de 1978/1979 jusqu'à 2012/2013 (Tab.1). La densité des stations au sein du bassin versant de la Haute Moulouya est relativement faible.

Table 1 : Pluiosité mensuelle des stations étudiées du Bassin Versant Ansegmir.

Station	Moyenne an (en mm)	Mois (en mm)											
		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep.	Oct.	Nov	Déc.
Midelt	209	13	18	20	33	27	16	6	6	18	18	21	13
Tounfit	394	42	48	34	48	38	23	9	21	29	29	35	33
Agoudim	336	32	35	28	33	29	31	11	22	38	27	24	19
Ansegmir	217,9	19	20,1	22	28,3	23	13,7	5,2	5,0	17,5	19,6	21,4	23,1

### 3. 2. Méthodes

Trois indices ont été appliqués pour apprécier la sécheresse dans le bassin versant de l'Oued d'Ansegmir (Haute Moulouya): Indice standardisé de précipitation (SPI), indice d'humidité climatique (CMI) et Indice de déficit pluviométrique (IDP) : ils permettent d'avoir un rapide aperçu de phénomènes complexes que la variabilité hydroclimatique. Ils facilitent aussi la comparaison des situations à différentes périodes.

#### 3.2.1. Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

L'Indice Standardisé des précipitations (Standardized Precipitation Index) notée SPI. C'est un indice très simple créé par [12]:

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i$$

Où  $X_i$  est le cumul de la pluie pour une année  $i$ ;  $X_m$  et  $S_i$ , sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée. Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (Tab. 1) [13]; [14]. Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les valeurs annuelles positives montrent une situation humide (Tab.2).

**Table 2 :** Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).

Valeurs de SPI	Séquences de sécheresse	Valeurs de SPI	Séquences de sécheresse
0,00 < SPI < -0,99	Légèrement sèche	0,00 < SPI < 0,99	Légèrement humide
-1,00 < SPI < -1,49	Modérément sèche	1,00 < SPI < 1,49	Modérément humide
-1,50 < SPI < -1,99	Sévèrement sèche	1,50 < SPI < 1,99	Sévèrement humide
SPI < -2,00	Extrêmement sèche	2,00 < SPI	Extrêmement humide

#### 3.2.2. Indice d'humidité climatique (CMI)

C'est un indicateur météorologique qui donne le statut de l'humidité disponible par rapport à la demande en humidité. Cet indice a été utilisé par divers chercheurs [15]; [16] et représente le ratio de la pluie annuelle sur l'évapotranspiration potentielle annuelle (Tab.3). Pour avoir un indice compris entre -1 et 1, il est strictement défini par :

$$CMI = (P/ETP) - 1 \text{ si } P < ETP$$

$$CMI = 1 - (ETP/P) \text{ autrement}$$

**Table 3 :** Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur du Climatic Moisture Index (CMI).

CMI > 0	Zone humide
-0.6 < CMI < 0	Zone semi-aride
CMI < -0.6	Zone aride

#### 3.2.3. Indice de déficit pluviométrique (IDP)

L'indice de déficit pluviométrique (IDP): c'est le rapport de la hauteur de précipitations d'une année  $P_i$  à la moyenne annuelle des pluies  $P$  de la série [17]. Il s'exprime par la formule suivante:

$$IDP(\%) = ((P_i - P_m) / P_m)$$

Où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage) ;

$P_i$  : précipitation annuelle (en mm) ;

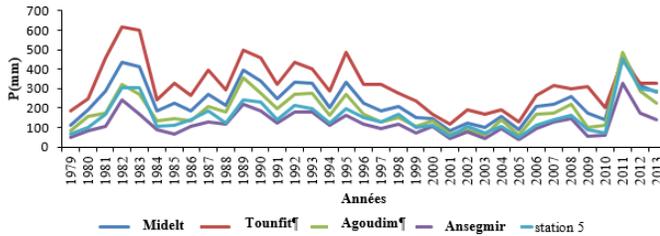
$P_m$  : précipitation moyenne (en mm).

Une année est dite humide si cet indice est positif (supérieur à 1) et sèche s'il est inférieur à 1.

## 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 4.1. Précipitations moyennes annuelles

L'analyse de la série pluviométrique montre nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d'une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires (Fig. 4).



**Fig. 4:** Précipitations moyennes annuelles pour la période 1979-2013.

Les périodes 1984-1986 et 2000-2005 ont enregistré des tranches pluviométriques en dessous de la moyenne ( $P_{\text{moy}} = 204,3$  mm); les autres périodes étaient plus ou moins humides. Elle s'est caractérisée respectivement par une sécheresse légère à modérée et une humidité légère à modérée.

## 4.2. Caractérisation de la sécheresse dans le bassin versant de la Haute Moulouya

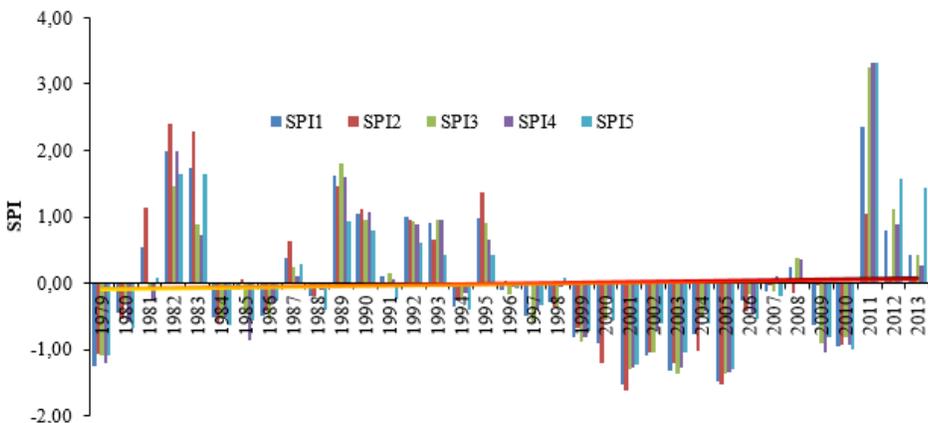
### 4.2.1. Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

Les valeurs moyennes de l'indice SPI montrent la succession de trois périodes (Fig. 5):

Une première période entre 1979 et 1987, marquée par trois événements différents sur le bassin d'Ansegmir. Un cycle de sécheresse est noté en début de cette période, dont toutes les stations sont modérément sèches. A partir de 1980 jusqu'à 1981 le climat devient normal dans toutes les stations. Il est suivi d'un cycle humide à extrêmement humide (1981-1984) noté sur toutes les stations et enfin, à partir de cette dernière année 1984 jusqu'en 1987, on note une nouvelle période de sécheresse, dont toutes les stations sont normalement sèches.

