

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



*Université de Ghardaïa*

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies  
Département des Sciences et Technologie

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies*

**Filière :** *Hydraulique*

**Spécialité :** *hydraulique urbain*

Par :

**MOULAYE OULD BRAHIM BRAHIM**

**BABAH MOHAMEDOU**

## **Thème**

Valorisation par séchage solaire des boues d'épuration des eaux usées  
de STEP (El \_Atteuf) wilaya de Ghardaïa

**Soutenu publiquement le : 11/06/2018**

**jury :**

<b>Azzouz Fatima Zohra</b>	<b>Enseignant Associé</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>Mechri bachir</b>	<b>Enseignant Associé</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Ouled belkher cheikh</b>	<b>Maitre Assistant A</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>Lakhdar CHEBIHI</b>	<b>Enseignant Associé</b>	<b>Univ. Ghardaïa</b>	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2017/2018**





# DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A Mes chers parents (bedidi sidi, marieme mohamedou) pour leur encouragement pendant toute la durée du stage, pour leurs sacrifices et leur réconfort moral.

A mes frères : sidi El mokhtar, tah, moud, melainine

A mes sœurs : nezihe, esma et tahya

A mes cousins et Ainsi que tous les membres de ma famille.

Et à un personne que j'aime beaucoup « Mint amrane sidi

Et Saviya babe»

Mes amis : cheibany jidoumou, hamad abdelkader, cheikh abdeselam, abderhaman.B .

Tous mes camarades de la section hydraulique

Et mon binôme brahim.hamane

Et à Toutes les personnes qui m'ont apporté Aide et Assistance de près ou de loin.



*mohamedou*



# DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A Mes chers parents (Moulaye haman, Maaly houeiriya) pour leur encouragement pendant toute la durée du stage, pour leurs sacrifices et leur réconfort moral(rabi yarhamhm).

A mes frères : mohamed, ahmed, ahmed salem, hamza

A mes sœurs : fatimetou, megboula et nane

A mes cousins et Ainsi que tous les membres de ma famille.

Et un personne que j'aime beaucoup « el ghoutoub

Ndey et Toutou»

Mes amis : cheibany jidoumou, baba, ahmed salem, abderhaman.B .

Tous mes camarades de la section hydraulique

Et mon binôme medou babah

Et à Toutes les personnes qui m'ont apporté Aide et Assistance de près ou de loin.



*Brahim*

## **REMERCIEMENT**

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science et de la connaissance.

Nous adressons mes vif remerciement à mon encadreur **Mr. lakhdar CHEBIHI** pour sa compréhension et ses conseils et ses aides. Pour sa gentillesse et ses orientations efficaces.

Je tiens également à remercier les jurys, et toutes mes enseignantes et nous remercions qu'ils bien voulurent examiner mes travaux. Leur présence va valoriser, de manière certaine, le travail que nous effectuons.

Nous adressons également mes profondes gratitude à tous les professeurs de l'université GHARDAIA en particulier ceux du département HYDRAULIQUE et Génie civil

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

# SOMMAIRE

I. Liste des tableaux

II. Liste des figures

III. Liste des photos

VI. Liste des abréviations

VII. Reference bibliographique

VIII. Résumé

**Introduction Générale.....1**

## **Chapitre I : Etude topographique et hydrologique**

I.1. situation géographique .....2

I.2. Analyse climatologique.....3

I.2.1. présentation de la station climatique.....3

I.2.2. Analyse des précipitations.....3

I.2.2.1. Précipitations annuelles.....3

I.2.2.2. Précipitations mensuelles.....4

I.2.2.3. précipitations maximales journalières.....4

I.2.3. Analyse des températures.....5

I.2.3.1. Températures moyennes mensuelles.....5

I.2.3.2. Variation des températures annuelles.....6

I.2.4. relation précipitations – température.....6

I.2.4.1. Indice de de Martonne.....6

I.2.4.2. indice d'emberger.....7

I.2.5. Etude de l'évaporation.....8

I.2.5.1. Evaporation mesurée.....8

I.2.5.2. évaporation réelle.....	9
I.2.6. les vents .....	10
I.2.6.1. les vents d'origine nord.....	11
I.2.6.2. les vents d'origine est.....	11
I.2.6.3. les vents d'origine ouest.....	11
I.3. Hydrographie et relief.....	12
I.4. Description hydrologique.....	12
I.4. Description géologique.....	13
I.5. Description hydrogéologique.....	15
I.5.1. Les nappes phréatiques .....	15
I.5.2. Nappe Du Continentale Intercalaire.....	15
I.6. Ressources hydriques.....	16
I.6.1. Eaux de surface .....	17
I.6.2. Eaux souterraines.....	17
I.6.2.1. Nappes phréatiques.....	17
I.6.2.2. Nappe du continental intercalaire.....	17
I.6.2.3. La nappe du complexe terminal.....	18
<b>Chapitre II : Sol et végétation</b>	
II.1. NATURE DU SOL, CULTURES ET VEGETATIONS.....	20
II.1.1. Le sol.....	20
II.1.2. Cultures.....	20
II.1.3. Végétation.....	20
II.2. Estimation Et Evaluation De La Population.....	21
II.3. Besoin en eau et rejet.....	22

II.3.1. Situation Des Réseaux De La Ville.....	22
II.3.2. Alimentation en eau potable.....	22
II.3.3. Réseau d'assainissement.....	22
II.3.3.1. Rejet des eaux usées .....	23
II.3.3.2. Débit d'eau usée moyen journalier.....	23
II.3.3.3. Debit d'eau usée maximal journalier.....	23
II.3.3.4. Débit moyen horaire .....	23
II.3.3.5. Calcul du débit de pointe d'eau usée qpt.....	24
 <b>Chapitre III : Présentation de la STEP kef doukhane</b>	
III.1 Présentation de la station d'épuration d'El-atteuf.....	25
III.1.1 Situation géographique.....	25
III.1.2 Dimensionnement de la STEP de Ghardaïa.....	25
III.2 Les différentes étapes de traitement des eaux usées.....	27
III.2.1 Lagunage naturel.....	27
III.2.2 Prétraitement:.....	28
III.2.3 Traitement primaire.....	29
III.2.4 Traitement secondaire .....	29
III.2.5 Traitement des boues.....	30
III.3 Evacuation des eaux traitées.....	31
III.4.1. Réseaux internes de raccordement entre bassins.....	32
III.4.1.1. By-pass des lagunes primaires.....	32
III.4.1.2. Conduites de liaison.....	32
III.4.1.3. Conduites d'alimentation des lagunes.....	32
III.4.1.4. Ouvrages d'entrée dans lagunes.....	32



III.4.1.5. Ouvrages de sortie des lagunes.....	32
III.4.2. Les répartiteurs.....	32
III.4.2.1. Répartiteurs principaux.....	32
III.4.2.2 Répartiteurs Secondaires.....	33
III.4.3 L'exutoire.....	33
III.4. Les ouvrages annexes et équipements.....	33
III.4.1. Les voies et réseaux divers.....	33
III.4.2. Le bloc administratif et le laboratoire.....	33
III.4.3. Les équipements.....	34
III.5. Résumé des principales caractéristiques de la STEP.....	34

#### **Chapitre IV : Modélisation de séchage solaire des boues d'épuration**

IV.1- Introduction.....	36
IV.2. Terminologie de séchage.....	36
IV.2 .1. Humidité.....	36
IV.2 .2. Taux d'humidité.....	36
IV.2 .3. États de siccité.....	36
IV.2 .4. Taux d'humidité à l'équilibre.....	37
IV.2.5. Corps hygroscopique .....	37
IV.2 .6. Les différents modes de liaison de l'eau.....	37
IV.2 .7. Energie de liaison – chaleur de vaporisation.....	38
IV.2 .8. Transferts de chaleur.....	38
IV.2.8.1- Séchage par convection.....	38
IV.2.8.2- Séchage par conduction.....	40
IV.2.8.3- Séchage par rayonnement.....	40

IV.3- Place du séchage dans une optique valorisation.....	41
IV.3.1- Séchage et épandage.....	41
IV.3.2- Séchage et valorisation énergétique.....	42
IV.3.3- Déshydratation par séchage solaire des boues.....	42
IV.3.4- Avantages du séchage solaire.....	42
IV.4- Problématique actuelle du séchage solaire.....	43
IV.4.1- Différents procédés de séchage solaire.....	43
IV.5-Modélisation.....	44
IV.5.1- Courbe caractéristique de séchage.....	45
IV.5.2- Model numérique de séchage solaire sous serre.....	45
IV.6.1- Description du modèle.....	46
IV.6.2- Analyse physique du modèle.....	47
IV.6.2.1- Représentation des composants de la serre.....	47
IV.6.2.2- Ecriture des bilans thermiques et massiques.....	49
IV.7 Conclusion.....	51
<b>Chapitre V : Application numérique</b>	
V.1- Introduction.....	53
V.2. L'obtention des courbes de séchage.....	54
V.3- Conclusion.....	63
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>65</b>