- La deuxième période qui commence à partir de 1987 et se termine en 1996 est caractérisée par une longue phase d'humidité climatique ponctuée par quelques années de sécheresse légère (entre les années 1988 et 1989 et les années 1994 et 1995).
- La troisième période commence à partir de 1997 et se termine en 2011. C'est un nouveau cycle de sécheresse marqué par une tendance générale modérément sèche dans toutes les stations. On note une humidité normale entre 2008 et 2009.

En considérant toutes les stations et toutes les années, les conditions humides l'emportent dans plus de 30 % (Tab. 4). Une humidité forte ou extrême se manifeste seulement 6% pour les cinq stations. Alors que, les périodes sèches représentent 26 %.



**Fig. 5 :** Valeurs annuelles de l'indice standardisé de précipitation (SPI) des cinq stations pour la période 1979-2013.

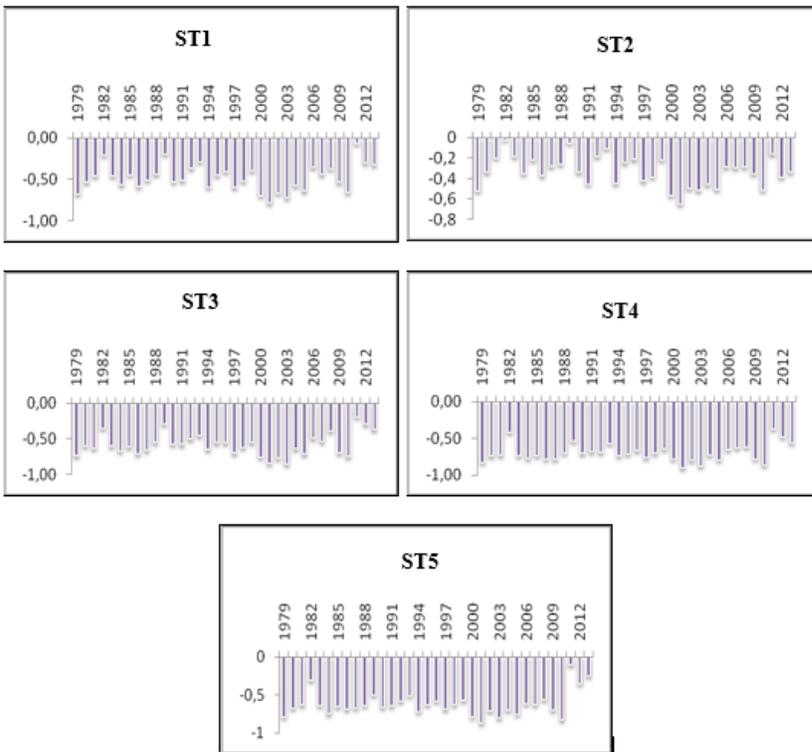
**Table 4 :** Fréquences (en % des stations/années) des classes de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI) sur la période 1950-2004.

SPI	≥2	1.5	1.49	0.99	0	-1	-1	-1.50	-1	≤2
Etat de la Sé	Extrêmement humide	Très Humide	Mod. humide	Normale	Mod. sèche	Très sèche	Ext. Sèche			
ST1	1	3	1	25	5	0	0			
ST2	2	5	5	21	7	0	0			
ST3	1	1	2	26	5	0	0			
ST4	1	2	2	26	5	0	0			
ST5	1	3	3	26	4	0	0			

Ext. : Extrêmement ; Mod. : Modérément

#### 4.2.2. Indice d'humidité climatique (CMI)

La plupart des valeurs de l'indice CMI pour la station ST1 (Midelt), se rangent dans la plage des conditions semi-arides ( $-0.6 < CMI < 0$ ), dont la période entre 1999 et 2003 a tendance aride (Fig. 6). Pour la station ST2 (Tounfit), les conditions semi-arides, beaucoup plus fréquentes sont représentées dans toutes les années d'observation à l'exception de l'année 2001 qui dépasse la valeur de  $-0.6$ . En effet, Le reste des stations montrent des valeurs presque identiques, en moyennant toutes les stations passent de  $-0.6$  à  $-0.8$  sur toute la période d'observation. La sécheresse est d'autant plus poussée avec un climat généralement aride.



**Fig. 6 :** Valeurs annuelles de l'Indice d'Humidité Climatique (CMI) des cinq stations pluviométriques pour la période 1979-2013.

#### 4.2.3. Indice de déficit pluviométrique (IDP)

L'indice de déficit pluviométrique a permis d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale. Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d'observation est de  $-50\%$  (Fig. 7). Le déficit pluviométrique est plus important, en nombre d'années successives, de 1979 à 1982 et de 1995 à 2010. La première phase de déficit

pluviométrique s'est étalée sur quatre ans avec un taux maximal de – 56,8%. La seconde phase est marquée par quinze années de déficit pluviométrique et un taux maximal de – 50,1%.

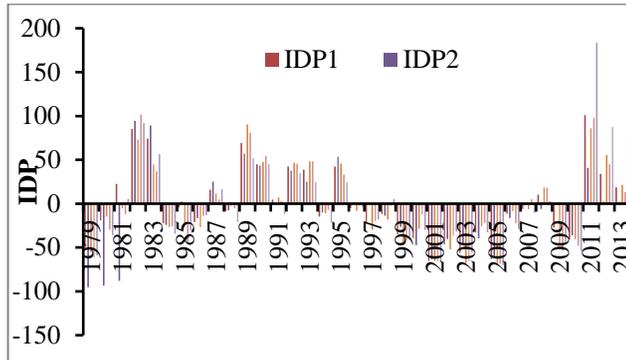


Fig. 7 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1979-2013.

## CONCLUSION

Les changements climatiques sont devenus aujourd'hui un domaine d'études et de recherches prioritaire à l'échelle internationale vu leurs impacts étendus sur les différents secteurs socio-économiques des pays.

– la sécheresse s'est imposée avec force ces dernières décennies en tant qu'élément structurel du climat de la région.

– les précipitations ont connu globalement une tendance à la baisse : l'occurrence d'années humides généralisées sur l'ensemble de territoire devient une exception.

Les résultats des analyses pluviométriques effectuées montrent que le bassin versant d'Ansgmir (La Haute Moulouya) est passé par des épisodes de sécheresse et d'humidité. Cette étude qui s'appuie sur le calcul d'un certain nombre d'indices a permis de se rendre compte de l'extrême variabilité des pluies.

Elle a montré aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse observée dans cette région de 1989 à 2007. Elle a mis aussi en évidence, le retour vers un épisode humide de 2008 à 2013.

Cette augmentation reflète globalement l'installation d'une sécheresse avec une intensité modérée dans la zone d'étude durant cette période.

## Références

- [1] R.Hadria, S.Khabba, A.Lahrouni, B.Duchemin, S. Er-raki, J. Ezzahar, L. Ouzine, Application de STICS à la gestion de l'eau d'irrigation dans les conditions de Marrakech, Séminaire STICS, INRA, Carry-le-Rouet, France, (2005) 17-18.
- [2] L. Parsons S, W. Lear H, Climate variability and marine ecosystem impacts: a North Atlantic perspective, Progress in Oceanography, 49(1) (2001) 167-188.
- [3] S. Boukrim, Étude d'impact des changements climatiques sur les ressources hydriques du bassin versant de l'Ouergha (Rif-Maroc). J. Eau Environ, 19 (2011) 42-55.
- [4] ABHM, Plan Directeur d'Aménagement Intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de la Moulouya (PDAIRE), Rapport de synthèse, Agence du Bassin Hydraulique de la Moulouya, (2008) 278. <http://www.abhmoulouya.ma>.
- [5] J. Ahamrouni, Erosion hydrique dans le bassin versant de la Moulouya (Maroc Oriental) : Recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage Mohamed V. Thèse de 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal, (1996) p147.
- [6] Z. Saadi, Les bassins Triasico- Jurassiques de la Haute et de la Moyenne Moulouya et de la bordure méridionales du Moyen Atlas (Maroc) : Contexte sédimentaire et marqueurs géodynamiques, Thèse de doctorat d'état es Sci, Univ. Mohamed V- Agdal, Fac, Sci., Rabat, (2012) pp 347.
- [7] D. Oukemeni, Géochimie, géochronologie (u- pb) du pluton d'Aouli et comparaisons géochimiques avec d'autres granitoïdes hercyniens du Maroc par analyse discriminante. Thèses Sci., Univ. Québec, Montréal, (1993) 126 p.
- [8] S. Riad, Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse en cotutelle, Univ, Sci, et Tech. Lille., Univ, Ibnou Zohr, Agadir, I (2003). 47 p.
- [9] M. Nasloubi, Genèse et modélisation des minéralisations plombifère de la haute Moulouya (Maroc), Mémoire de maitrise, Université du Québec à Montréal, (1993) pp107.
- [10] A. Amrani, Apport des données couplées d'imagerie satellitaire Etm+ de landsat 7 et modèle numérique de terrain appliquées à l'étude morphogénétique de la haute et moyenne Moulouya (Maroc), Thèse Faculté des Sciences Agdal de Rabat - Doctorat ou Doctorat National [559] , (2007) pp217.

- [11] M. Naji, Les minéralisations plombo-barytiques du district de la Haute Moulouya : contexte géologique, contrôle tectonique et modèle de mise en place – gisements d'Ahouli – Mibladen, Maroc, Doctorat national, Univ, Mohammed V, Rabat, (2004) pp.1 – 30.
- [12] T. Mckee, N. Doesken, J. and Kleist, 'The relationship of drought frequency and duration to time scale', Actes de la 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, Californie), (1993) 179–184.
- [13] M. Bergaoui, A. Alouini, Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas M. du bassin versant de Siliana en Tunisie, *Sécheresse*, 12(4), (2001) 205-213.
- [14] A. Ali, T. Lebel, The Sahelian standardized rainfall index revisited, *International Journal of Climatology*, 29, (2009) 1705-1714.
- [15] J. Willmott C, J. Feddema, A more rational Climatic Moisture Index, *The Professional Geographer*, 44, (1992) 84-88.
- [16] J.Vörösmarty C, M. Douglas E, A. Green P., C. Revenga, Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. *Ambio*, 34(3) (2005) 230-237.
- [17] B. Doukpolo, Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest de la Centrafrique: Enjeux environnementaux, 6-08(2007), 2014. <http://www.irs-memoires-online/es/telcam/géo>

## Interferences des polluants endogènes et exogènes dans les eaux des puits et de l'Oued seyhouse : cas de plaine de Guelma

Akram Soltani<sup>21</sup>, Abderahmane Yahil<sup>2</sup>, Larbi Djabri<sup>2</sup>, Younes Hamed<sup>1</sup>, Hamza Bouguerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Gafsa-Tunisie. [hamed\\_younes@yahoo.fr](mailto:hamed_younes@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire ressources en eau et développement durable REDD, Université Badji Mokhtar Annaba.

Algerie. CA : [djabri\\_larbi@yahoo.fr](mailto:djabri_larbi@yahoo.fr)

E-Mail : [akramsoltaniak@gmail.com](mailto:akramsoltaniak@gmail.com)

### Résumé

La wilaya de Guelma reste un pôle agro-industriel très important dans la zone Est du pays. Ainsi nous dénombrons un nombre important de sites industriels fonctionnels tel que les usines de marbre, de carrelage, de transformation de la tomate... Les eaux rejetées par ces usines contiennent des métaux lourds tel que le fluor, le cuivre, le zinc, le plomb. Si le zinc, le cuivre et le plomb ont une origine anthropique le fluor par contre peut avoir deux origines probables soit naturelle soit anthropique comme indiqué, le fluor peut avoir une origine profonde (magmatique), les valeurs les plus élevées dans les eaux souterraines sont associées à la fluorite (CaF<sub>2</sub>) et surtout à l'apatite [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F, Cl, OH)]. Le fluor est utilisé dans la fabrication du verre, des céramiques, de l'émail, de la brique, de la poterie, du ciment, de l'aluminium... Le fluorure de sodium est utilisé dans la fabrication de divers pesticides et peut être présent, comme impureté, dans les engrais phosphatés. Les analyses réalisées montrent la présence du fluor en quantité importantes dans les eaux (2 mg/l), laisse supposer une interférence des origines de la pollution. En essayant de faire le lien entre les nutriments et le fluor, on s'aperçoit que les concentrations croissent simultanément. Pour étayer nos hypothèses, nous avons dosé les nitrates dans le sol et dans l'eau. Ainsi, nous observons que dans le sol, les nitrates présentes des concentrations oscillant entre 13 et 151 mg/kg et de moyenne égale à 36.9 mg/kg en matière sèche. Le phosphore total dans le sol dans l'horizon labouré (0-20 cm) varie de 0.1 g/kg à 0.9 g/kg avec une moyenne de 0.26 g/kg traduisant des sols très riches en phosphore. C'est le résultat du développement d'une agriculture intensive pratiquée dans la région. Cette dernière a nécessitée l'usage intensif d'engrais de synthèse par les agriculteurs. Dans les eaux les concentrations moyennes en nitrates au niveau de l'Oued Maiz et Zimba en période sèche, sont inférieures à la norme, par contre on assiste à une augmentation nette des teneurs en période de crue en raison de 80 à 115 mg/l pour l'Oued Maiz et de 76 à 78 mg/l pour Oued Zimba, Ces fortes teneurs indiquent une remise en solution des nitrates lors des écoulements.