## Liste de tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques des Précipitations Moyennes Annuelles.....	3
Tableau I.2 : Caractéristiques des Précipitations Moyennes Mensuelles.....	4
Tableau I.3 : Caractéristiques des Précipitations Maximales Journalières.....	5
Tableau I.4 : Evaporation moyenne mensuelle (mm).....	9
Tableau I.5 : Moyenne mensuelles des vitesses maximal du vent.....	11
Tableau II.6 : Estimation du nombre d'habitant de la vallée du M'Zab.....	22
Tableau II.7 : Situation des réseaux de la vallée du M'Zab.....	22
Tableau II.8 : Débits d'eau usée pour les différents horizons.....	24
Tableau III.9 : les données de bases de la STEP (STEP Ghardaïa, 2013).....	26
Tableau III.10 : Caractéristiques de la STEP KafEddoukhane.....	35
Tableau IV.11 Récapitulatif de la notation des flux.....	5

## Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique(ANRH, 2007).....	2
Figure I.2 : Précipitations Moyennes Mensuelles.....	4

Figure I.3 : Variation de la Température Moyenne Mensuelle.....	6
Figure I.4 : Variation entre Températures Moy., Min. et Max.....	6
Figure I.5 : Abaque De Demartonne.....	7
Figure I.6 : Evaporation moyenne mensuelle.....	9
Figure I.7 : Hydrographie et relief du Ghardaïa (Achour, ANRH).....	12
Figure I.8 : Carte géologique (région du M'Zab) (Achour, ANRH).....	14
Figure I.9 : Coupe hydrogéologique du système aquifère CT et du CI.....	15
Figure I.10 : Carte piézométrique du continental intercalaire.....	16
Figure I.11 : Coupe hydrogéologique du système aquifère ; le continental.....	18
intercalaire et le complexe terminal (UNESCO, 1972).....	18
Figure I.12: Coupe hydrogéologique transversale du complexe terminal.....	19
(UNESCO ,1972).....	19
Figure III.13.Situation géographique de la STEP Google earth, 2013).....	25
Figure III.14 : Vue aérienne de la STEP d'EL-ATTEUF.....	27
Figure III.15 Vue générale de step de kef EDDOUKHANE.....	31
Figure IV.16 Schéma de mécanismes dans un modèle de sécheur solaire.....	47
Figure V.17 -Schéma d'une serre ouverte a convection libre.....	53
Figure V.18 - Schéma d'une serre fermée a convection forcée.....	54
Figure V.19 - Courbes de séchage représentant l'évolution des teneurs en eau sur base sèches, en fonction du temps.....	56
Figure V.20- Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de l'air intérieur en fonction du temps.....	57
Figure V.21- Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de couverture en fonction du temps.....	58
FigureV.22 Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de boue en fonction du temps.....	59

Figure V.23- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur les teneurs en eau en fonction du temps.....	60
Figure V.24- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur la température de l'air intérieur en fonction du temps.....	61
Figure V.25- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans.....	62
Figure V.26- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur la température de boue en fonction du temps.....	63

## **Liste des photos**

Photo III.1 : Collecteurs d'amenée des eaux usées.....	28
Photo III.2 dessableur et dégrilleur.....	29
Photo III.3 : lagunes primaires et secondaires.....	30

Photo III.3 Lit séchage.....	30
Photo III.3 : rejet final vers oued M'Zab.....	31
Photo III.4 : L'exutoire de la STEP KafEddoukhane.....	33

# Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence nationale des Ressources hydriques

D : Dotation journalière en eau potable de la ville de Ghardaïa.  $D = 200\text{l/j/hab.}$

DBO : demande biologique d'oxygène

DCO ; demande chimique en oxygène.

O.N.M : Office National Météorologique

ONA : l'office national d'assainissement

$P_n$  : Nombre d'habitants dans l'horizon d'étude.

$Q_{eu\ maxj}$ : Débit d'eau usée maximal journalier.

$Q_{eu\ dom}$  : Débit eau usée moyen journalier domestique.

$Q_{eu\ éq}$  : Débit eau usée moyen journalier d'équipements

$Q_{eu\ moyj}$  : Débit d'eau usée moyen journalier ( $\text{m}^3/\text{j}$ ).

$Q_{eu}$  : Débit moyen d'eau usée.

$Q_{moyh}$  : Débit moyen horaire.

$Q_{pt}$  : Débit de pointe ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$L_v$  : chaleur latente de vaporisation d'eau ( $\text{J/kg}$ )

$T_s$  : Température de surface °C

$X_{eq}$  : Teneur en eau à l'équilibre  $\text{kg eau} / \text{kg (MS)}$

$A_w$  : activité de l'eau (-)

$T_1(\text{K})$  : Température de la source émettrice,

$T_2(\text{K})$  : température du produit,

$A_1$  : ( $\text{m}^2$ ) surface du corps recevant le rayonnement,

$A_2$  : ( $\text{m}^2$ ) surface de l'émetteur d'infrarouge

$\frac{dT_s}{dl}$ : Gradient de température entre la paroi chaude et le produit

Pr : le nombre de Prandtl

$\lambda_a$  : la conductivité thermique de l'air

IndF = indice correspondant à la nature du flux

IndE = indice correspondant à l'élément émetteur

IndR = indice correspondant à l'élément récepteur

$\phi_{Rc}$  = flux net de rayonnement solaire reçu par la couverture

$\phi_{Icv}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la voûte céleste

$\phi_{Icb}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la boue

$\phi_{Ccae}$  = flux convectif de la couverture vers l'air extérieur

$\phi_{caic}$  = flux convectif de l'air intérieur vers la couverture

$\phi_{ic}$  = flux d'accumulation d'inertie thermique de la couverture

$\phi_{cbai}$  = flux convectif de la boue vers l'air intérieur

$\phi_{Rb}$  = flux net de rayonnement solaire reçu par la boue

$\phi_{Ibc}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la couverture

$\phi_{Cbai}$  = flux convectif de la boue vers l'air intérieur

$\phi_{ib}$  = flux d'accumulation d'inertie thermique de la boue

m = flux massique d'eau évaporée de la boue

$P_0$  : Nombre d'habitants

t : Taux d'accroissement en %

n : Nombre d'années entre deux horizons.



## *Introduction générale*

Le séchage des boues issues des opérations d'épuration des eaux usées peut se faire par plusieurs méthodes : lits de séchage, presses mécaniques... où les résultats peuvent être différents. Cependant, la production à grande échelle limite l'utilisation du séchage à air libre sous exposition solaire connu comme la méthode traditionnelle du séchage.

Cette méthode de séchage est peu précise : le manque de capacité de commander le processus correctement, incertitudes du temps, cout de main d'œuvre élevé, nécessité des zones vastes, infection par des insectes et autres corps étrangers.

L'épuration des eaux usées est un traitement par différents procédés physico chimiques pour une séparation en eau épurée et en boues. Historiquement, la création des premiers réseaux d'égouts structurés à la fin de la première XIX<sup>ème</sup> siècle, les responsables ont proposés des solutions pour lutter contre l'infection provoquée par les eaux d'égout.

Nous sommes intéressés dans ce travail à la valorisation par séchage des boues d'épuration des eaux usées gérées par l'Office National de l'assainissement, ONA – Ghardaïa en remplaçant le séchage par lit par convection naturelle séchage envisagé dans cette station par le séchage solaire sous serre. Un séchoir solaire est un dispositif permettant se sécher la boue par circulation d'air chauffé, l'apport en énergie est fourni par le solaire.

Le séchage est caractérisé par plusieurs paramètres : la température de séchage, la vitesse de séchage, la durée d'exposition le dimensionnement du dispositif de séchage, le taux de siccité (taux d'humidité), les caractéristiques des matériaux absorbants, transparents et isolants. Le mémoire est divisé en cinq chapitres

Nous présenterons dans le premier chapitre une étude topographique et hydrologique et dans le second chapitre étude de sol et végétation Le Troisième chapitre est une présentation de la STEP EL Atteuf . Le chapitre quatre est une approche générale sur la théorie du séchage et le chapitre cinq sera consacré à est une discussion sur les résultats obtenus et la validation du modèle et nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale

# *Chapitre I*

## *Etude topographique et hydrologique*

### I.1. situation géographique

La wilaya couvre une superficie de 84 660,12 km<sup>2</sup>, et une population estimée à 363 598 habitants répartie sur 13 communes .

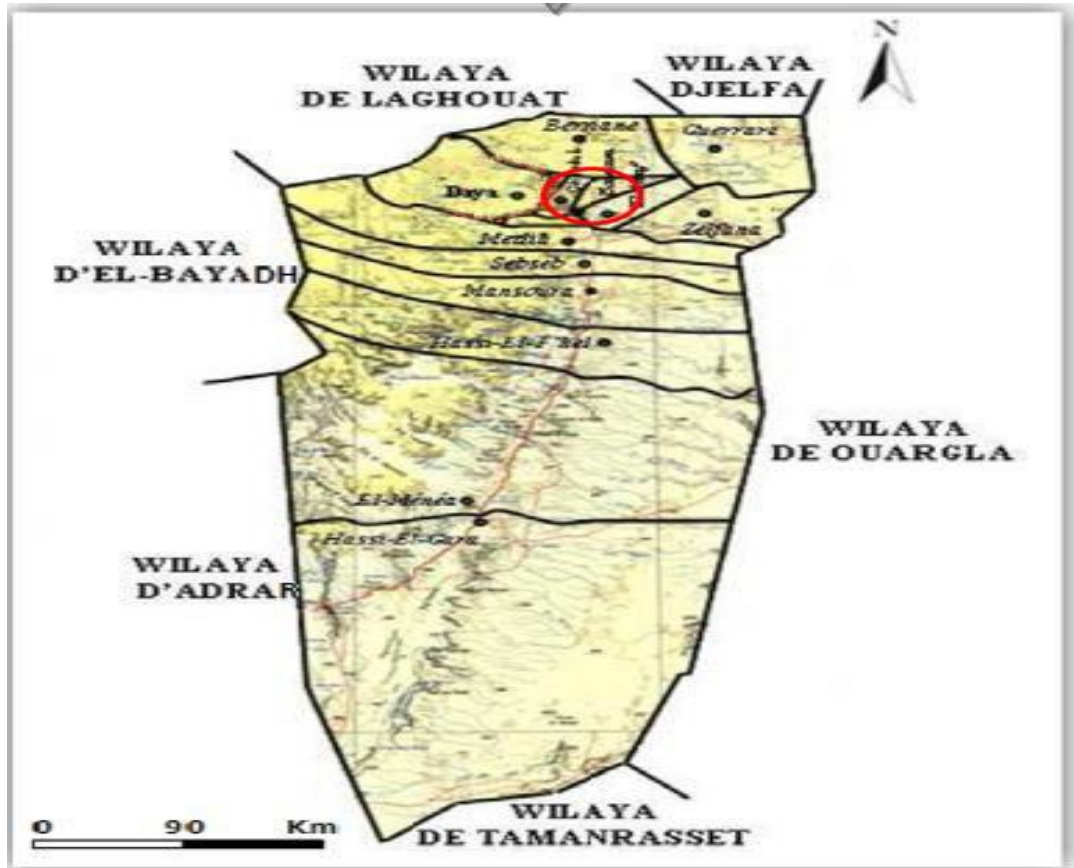


Figure N° 01 : Situation géographique(ANRH, 2007)

Elle se situe au centre du Sahara septentrional. Elle est limitée administrativement par :

- ❖ Au Nord par la Wilaya de Laghouat;
- ❖ Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa ;
- ❖ A l'Est par la Wilaya d'Ouargla;
- ❖ Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset;
- ❖ Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar ;
- ❖ A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh;

La vallée du M'Zab fait partie de la wilaya de Ghardaïa, elle est située dans l'enceinte du bassin versant, avec une superficie de 5000Km<sup>2</sup>. Il est traversé par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale mozabite, et son exutoire naturel est constitué par la sebkha Sefioune près d'Ouargla

La région du M'Zab est comprise entre 32° et 33°20" latitude Nord et 0° 40" et 2°30" longitude Est, les altitudes varient de 550 à 650 m au Nord et le Nord - Ouest, et de 330 à 450 m au Sud et le Sud Est .

## I.2. Analyse climatologique

### I.2.1. présentation de la station climatique

Cette synthèse climatique, s'appuie sur les données climatiques de la station de Noumérat (ONM-Ghardaïa), située au cœur de la zone d'étude, sur une série allant de 1973-2011.

### I.2.2. Analyse des précipitations

Les précipitations constituent un facteur essentiel pour définir le climat régnant dans la région et pour l'analyse des ressources en eau.

#### I.2.2.1. Précipitations annuelles

La pluviométrie observée à la station de Noumérat met en évidence l'importance des variations d'amplitude de la pluviométrie d'une année à l'autre.

La variation des précipitations annuelles durant la période d'observation montre l'écart important entre les valeurs extrême, signe d'une irrégularité.

Nous résumons dans le tableau N°01 les principales caractéristiques des précipitations moyennes annuelles :

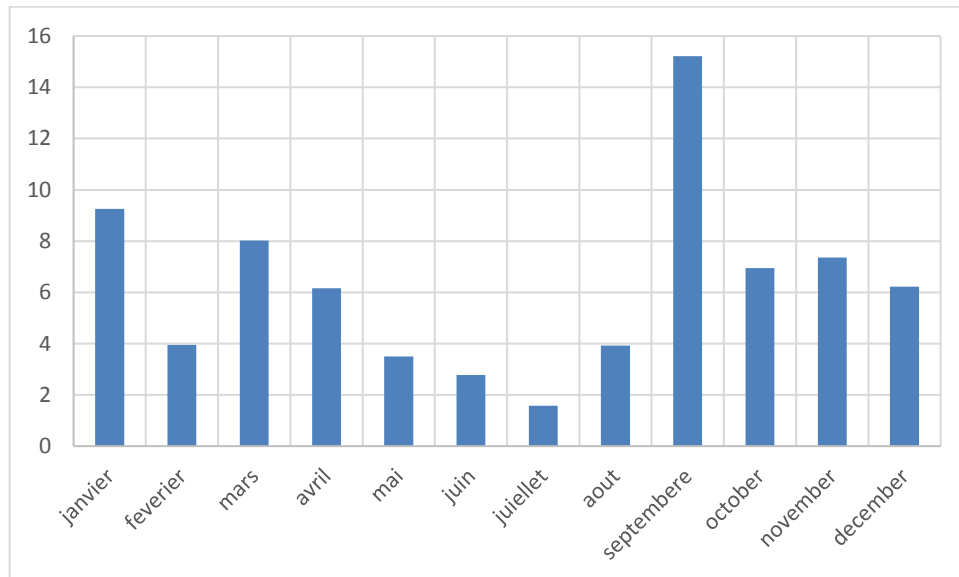
**Tableau N°01 : Caractéristiques des Précipitations Moyennes Annuelles(ONM)**

Précipitations	Valeurs
P <sub>moy</sub> Annuelle (mm)	30,7
P <sub>Min</sub> Annuelle (mm)	0
P <sub>Max</sub> Annuelle (mm)	13

Nous remarquons que la précipitation maximale annuelle peut dépasser la moyenne annuelle, signe d'une très grande irrégularité et de grands écarts des précipitations.

### I.2.2.2. Précipitations mensuelles

La pluviométrie moyenne interannuelle 1973-2016 a été évaluée à 30,7mm. Sa répartition mensuelle est donnée dans la figure 02.



**Figure N°02 : Précipitations Moyennes Mensuelles**

L'analyse de la figure met en évidence deux saisons bien marquées :

Une saison humide allant de Septembre à Mai, avec quelques maxima remarquables en Octobre, Mars et Avril.

Une saison sèche de Juin à Août, avec des minima remarquables en Juin et Juillet avec une pluviométrie pratiquement nulle sur ces deux mois.

**Tableau N°02 : Caractéristiques des Précipitations Moyennes Mensuelles (ONM)**

Précipitations	Valeurs
$P_{An}$ (mm)	30,7
$P_{Moy}$ Mensuelle (mm)	2,558333
$P_{Min}$ Mensuelle (mm)	0
$P_{Max}$ Mensuelle (mm)	13
Ecart Type	3,92
Cv	0,73

### I.2.2.3. Précipitations maximales journalières

Les précipitations maximales journalières permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes et d'estimer par conséquent un débit de crue (débit de pointe des eaux pluviales).

La série d'observation enregistrée entre 1973 et 2011 nous a permis de déduire la pluviométrie maximale journalière qui est de 43.8 mm.

**Tableau N°03 : Caractéristiques des Précipitations Maximales Journalières**

Précipitations	Valeurs
Pj max (mm)	20,20
Ecart Type	9,56
Cv	0,80

### I.2.3. Analyse des températures

#### I.2.3.1. Températures moyennes mensuelles

Nous résumons dans la figure N°03, la variation de la moyenne mensuelle des Température :

Nous remarquons que la température moyenne annuelle est égale à 19,4°C avec un minima moyen enregistré le mois Janvier de 8,6°C et un maxima moyen enregistré le mois de Juillet de 31,5°C.