**Mots clés :** Pollution, Nitrates, Fluor, Irrigation, Guelma.

## Interferences of the endogenous and exogenic pollutants in water of the puit and the Wadiseyhouse: case of plain of Guelma

### Abstract

The wilaya of Guelma remains a very important agro-industrial pole in the eastern part of the country. Thus we number a large number of functional industrial sites such as marble factories, tiling, tomato processing ... The water discharged by these plants contains metals such as fluorine, copper, zinc and lead. If zinc, copper and lead have an anthropogenic origin, fluorine on the other hand can have two probable origins either natural or anthropogenic as indicated. Fluorine can have a deep (magmatic) origin, the highest values in groundwater are associated with fluorite (CaF<sub>2</sub>) and especially with apatite [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F, Cl, OH)]. Fluoride is used in the manufacture of glass, ceramics, enamel, brick, pottery, cement, aluminum Sodium fluoride is used in the manufacture of various pesticides and may be present as an impurity in phosphate fertilizers. The carried out analyzes show the presence of fluorine in large quantities in water (2 mg / l), which suggests an interference with the origins of the pollution. In trying to make the link between nutrients and fluoride, we notice that concentrations grow simultaneously. To support our hypotheses, we measured the nitrates in the soil and in the water. Thus, we observe that measured nitrate in the soil present an oscillating concentration varies between 13 and 151 mg / kg with an average value of 36.9 mg / kg in dry matter. Total phosphorus in soil in the plowed horizon (0-20 cm) varies from 0.1 g / kg to 0.9 g / kg with an average value of 0.26 g / kg which reflecting the richness of phosphorus in soils. It is the result of the development of intensive agriculture practiced in the region. The latter required the intensive use of synthetic fertilizers by farmers. In waters, the average nitrate concentrations at WadiMaiz and Zimba in the dry periods are below the norm, contrary, we present a net increase in the levels during flood events due to 80 to 115 mg / l for OuedMaiz and 76 to 78 mg / l for OuedZimba, these high levels indicate a nitrate re-solution during runoff.

**Key words :** Pollution, Nitrates, Fluorine, Irrigation, Guelma.

## 1. INTRODUCTION

Le périmètre irrigué de Guelma est l'un des plus importants du pays, depuis sa mise en service en 1996 la problématique liée à la qualité des eaux d'irrigation à partir de l'Oued Seybouse et l'utilisation abusive des fertilisants et pesticides est posée. Certes, cette intensification a un effet positif sur les rendements agricoles, mais elle présente cependant des incidences négatives en matière de dégradation de la qualité aussi bien des sols que d'autres milieux récepteurs, notamment les eaux souterraines et de surfaces du bassin. Tous les points d'eau (forages, puits et sources) sont implantés au sein même du périmètre irrigué et constituent la source en eau potable et fiable pour les habitants de la ville de Guelma, les fertilisants peuvent ensuite être soumis à des phénomènes de transport et atteindre les eaux de surfaces et souterraines.

En plus des activités agricoles, le bassin de Guelma est le siège d'autres activités industrielles et urbaines dont les rejets sont déversés sans traitement préalable dans les principaux affluents (Oued Maiz et Zimba) de l'Oued Seybouse qui traverse le périmètre irrigué de Guelma-Bouchegouf de l'Ouest vers l'Est, en drainant toutes les charges polluantes (urbaines, industrielles et agricoles).

## 2. CADRE PHYSIQUE

La région de Guelma dont fait partie la zone étudiée est située au Nord-Est algérien avec une superficie de 3 686,84 km<sup>2</sup>, reliant le littoral des Wilaya de Annaba, El Tarf et Skikda, aux régions intérieures telles que les Wilaya de Constantine, Oum El Bouaghi et Souk Ahras. Elle appartient au sous bassin de la Seybouse.

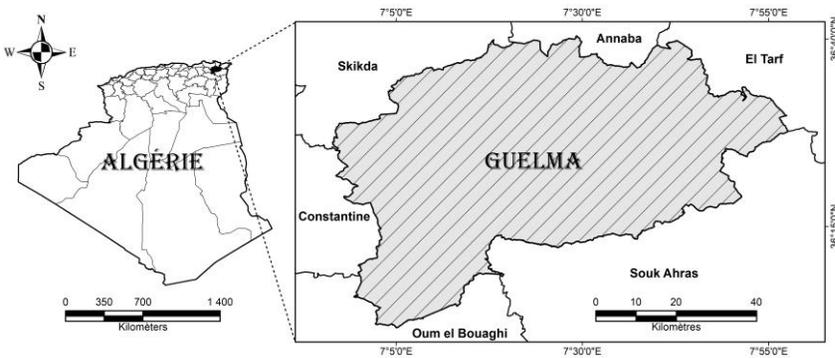


Fig.1- Carte de localisation géographique de wilaya de Guelma.

## 3. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du bassin de la seybouse moyenne - Guelma (fig.2) est constitué par le seul cours d'eau important, qui est l'Oued Seybouse. Par ailleurs sur la rive droite, la Seybouse reçoit l'Oued Skhoun, qui passe au pied de la ville de Guelma, l'Oued Maïz avec une longueur de 10.16 Km, qui forme limite entre cette commune et Belkheir, puis en aval l'Oued Zimba et l'Oued Bou Sorra de 16.32 Km descendant du versant oriental du massif de la Mahouna.