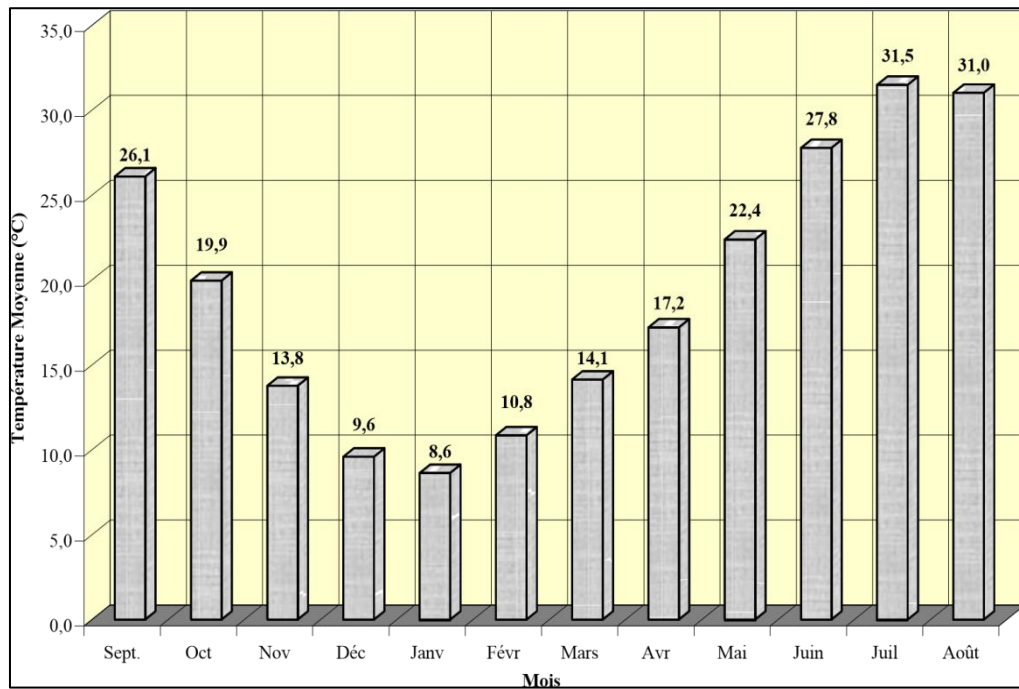


Figure N°03 : Variation de la Température Moyenne Mensuelle

I.2.3.2. Variation des températures annuelles

Nous résumons dans la figure N°04 suivant la variation entre les températures moyennes, minimales et maximales annuelles (de la station de Noumérat, sur une série allant du 1988 à 2005).

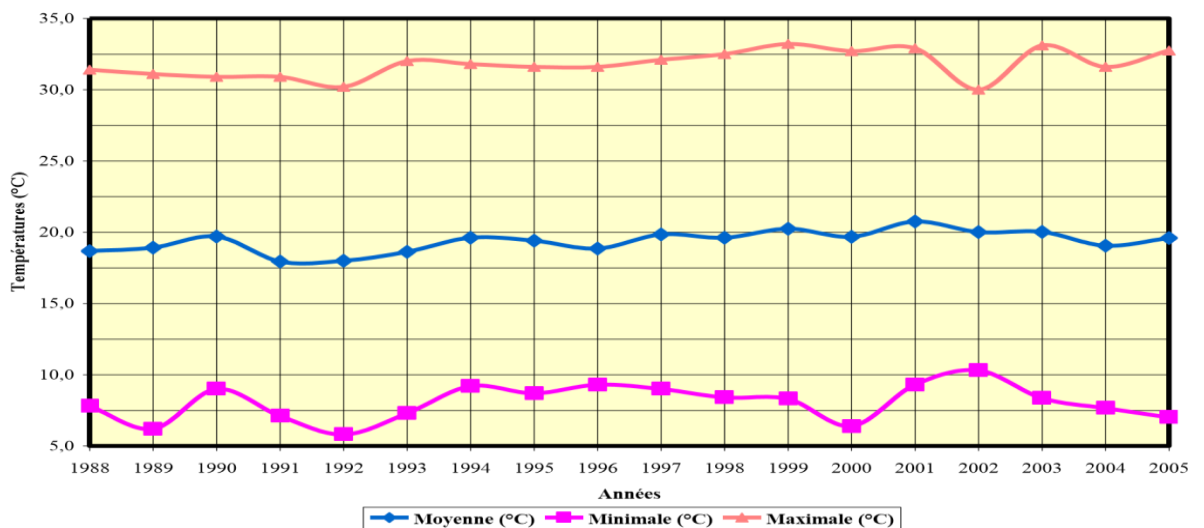


Figure N°04 : Variation entre Températures Moy., Min. et Max. [11]

Nous remarquons une symétrie entre les températures minimales et maximales par rapport à la moyenne, impliquant un climat annuellement régulier.

### I.2.4. relation précipitations - température

Les variables climatiques constituent un système complexe agissant d'une manière synthétique sur les interactions des écoulements. Plusieurs formules et approches pratiques essaient de représenter cette action synthétique du climat par des indices et des méthodes graphiques.

#### I.2.4.1. Indice De Martonne

L'indice d'aridité reporté sur l'abaque de DEMARTONNE (figure N°05), nous donnera le type du régime climatique et les conditions d'écoulement :

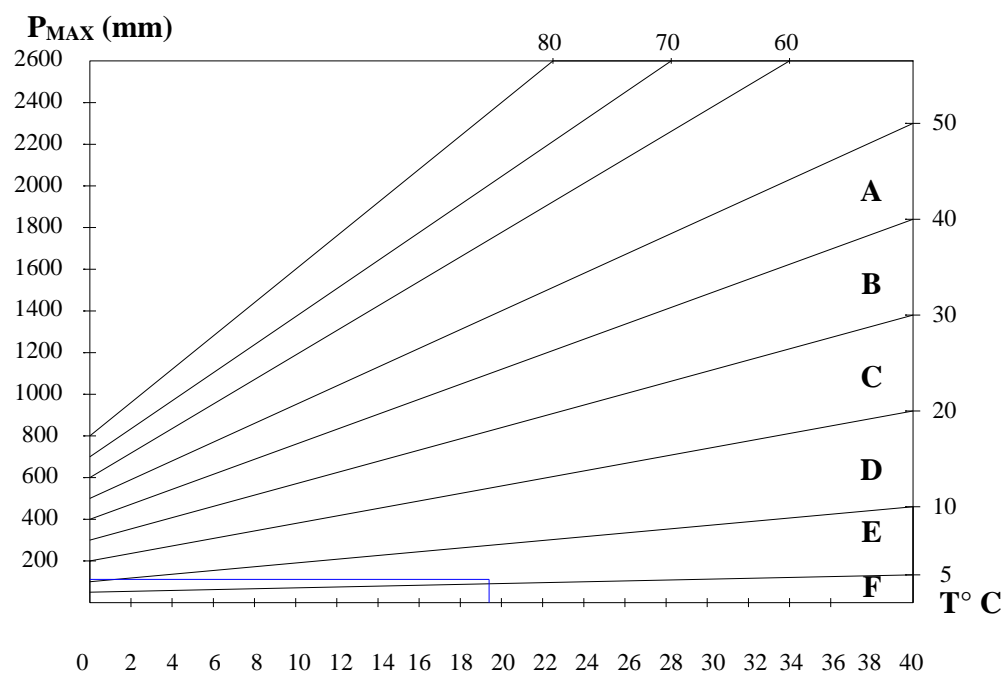


Figure N°05 : Abaque Demartonne

Zone A : Ecoulement abondant,

Zone B : Ecoulement exoréique,

Zone C : Zone tempérée, drainage extérieur, irrigation non indispensable,

Zone D : Régime semi-aride, écoulements temporaires, formations herbacées,

Zone E : Régime désertique, écoulements temporaires,

Zone F : Hyperaridité, aréisme.

Nous remarquons que la zone du site étudié appartient à la « Zone E » traduisant un régime désertique à écoulement temporaire et à formations herbacées proche du régime désertique.



**I.2.4.2.indice d’emberger**

L’indice d’Emberger nous permet de spécifier le type du climat, il dépend du quotient portant son nom et de la température moyenne minimale du mois le plus froids.

Le quotient d’Emberger est donné par la relation suivante :

$$Q = \frac{p}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)} \times 1000$$

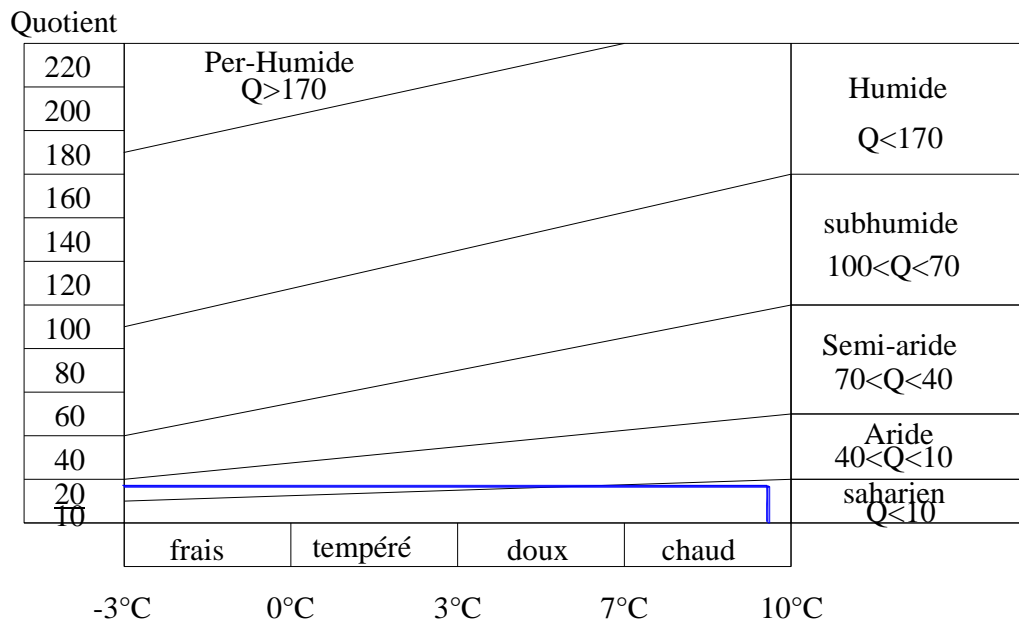
Q : quotient d’emberger(m/°C)

M :Température maximale(°C)

m :température minimale(°C)

$$Q = 16,66 m / ^\circ C$$

Nous reportons la valeur du quotient d’Emberger dans sonclimogramme sur la figure N°06



Température moyenne minimale du mois le plus froid

Figure N°06 : Climogramme d’Emberger

Selon le Climogramme d’Emberger, le climat de la région étudié appartient à une zone Saharienne.

**I.2.5. Etude de l’évaporation**

**I.2.5.1. Evaporation mesurée**

L’évaporation est mesurée journallement sur le bac type COLORADO de la station de Ghardaia (1988,2005).

Cette évaporation journalière est définie par la relation :

$$E = P \pm H$$

E : Evaporation journalière du bac en mm,

P : Précipitation en mm,

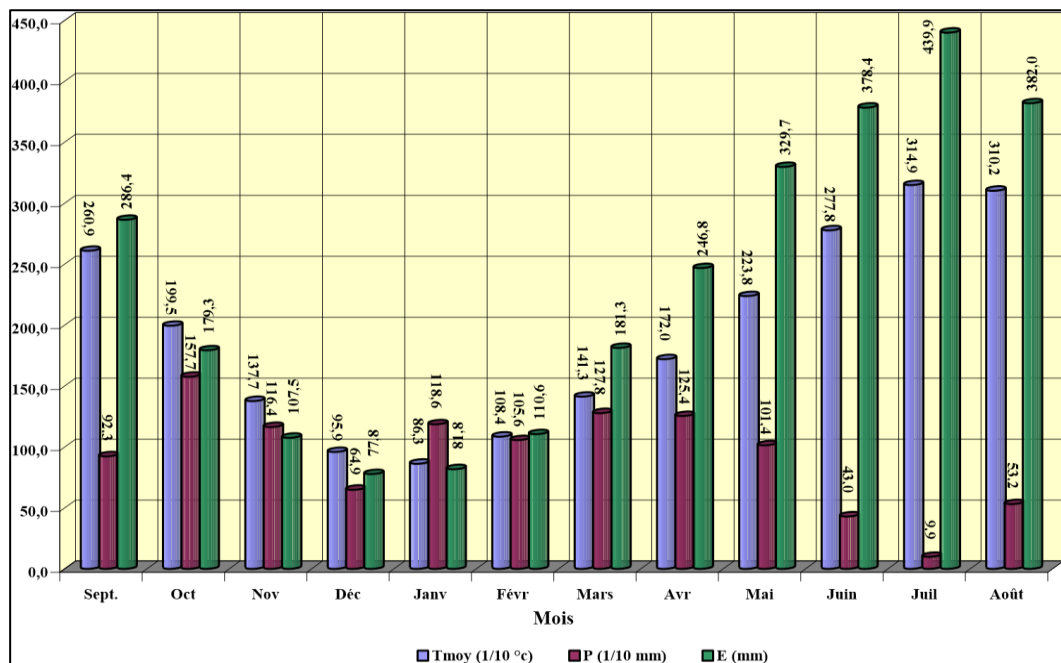
H : Hauteur d'eau ajoutée ou enlevée dans le bac (mm).

Pour notre zone d'étude, les valeurs observées de l'évaporation du plan d'eau libre sont résumées dans le tableau N°04 suivant :

**Tableau N°04 : Evaporation moyenne mensuelle (mm)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Annuel
Evap (mm)	286,4	179,3	107,5	77,8	81,8	110,6	181,3	246,8	329,7	378,4	439,9	382,0	2801,5

Nous représentons dans la figure suivante la variation de l'évaporation par rapport à la précipitation et la température.



**Figure N°07 : Evaporation moyenne mensuelle**

Nous remarquons que l'évaporation varie proportionnellement à la température et contrairement à la précipitation.

Cette évaporation est faible entre Novembre et Mars et plus faible encore entre Décembre et Janvier, c'est-à-dire durant la période humide, lorsque les précipitations sont plus élevées que les températures.

Au cours des autres mois de l'année l'évaporation est très importante enregistrant des piques très élevés allant à 440 mm le mois de Juillet.

### I.2.5.2. évaporation réelle

Ces mesures ne sont pas représentatives de l'évaporation réelle d'une surface d'eau libre. Cet écart résulte de la différence d'inertie thermique des appareils mis en place ainsi que de l'effet de paroi pour les bacs. Pour déterminer l'évaporation réelle nous sommes appelés à recourir à un coefficient correcteur (K).

D'après diverses études réalisées en Algérie et à l'aide du mémoire réalisé sur la détermination pratique de l'évaporation de (M.RTOUORSTOM) le coefficient correcteur retenu pour le bac Colorado est égal à :  $K = 0.78$ . L'estimation de l'évaporation réelle est résumée dans la figure suivante:

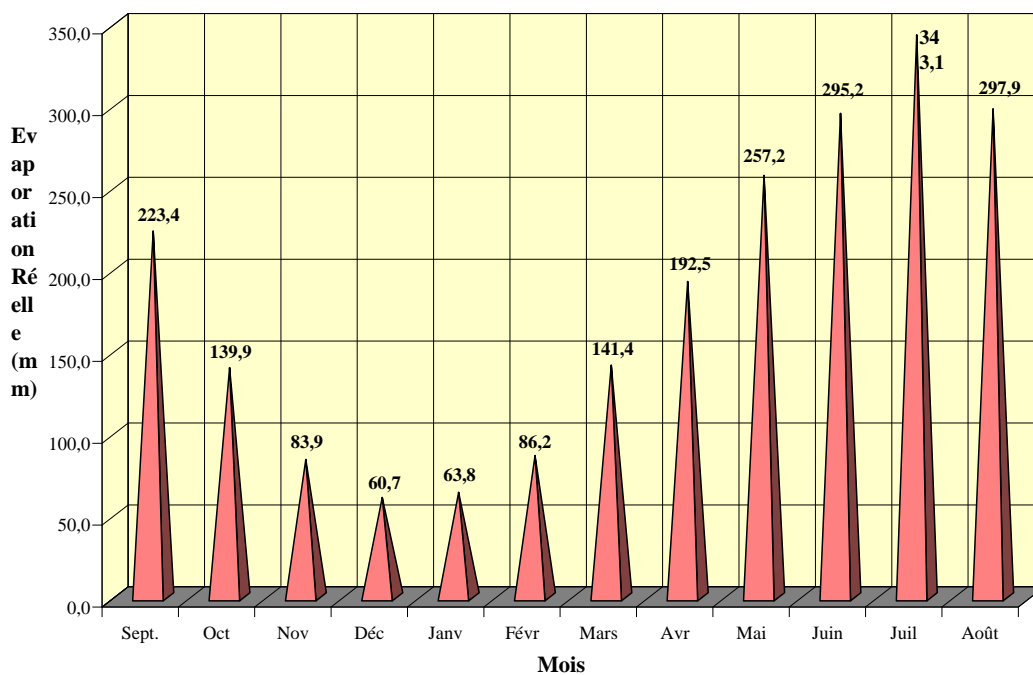


Figure N°08 : Evaporation de la surface d'eau libre

### I.2.6. Les vents

En hiver, les latitudes les plus basses permettent aux perturbations du front polaire de descendre vers Sud atlantiques et le Sahara septentrional ;

Les vents sont réguliers sur la partie méridionale des hautes pressions, dit : l'Alizé d'Harmattan.

En été, les influences sahariennes s'étendent dans toutes l'Algérie septentrionale jusqu'au Sud de l'Europe à cause des déplacements des hautes pressions vers les latitudes les plus élevées.

Au Sud du Sahara : ce sont les vents du Nord à Nord/Est.

Au Nord/Est du Sahara : ce sont les vents Alésiens saisonniers Nord à Nord/Est.

Au Nord du Sahara : ce sont les vents du Sud très brûlant

### I.2.6.1. Les vents d'origine Nord

Les vents du Nord sont les plus fréquents pendant les mois de Janvier à Mars, Octobre et Décembre. Ils sont à l'origine d'importantes précipitations quand les perturbations qui se forment sur la Méditerranée progressent vers le Sud Algérien.

### I.2.6.2. Les vents d'origine Est

Cette direction prédomine au cours des mois d'Avril jusqu'à Septembre avec des fois des vents soufflant du Nord au Sud. Les vents du Sud sont à l'origine du sirocco qui atteint les côtes méditerranéennes. Ils sont fréquents pendant l'été (Juillet et Août) et rares en hiver mais peuvent se manifester au mois de Septembre.

### I.2.6.3. Les vents d'origine Ouest

Ces vents sont présents pendant toute l'année avec cependant une certaine force remarquable au cours de l'hiver et du printemps. Les averses qu'on observe pendant ces deux saisons sont dues à ces vents qui circulent d'Ouest en Est.

Nous résumons dans le tableau N°06 suivant les vitesses des vents observés entre 1988-2006 de la station de Noumérat :

**Tableau N°05 : Moyenne mensuelles des vitesses maximal du vent**

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Max en (km/h)	28,76	31,34	24,36	22,96	25,05	21,03	17,05	16,71	16,98	20,33	20,24	21,11

L'analyse du tableau, montre que la vitesse maximale du vent, mise à part les mois d'Août et Septembre, elle dépasse les 20 km/h, avec des piques qui peuvent atteindre 30 Km/h enregistrés en Janvier et Février.