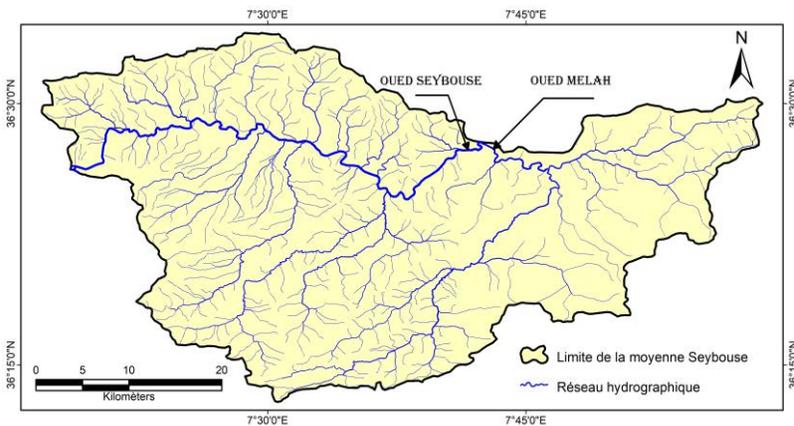
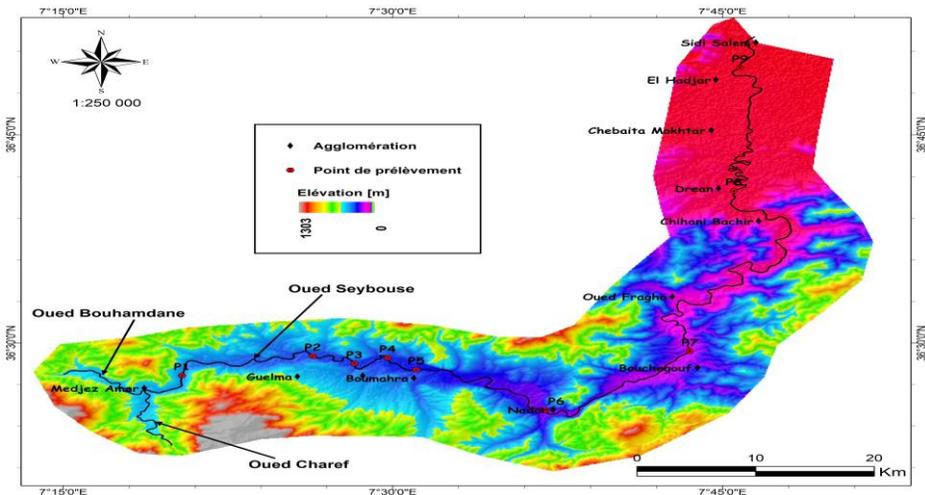


Fig.2- Carte du réseau hydrographique de la moyenne Seybouse.

Les cours d'eau alimentant ou drainant le sous bassin versant de Guelma sont entaillés dans des formations géologiques d'âge Moï-Pliocène et quaternaire, elles correspondent à des accumulations alluvionnaires pouvant constituer des réservoirs d'eau importants. Les structures intensément faillées de la région ont participé à l'effondrement et au creusement du bassin de Guelma, dans lequel se sont accumulés les dépôts. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspond à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres.

#### 4. MATERIEL ET METHODES

Pour réaliser notre travail, nous nous sommes intéressés simultanément à l'eau d'irrigation et au sol. Nous avons dosé les éléments chimiques majeurs, les nutriments et quelques polluants. Les techniques suivantes ont été utilisées : Les anions (nitrates, chlore, fluor et sulfate) ont été dosés par chromatographie ionique-DIONEX DX120. Les cations (magnésium, calcium, potassium et sodium) par l'émission atomique-ICP, NF EN ISO 11885 (2007) et le phosphate total par colorimétrie, ISO 6878 (2004). La chromatographie ionique (DIONEX DX120) basée sur la chromatographie ionique, permet de quantifier des anions tels que les fluorures, les chlorures, les nitrates et les sulfates dans notre cas. L'analyse des cations s'est faite par l'émission atomique ICP, NF EN ISO 11885. Le Spectromètre d'Émission Optique Couplé à Plasma Inductif (ICP-OES) permet le dosage des cations majeurs de l'ordre du mg/l dans des échantillons liquides.



Carte d'emplacement des points de prélèvement

#### 5. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le dépouillement des résultats des analyses chimiques, nous permettent de faire les constatations suivantes, tableau I.

Tableau I : Indications statistiques sur les paramètres analysées.

Paramètres/Statistique	Conductiv	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
Min	1108	290.33	162.2	156.8	28.93	81.2
Max	2183	760.35	299	186	64.34	204.14
Moyenne	1574	447.04	232.06	167.13	41.24	138.49

L'observation du précédent tableau montre que les eaux de la nappe superficielle de Guelma, sont riches en chlorures, en sulfates et en calcium. Ces trois éléments sont à l'origine de la minéralisation observée. Nous avons également analysés les nitrates et le fluor en différents points de l'Oued Seybouse. Les diagrammes réalisés, nous permettent de suivre l'évolution des éléments au niveau du cours d'eau.

### Variations des nitrates au niveau de la Seybouse

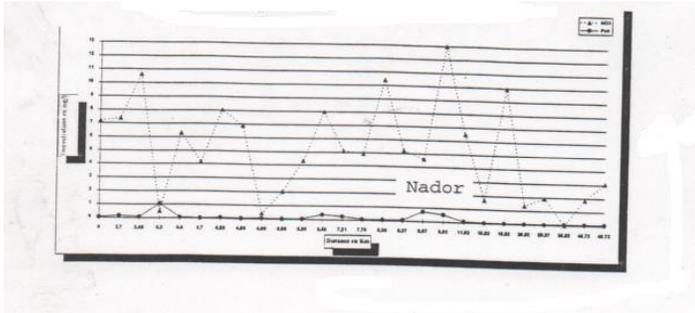


Fig.3 : Variations des nitrates le long de l'Oued Seybouse.

Le diagramme figure 3, montre que les nitrates présentent de fortes concentrations à Guelma et à Nador. Ceci est lié à l'utilisation massive des engrais.

### Variations du fluor au niveau de la Seybouse

Le fluor se trouve en quantité importante dans les eaux prélevées à Belkheir figure 4. Nous notons qu'au niveau de cette localité, nous dénombrons la présence d'unités de fabrications de carrelages. La présence du fluor dans ces eaux s'explique par le fait que le fluor rentre dans la fabrication du carrelage.

L'observation de la figure 3, montre que plus on s'éloigne de la région de Guelma plus les concentrations du fluor dans les eaux diminue, ce qui met en évidence un piégeage de l'élément fluor par le sol.