Ces vents de différentes directions sont caractérisés par une circulation importante de grandes masses mouvantes de sable.

Cette mouvance du sable augmente d'avantage en se déplaçant vers le Sud de la zone étudiée.

Ceci Implique la formation des bancs de sable et des dunes, au niveau des obstacles ou lors d'une diminution de la vitesse du vent.

### I.3. Hydrographie et relief

Le relief de la wilaya est un sous ensemble de composants géographique dont les principaux sont les suivantes :

Le grand Erg oriental: véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200 m, .La hamada : qui est un plateau caillouteux et les vallées : sont représentées par la vallée du M'ZAB,[4]

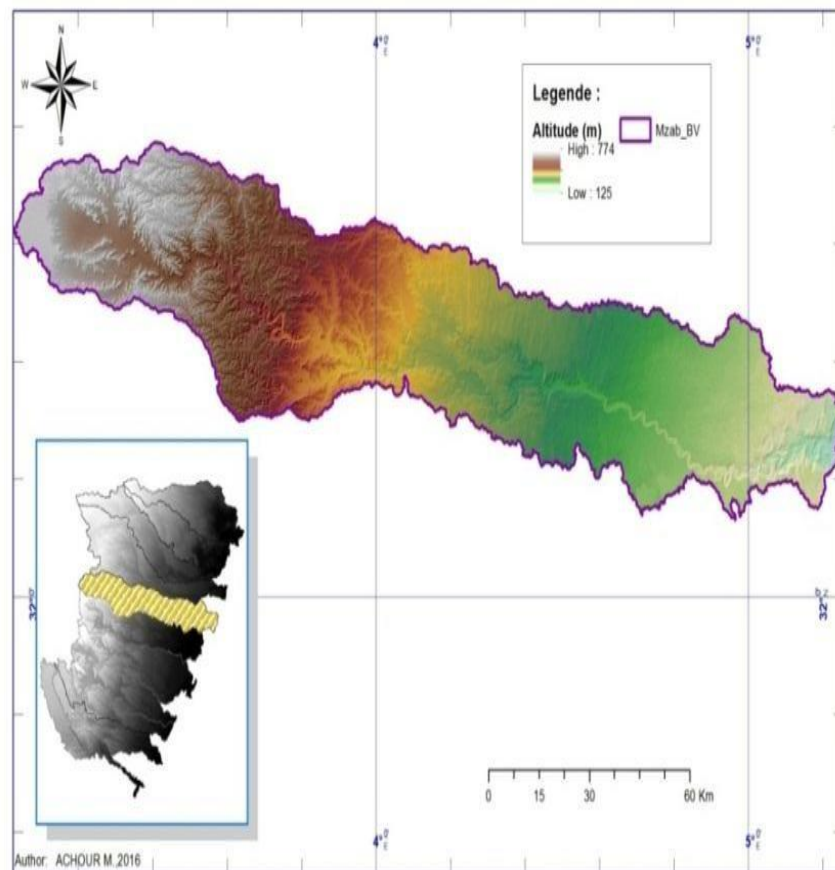


Figure N°09 : Hydrographie et relief du Ghardaïa (Achour, ANRH)

### 1.4. Description hydrologique

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig10), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région.

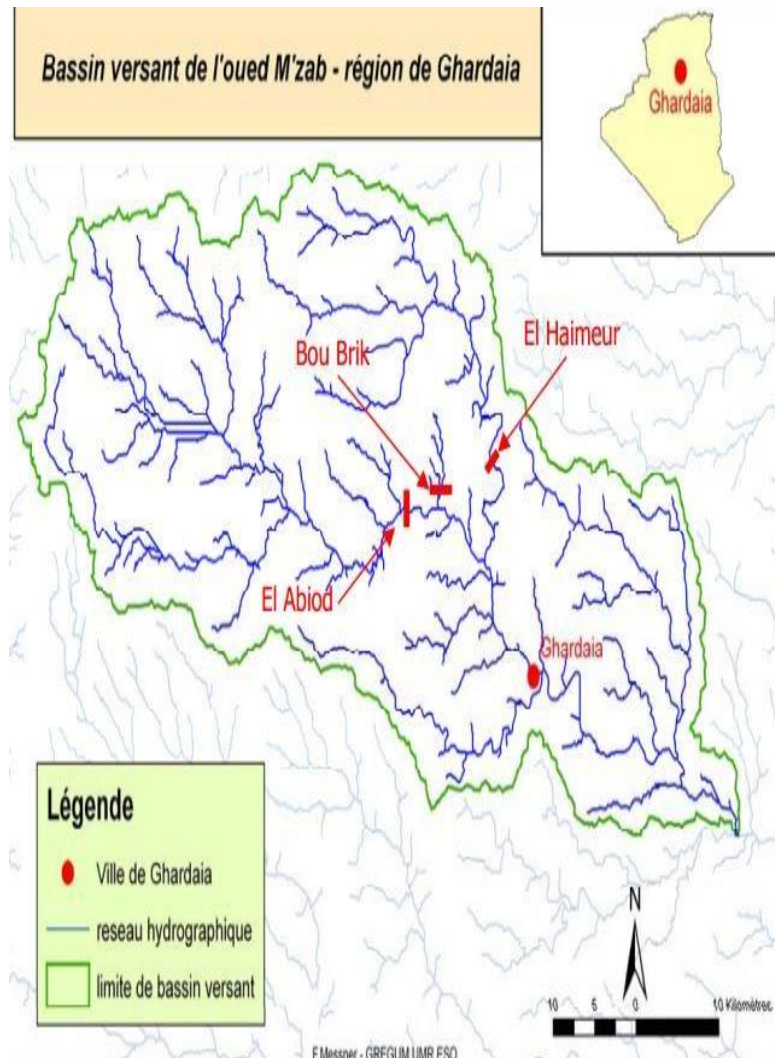


Figure N°10 : carte Hydrologique (Achour, ANRH)

#### I.4. Description géologique

La wilaya de Ghardaïa, est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab.[4]



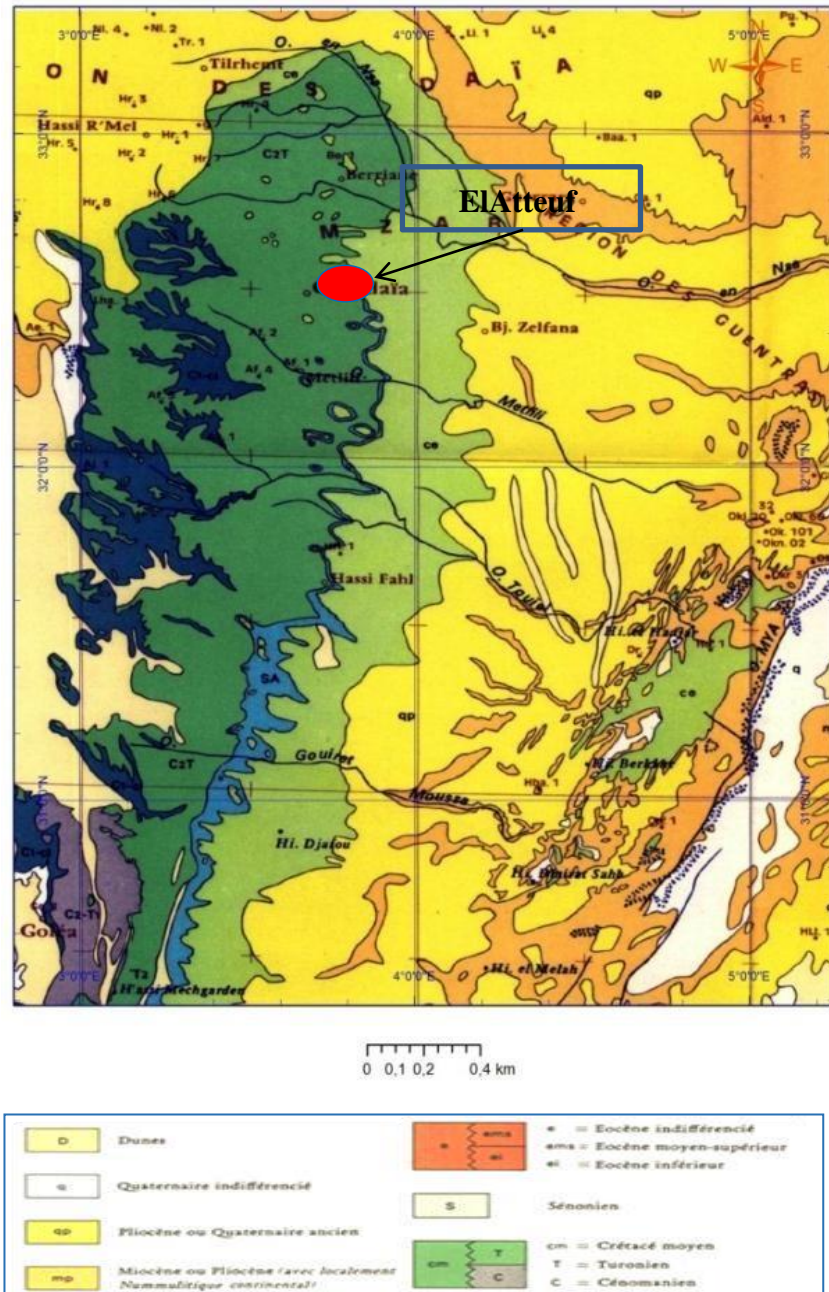


Figure N°11 : Carte géologique (région du M'Zab) (Achour, ANRH)

Du point de vue lithologique, les affleurements sont de type Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénoomanien.

En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.

- ❖ Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien.
- ❖ Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien.
- ❖ Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-Est attribués au Miopliocène.
- ❖ Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

### I.5. Description hydrogéologique

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifère ; les nappes phréatiques superficielles d'Inféro-flux (phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne.

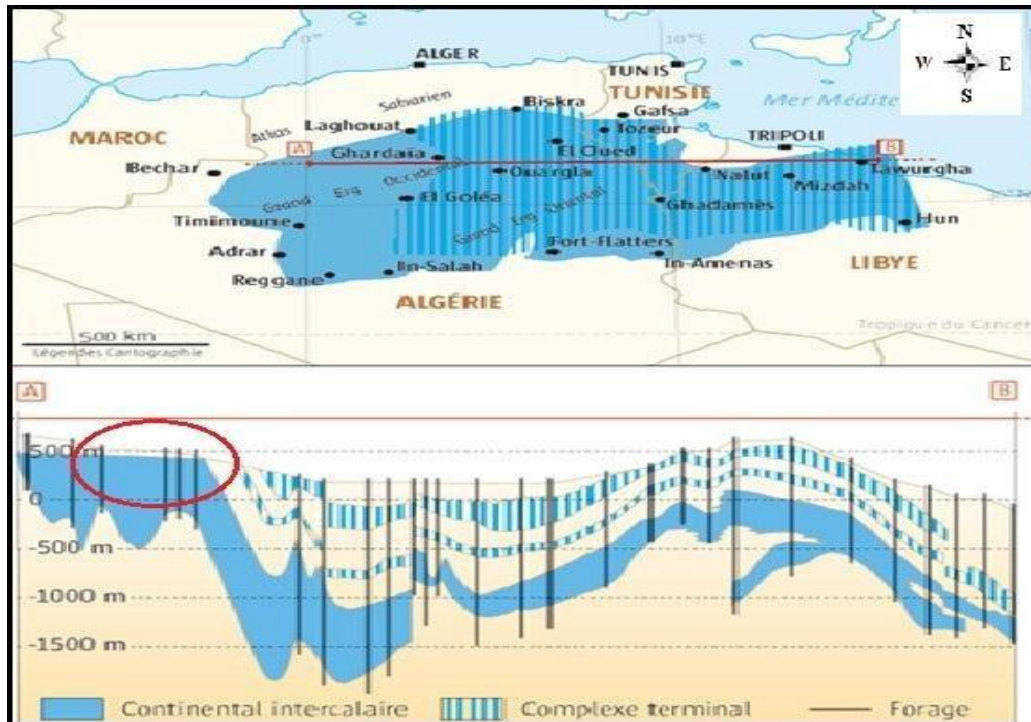


Figure N°12 : Coupe hydrogéologique du système aquifère CT et du CI  
(UNESCO, 1972)

#### I.5.1. Les nappes phréatiques

Elles sont abritées dans les alluvions des vallées des oueds de la région. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont étroitement liés à la pluviométrie. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30 m.

Ces nappes sont captées par des centaines de puits traditionnels, et destinées essentiellement, pour irriguer les palmeraies des vallées.

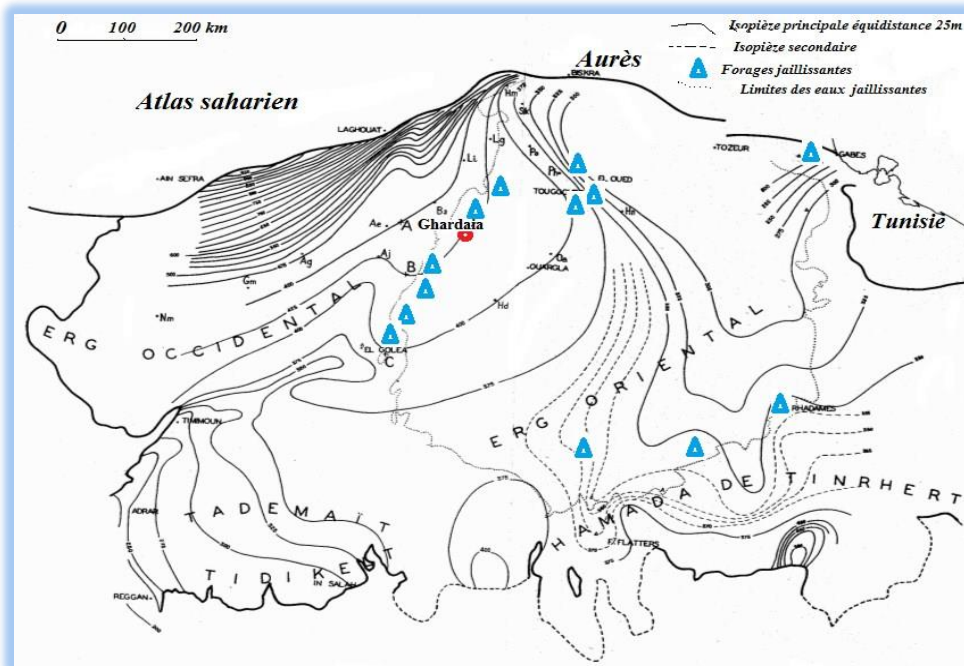
La qualité chimique des eaux de la nappe de l'oued M'Zab et oued Metlili, est bonne à la consommation à l'amont, mauvaise et impropre à la consommation à l'aval suite à leur contamination par les eaux urbaines.

#### I.5.2. Nappe Du Continentale Intercalaire

Le réservoir du continental intercalaire est contenu dans les formations continentales du crétacé supérieur, composé essentiellement de grés, de sables et d'argiles. Le réservoir



S'étend sur environ 600 000 km<sup>2</sup>, il est continu du Nord au Sud depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili et le Hoggar, d'Ouest en Est depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert Libyen. Au Nord Est de la dorsal du M'Zab, le toit de l'aquifère constitue d'argiles et d'évaporites du Cénomaniens continu sur tout le bassin. La profondeur augmente du Sud au Nord, de 1000m au bas Sahara, à 2000m sur les chotts provoquant ainsi une forte charge de la nappe sur tout le bassin oriental. Le substratum est constitué des formations argilo-sableuses et argileuses ou carbonatées d'âge de plus en plus récent du Sud vers le Nord.



**Figure N°13 : Carte piézométrique du continental intercalaire**

La carte piézométrique établie lors de l'étude « E.R.E.S.S. » en 1972, montre que cette partie orientale de l'aquifère est alimenté par :

- ❖ Le piedmont Sud Atlasique au Nord-Ouest de Laghouat;
- ❖ Le plateau du Tinghert ;
- ❖ Le plateau du Dahar (Tunisie). (UNESCO, 1972)

### I.6. Ressources hydriques

Les ressources hydrauliques de la Wilaya sont essentiellement souterraines. Celles de surface proviennent généralement des crues importantes de l'Oued M'Zab.

### **I.6.1. Eaux de surface**

Les inondations créées par les crues des Oueds alimentent les nappes inféro-flux et irriguent les palmeraies par des digues.

### **I.6.2. Eaux souterraines**

#### **I.6.2.1. Nappes phréatiques**

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier les dattiers.

L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit :

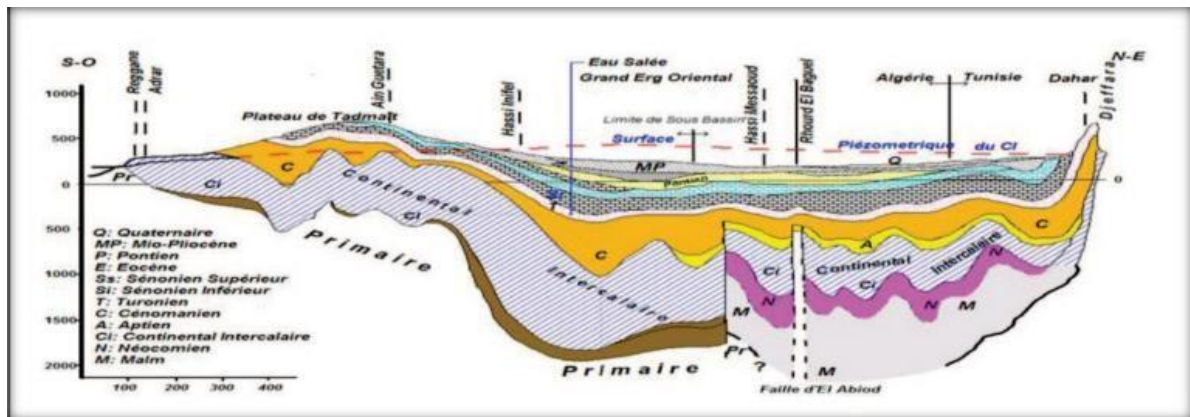
- ❖ A l'amont, elle est bonne à la consommation.
- ❖ A l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines.