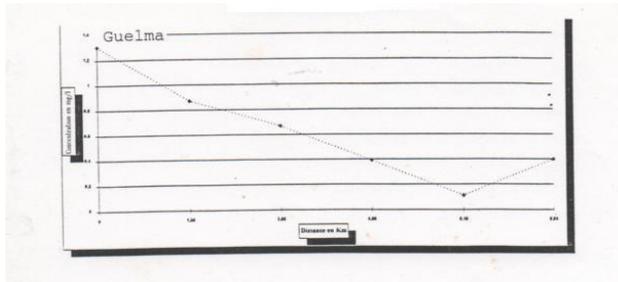


Fig.4 - Variations du fluor le long de l'Oued Seybouse.

### Les risques pour le fluorure dans les eaux souterraines

Environ un tiers de la population mondiale consomme de l'eau potable provenant des nappes phréatiques. Un nombre approximatif de 300 millions de personnes puisent leur eau dans des nappes phréatiques fortement polluées par de l'arsenic et du fluorure. Ces éléments traces sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent des roches et des sédiments lessivés par l'eau. Cependant pour le cas présent les usines de carrelage situées sur l'Oued Zimba, rejettent leurs eaux sans prétraitement au niveau de l'Oued, qui lui-même se déverse dans la Seybouse. Ces quantités déterminées ne reflètent pas la réalité car une partie du fluor demeure piégée par le sol.

### CONCLUSION

La zone d'étude se caractérise par sa vocation agro-industrielle, ceci se répercute sur la qualité des eaux particulièrement quand les rejets se font sans aucun prétraitement. La présente étude montre que les eaux de la région sont fortement polluées par les nutriments et le fluor.

### Références

- [1] T. Nouar, Impact de la pollution sur les ressources en eau superficielles et souterraines de la région de Guelma, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba 2007.
- [2] N. Kachi, Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba 2015.
- [3] N. Mouchara, Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (nord-est algérien), Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba 2009.

## Essai de cartographie de la vulnérabilité des eaux à la pollution de la plaine de TEBESSA par l'utilisation de la méthode DRASTIC et la méthode de PUSALTI

Abderahmane Yahil<sup>2</sup>, Akram Soltani<sup>2</sup>, Larbi Djabri<sup>2</sup>, Younes Hamed<sup>1</sup>, Hamza Bouguerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Gafsa-Tunisie. [hamed.younes@yahoo.fr](mailto:hamed.younes@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Laboratoire ressource en eau et développement durable REDD, Université Badji Mokhtar  
Annaba. Algérie. Auteur correspondant : [djabri.larbi@yahoo.fr](mailto:djabri.larbi@yahoo.fr)  
E-mail : [ayahil992@gmail.com](mailto:ayahil992@gmail.com)

### Résumé

Les résultats issus de la méthode DRASTIC, montrent la présence de trois zones à vulnérabilité variables. On dénombre la zone a faible vulnérabilité dont l'indice I est inférieur à 100; son extension est faible et se localise sur les bordures du terrain et es constituée particulièrement de calcaires fissurés et compactes. De ce fait cette zone est à l'abri de toute forme de pollution. La deuxième zone dite de vulnérabilité moyenne où  $100 < I < 150$ , occupe pratiquement la totalité du terrain, caractérisée par la présence de formations alluvionnaires plus ou moins riches en argile. La perméabilité est de l'ordre de  $10^{-5}$  m/s. La troisième et dernière zone est dénommée zone à vulnérabilité importante car l'indice I est important ( $I > 150$ ), reste de faible et se localise au niveau de l'Oued Kebir. La perméabilité  $10^{-3}$  m/s, forte et joue rôle d'un accélérateur de la pollution vers les nappes profondes. Nous travail se complété par l'utilisation de la méthode de PUSALTI, se basant sur la cartographie hydrochimique des chlorures, des nitrates, des sulfates et du sodium. On aboutit ainsi à des cartes de sensibilité par rapport aux eaux d'irrigation et eaux de consommation.

Les eaux destinées à l'AEF sont caractérisées, dans la majeure partie de la zone d'étude, par une sensibilité très forte. Les zones de forte sensibilité sont localisées au centre de la zone. Avec des zones de faible et de très faible sensibilité au sud de la plaine de Tébessa.ces résultats sont superposables à ceux obtenues par les cartes des Chlorures et de Nitrates renforçant l'hypothèse d'une pollution par les nitrates et les chlorures en excès dans l'eau souterraine de la zone étudiée.

**Mots clés :** Pollution, TEBESSA, Vulnérabilité à la pollution, DRASRIC, PUSALTI, Indice, Cartographie.

## Trial of the mapping of the vulnerability of the waters to the pollution of the plain of TEBESSA by the use of the DRASTIC method and the PUSALTI method

### Abstract

The results from the DRASTIC method, show the presence of three zones with variable vulnerabilities. There is a low-vulnerability area with an index I of less than 100; its extension is weak and is localized on the borders of the ground and is constituted especially of cracked and compact limestones. As a result, this area is protected from any form of pollution. The second so-called medium vulnerability zone, where 100 to 150 occupies practically the entire terrain, is characterized by the presence of alluvial formations more or less rich in clay. The permeability is of the order of  $10^{-5}$  m/s. The third and last zone is a considerable vulnerability zone because the index I is important ( $I > 150$ ), stays low and is located at the Kebir wadi level. The permeability  $10^{-3}$  m/s is a strong and plays a role of an accelerator of the pollution towards the deep layers. Our work is complemented by the use of the Pusalti method which is based on the hydrochemical mapping of chlorides, nitrates, sulphates and sodium. This leads to sensitivity maps in relation to irrigation and drinking water. The supplied water for domestics is characterized as very strong sensitivity in most of the studied area. Areas of high sensitivity are located in the center. With zones of low and very low sensitivity in the south of the plain of Tébessa, these results are superposable to those obtained by the maps of Chlorides and Nitrates zchich they are strengthening the hypothesis of pollution by nitrates and chlorides in excess of underground water of the study area.

**Key Words:** Pollution, TEBESSA, Vulnerability to pollution, DRASRIC, PUSALTI, Index, Cartography.

## 1. INTRODUCTION

Les eaux souterraines et les eaux de surface constituent une ressource économique importante et un patrimoine écologique sensible qu'il importe de gérer et de préserver. La protection naturelle des eaux souterraines est assurée par un ensemble de conditions d'alimentation, de gisement et d'écoulement, définissant le degré de vulnérabilité de l'aquifère. Un grand nombre de modèle déterministes existe, permettant de suivre l'évolution et le comportement des polluants dans le milieu souterrain. Ces modèles sont peu utilisables, exigeant une masse importante d'informations faibles souvent non disponibles. L'introduction du concept de la vulnérabilité des eaux à la pollution exprime la sensibilité de la nappe aux différents agents pollueurs. L'étude de la vulnérabilité s'adapte efficacement en insuffisance des données.

## 2. CADRE GEOGRAPHIQUE

Tébessa, ville frontalière avec la Tunisie, est située à l'extrême Nord-est, aux portes du désert, à environ 230 Km au Sud de Annaba sur la côte méditerranéenne. La région est limitée au Sud par le secteur de Biskra, à l'Ouest par celui de Constantine et à l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne. La plaine de Tébéssa est entourée au Nord par les monts de Dyr et Dj bou-rabaia et au Sud par les monts de Dj Bouroumane, Dj Anoual, et Dj Ozmor, elle est drainée par les oueds EL kebir et Chabro. La région de Tébéssa fait partie de la structure autochtone Nord-aurésienne (Aurès Nememcha) de l'atlas saharien. Elle est de :

- Une formation triasique diapirique disloquant des formations au niveau du Djebel Djebissa
- Des formations carbonatées représentées par d'importantes couches calcaire-marneuses et de marnes d'âge Crétacé à Tertiaire. Certaines de ces formations sont observables au niveau des bordures de la plaine de Tébéssa – sujet de cette étude.
- Un important dépôt alluvionnaire Mio-Plio-quaternaire qui repose en discordance avec les formations précédentes et forme ainsi le remplissage de la dépression, actuellement la plaine. Cette formation est observable surtout au piedmont des reliefs accidentés.

Les précipitations enregistrées sur 103 années, donnent une valeur moyenne de 347mm/an.

## 3. LA PIEZOMETRIE DES PUIITS DOMESTIQUES

L'observation de la morphologie de la carte piézométrique des hautes eaux (mars 2008) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait, en général, suivant une direction du Sud-est vers le Nord-est (fig.2). L'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Kebir qui draine les eaux de surface. A l'est, les courbes isopièzes sont en général régulier, indiquant un gradient hydraulique, de l'ordre de 0.05. Dans la zone centrale, les courbes se trouvent espacées suite à un gradient hydraulique faible, de l'ordre de 0.002. La région d'Ain Chabro à l'ouest, présente une allure dépressive qui est due aux effets de pompage. On pense que la variation du gradient hydraulique est due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie.

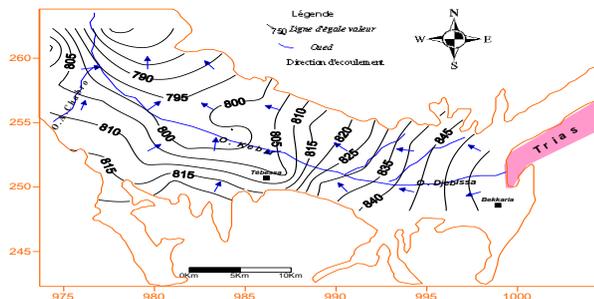


Fig. 1 - Carte piézométrique de la plaine de Tébéssa (Mars 2008)

## 4. MATERIELS ET METHODES

Deux approches seront utilisées pour traiter la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution ; la méthode DRASTIC et la méthode de PUSALI, cette dernière repose sur le calcul de l'indice de sensibilité à la pollution de l'eau (IS) est le produit de l'indice DRASTIC de vulnérabilité (IV) et de l'indice de qualité des eaux (IQ) (tolga et al, 2009).il est donné par l'expression suivante (I):

$$IS = IV * IQ \quad \dots(I)$$

L'indice DRASTIC (IV) est alors la somme pondérée des poids par les cotes des sept paramètres propres chaque région hydrogéologique. L'indexation de la sensibilité de la qualité de l'eau tient compte de la classification des eaux en cinq groupes en fonction de chaque concentration d'ions ; I : Eau très bonne, II : bonne, III : utilisable, IV : utilisable avec prudence, V : nocive.

Les limites de chaque classe utilisée pour les paramètres considérés, sont énumérées dans les tableaux I et II. L'indice de qualité ponctuelle est calculé selon la formule suivante :

$$IQ = \sum_{i=1}^n (ci) 2 \quad \dots(2)$$

## 5. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La carte globale (fig. 2) met en évidence trois zones à vulnérabilité différente :

a- la première zone caractérise une faible vulnérabilité. L'indice I est inférieur à 100. Occupe les parties calcaires (perméables) de la plaine.

b- La deuxième zone dite de vulnérabilité moyenne où  $100 < I < 150$ , occupe pratiquement la totalité du terrain, c'est le cas des formations alluvionnaires plus ou moins riches en argile. Dans cette zone, l'écoulement se fait dans la direction Est Ouest. La perméabilité est de  $10^{-5}$  m/s.

c- La troisième zone est dénommée zone à vulnérabilité forte, l'indice  $> 150$ . Son extension est faible et elle se localise au niveau de l'Oued Kebir caractérisé par l'affleurement de la nappe par contre la région de l'Oued Chabro constituée de cailloutis indiquant une très forte perméabilité  $10^{-3}$  m/s constituant un accélérateur de la pollution vers les nappes profondes.

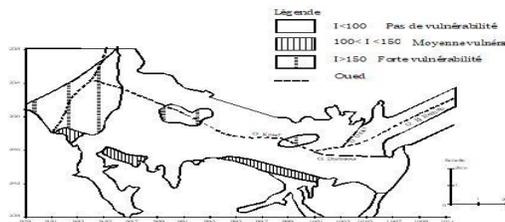


Fig.2 - Carte de vulnérabilité a la pollution

La carte de vulnérabilité élaborée par la méthode DRASTIC constitue le premier résultat. Nous allons utiliser les résultats obtenus à partir des analyses chimiques des eaux ce qui nous permettra de cerner au niveau les processus de pollution dans une zone relativement vulnérable

### -Cartographie Des Elements Chimiques :

#### -Carte Des Chlorures:

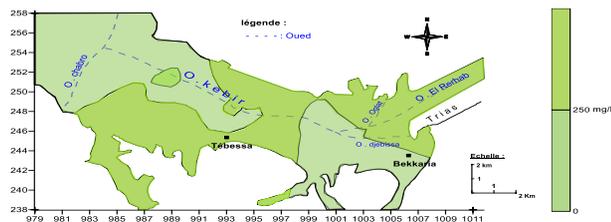


Fig. 3 - carte des chlorures.

L'étude hydrochimique a mis en évidence une pollution des eaux par les chlorures. L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celle des autres éléments. Il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques, est resté très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution. On retrouve la même répartition pour les nitrates et les sulfates.

### Cartes des indices de sensibilité

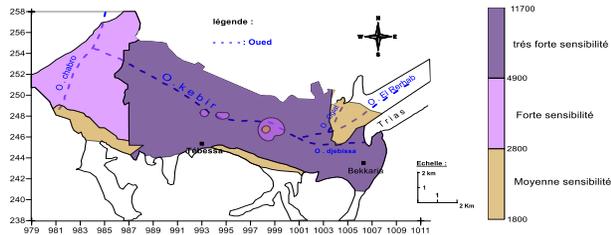


Fig.4 - Carte des indices de sensibilité de l'eau d'irrigation de la nappe alluviale de Tébessa.

L'eau a une mauvaise qualité dans la majeure partie de la zone d'étude avec un indice de sensibilité supérieure à 4900 (très forte sensibilité). Ceci est confirmé par les cartes des Chlorures (fig 3) qui mettent en évidence une pollution d'origine essentiellement anthropique associée au lessivage des formations en contact avec l'eau souterraine. La zone de forte sensibilité est localisée à l'Ouest de la zone d'étude avec un indice de sensibilité compris entre 2800 et 4900. Les zones de moyenne sensibilité (inférieure à 2800) sont très peu représentées dans la nappe et sont localisées au sud et à l'Est de la zone d'étude.

### La carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'AEP

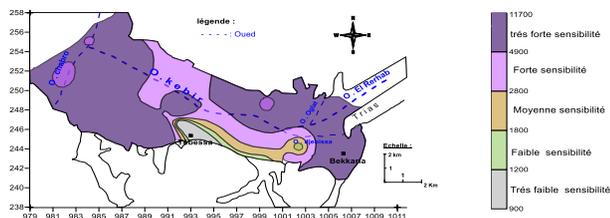


Fig.5 - Carte des indices de sensibilité de l'eau destinée à l'AEP de la nappe alluviale de Tébessa.

Les eaux destinées à l'AEP sont caractérisées, dans la majeure partie de la zone d'étude, par une sensibilité très forte. Les zones de forte sensibilité sont localisées au centre de la zone. Avec des zones de faible et de très faible sensibilité au sud de la plaine de Tébessa. Ces résultats sont superposables à ceux obtenus par les cartes des Chlorures (fig 3) renforçant l'hypothèse d'une pollution par les nitrates et les chlorures en excès dans l'eau souterraine de la zone d'étude.

### CONCLUSION

La combinaison du modèle DRASTIC et de la méthode d'indexation de la qualité des eaux a permis de compiler les données hydrogéologiques et hydrochimiques. Deux cartes de sensibilité sont élaborées, résultat du croisement des deux méthodes, la carte de sensibilité des eaux d'irrigation et celle des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. La comparaison des résultats obtenus permet de conclure que, non seulement, la méthode d'indexation identifie l'existence d'une pollution des eaux mais constitue aussi un outil appréciable d'aide à la décision dans les domaines de l'hydraulique et de l'environnement.

### Références

- [1] L. Djabri, Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement de Tébessa - Essai de modélisation, Thèse de doctorat, Université des Sci. et Tech. de Franche-Comté-Besançon 1987.
- [2] N. Sedrati, L. Djabri, H. Chaffai, N. Bougherira, Assessment of groundwater vulnerability by combining drastic and susceptibility index: Application to Annaba superficial aquifer (Algeria)... 2015.
- [3] Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability AIP Conf. Proc. 1758, 030012-1-030012-9; doi: 10.1063/1.4959408 Published by AIP Publishing. 978-0-7354-1416-7.

# Colloque – Formation Internationale



Eau-Énergie-Climat 2019 (2EC-2019)

Ressources en Eau, Énergie et Changement Climatique

Hammamet, le 16 au 21 Décembre 2019



[WWW.jistee.org](http://WWW.jistee.org)

[jistee@yahoo.com](mailto:jistee@yahoo.com)

[jistee@iresa.agrinet.tn](mailto:jistee@iresa.agrinet.tn)

### **Volume N° I – Octobre 2014 : Eau-Climat'2014 (EC-2014) / Water-Climate'2014**

Numéro 1 – Avril 2014 : Ressources en Eaux de Surface en Région Méditerranéenne / *Surface Water Resources in the Mediterranean Region.*

Numéro 2 – Août 2014 : Ressources en Eaux Souterraines en Région Méditerranéenne / *Ground Water Resources in the Mediterranean Region.*

Numéro 3 – Décembre 2014 : Changements Climatiques en Région Méditerranéenne / *Climate Change in the Mediterranean Region*

### **Volume N°II – Octobre 2017 : Eau-Société-Climat'2017 (ESC-2017) / Water-Society-Climate'2017**

Numéro 1 – Février 2017 : Caractérisation qualitative et quantitative des ressources en eau / *Qualitative and quantitative characterization of water resources.*

Numéro 2 – Avril 2017 : Évaluation des ressources en eau sous les pressions de l'humanité et des changements climatiques / *Assessment of water resources under pressure from humanity and climate change.*

Numéro 3 – Juin 2017 : Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques / *Vulnerability of Water Resources to Climate Change.*

Numéro 4 – Août 2017 : Modélisation de l'impact des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau / *Modeling the impact of anthropogenic and climatic changes on water resources.*

Numéro 5 – Octobre 2017 : Modélisation Numérique en Hydraulique, Hydrologie et Hydrogéologie / *Numerical Modeling in Hydraulics, Hydrology and Hydrogeology*

### **Volume N°III – Octobre 2018 : Eau-Environnement-Climat'2018 (E<sup>2</sup>C-2018) / Water-Environnement-Climat'2018**

Numéro 1 – Avril 2018 : Gestion des Ressources en Eau / *Water Resources Management.*

Numéro 2 – Août 2018 : Sciences de l'Environnement / *Environmental Earth Sciences.*

Numéro 3 – Décembre 2018 : Changement Climatique et Adaptation / *Climate Change and Adaptation*

### **Volume N° IV – Décembre 2019 : Eau- Énergie-Climat'2019 (2EC-2019)**

Numéro 1 : Gestion Intégrée des Ressources en Eaux / *Integrated Water Resources Management.*

Numéro 2 : Énergies Renouvelables Et changements climatiques / *Renewable Energies and climate change*