#### **I.6.2.2. Nappe du continental intercalaire**

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m.

Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est.

L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique.



**Figure N°14 : Coupe hydrogéologique du système aquifère ; le continental intercalaire et le complexe terminal (UNESCO, 1972)**

La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle est :

- ❖ Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana, Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- ❖ Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Maithili, Berriane et certaines régions d'El Menia).

### I.6.2.3. La nappe du complexe terminal

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sur environ 3500000 km<sup>2</sup>. Cette nappe peut circuler dans l'une ou encore dans les deux formations litho stratigraphiques suivantes :

- Le Sénonien et l'éocène carbonaté ;
- Le Mio- pliocène sableux.

L'allure des isopièses montre que la nappe peut être alimentée par les zones de bordures suivantes :

- ❖ Alimentation à partir de l'Atlas Saharien par deux origines ;
- ❖ La flexure Sud Atlasique ;
- ❖ Par infiltration des crues des Oueds à l'aval de l'accident Atlasique.
- ❖ Alimentation par le plateau du Tademaït et Tinghert à partir de la zone des chotts Melghir et Merouane.
- ❖ Alimentation par les monts de M'Zab lors des crues exceptionnelles. (UNESCO, 1972).

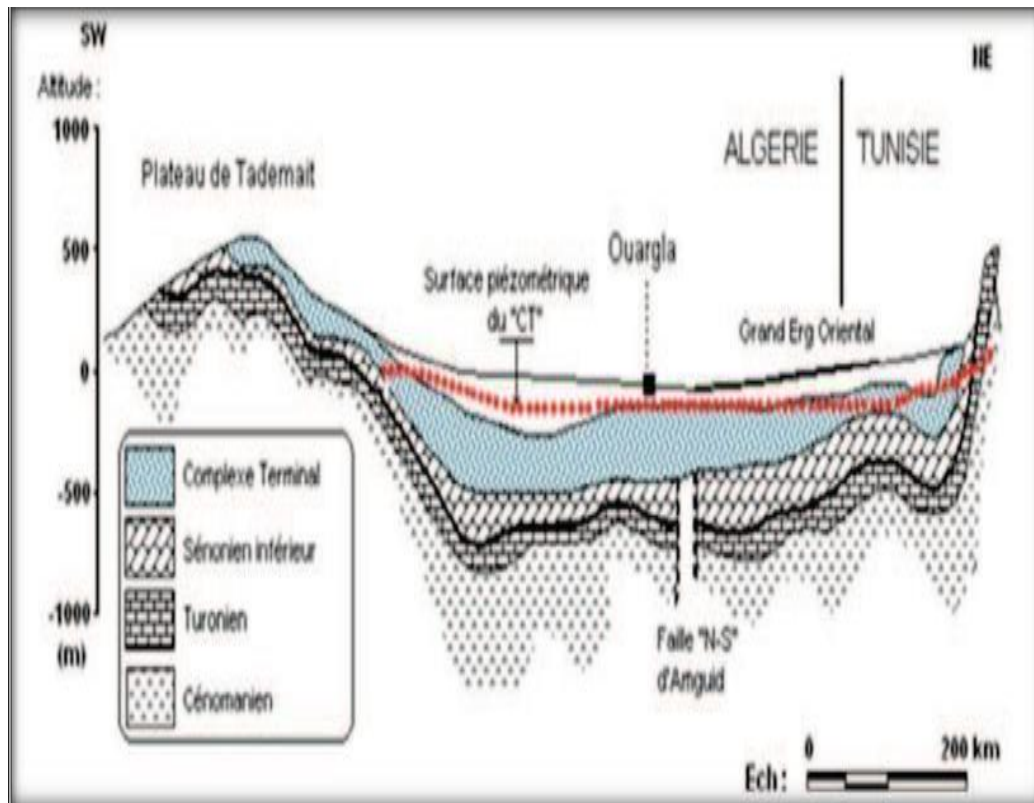


Figure N°15: Coupe hydrogéologique transversale du complexe terminal (UNESCO ,1972)

# Chapitre II

## Sol et végétation

## **II.1. NATURE DU SOL, CULTURES ET VEGETATIONS**

### **II.1.1. Le sol**

Les sols alluviaux de la vallée du M'Zab et ses affluents sont les plus favorables à l'agriculture, ils appartiennent aux sols peu évolués ; par contre la dorsale du M'Zab qui entoure la vallée appartient aux Regs autochtones. Dans la région du M'Zab il y a peu d'études sur les sols. Nous savons cependant d'après Kada et Dubost (1975) que ce sont des sols meubles, profonds, peu salés et sablo-limoneux. La texture est assez constante et permet un drainage naturel suffisant. Ces sols sont peu à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins et présentent une faible teneur en gypse. La C.E.C. (capacité d'échange cationique) est moyennement faible ainsi que la matière organique.[4]

### **II.1.2. Cultures**

Le système oasien de l'ancienne palmeraie est caractérisé par une forte densité de plantation, palmiers âgés, une irrigation traditionnelle par séguias et des exploitations mal structurées et fortement morcelées. Ce système caractérisé par des cultures étagés de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraîchage et fourrages en intercalaire.

Des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites tailles.

### **II.1.3. Végétation**

La végétation saharienne apparait comme très pauvre si l'on compare le petit nombre des espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre.

Les conditions climatiques et géographiques font du M'Zab une région désertique à la limite Nord du désert absolu, ce qui explique la rareté de la végétation qui pousse uniquement en bordure des oueds et au niveau des palmeraies. Elle est composée de plantes herbacées et d'arbustes appartenant à la flore saharienne. Parmi les arbres, Abonneau (1983) a cité, bétoum (*Astaciaatlantica*) et tarfaou (*Tamarix gallica*) et les arbustes[4]

Sont représentés par l'alenda (*Ephedrafragilis*), l'arich (*Calligoniumcommosum*), le r'tem (*Retmaretam*) et le seder (*Zigyphus lotus*). Selon le type de milieu on note la présence d'un groupe assez important d'adventices où dans les endroits sablonneux et sec tel que les regs.

Signalent les plantes de l’Acheb suivantes: Aristidapungens (drinne) et Aristidaobtusa comme les graminée les plus fréquents, le dhamrane (Trajanuminidatum), le baguel (Haloxylonarticulatum), le merkh (Genistasaharae) et le cheih (Artemesia alba). En aval de l’oued M’Zab se développe des plantes halophiles tel que le guettaf (Atriplexhalimus), leguedem (Salsolavermiculata), l’ajrem (Anabasiaarticulata), le negued (Astericusgraveolus) et la chaaliat (Sysimbium iris).

**II.2. Estimation Et Evaluation De La Population**

D’après les résultats du dernier recensement (2008), la population de la wilaya de Ghardaïa a atteint 363 598 habitants avec un taux d’accroissement de 2,0%, pour connaître le nombre estimatif de la population pour l’horizon actuel, et aussi pour le moyen et long terme, on applique la relation suivante :

$$p_n = p_0 \times (1 + t)^n$$

**P<sub>n</sub>** : Nombre d’habitants dans l’horizon d’étude.

**P<sub>0</sub>** : Nombre d ,habitants (2008).

**t** : Taux d’accroissement en %

**n** : Nombre d’années entre deux horizons.

Dans notre étude nous prendrons la vallée du M’Zab qui est constituée par les quatre communes, qui sont: Ghardaïa ; Daya ; El-Atteuf et Bounoura.

Alors l’estimation du nombre d’habitants pour les horizons 2008, 2010, , 2020, , 2030, et 2040 de chaque commune de la ville de Ghardaïa est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau N°06 : Estimation du nombre d’habitant de la vallée du M’Zab**

Commune	N <sup>bre</sup> hab 2008	T(%)	N <sup>bre</sup> hab 2010	N <sup>bre</sup> hab 2020	N <sup>bre</sup> hab 2030	N <sup>bre</sup> hab 2040
Ghardaïa	93 423,00	0,70	94 735,50	101 579,82	108 918,63	116 787,64
Daya	12 643,00	3,30	13 491,21	18 666,12	25 826,00	35 732,26
El-Atteuf	14 752,00	1,50	15 197,88	17 637,76	20 469,34	23 755,50
Bounoura	35 405,00	2,50	37 197,38	47 615,79	60 952,24	78 024,01
<b>Total</b>	<b>137 216,00</b>	<b>-</b>	<b>160 621,96</b>	<b>185 499,49</b>	<b>216 166,21</b>	<b>254 299,41</b>

**II.3. Besoin en eau et rejet**

**II.3.1. Situation Des Réseaux De La Ville**

La ville de Ghardaïa est constituée de 4 communes, chacune d’entre elles est couverte par des réseaux d’AEP et d’assainissement avec des différents pourcentages, comme le montre le tableau.

**Tableau N°07 : Situation des réseaux de la vallée du M’Zab (ONA)**

Commune	Forages Réalisés		Longueur totale du réseau (mètre)				Ouvrages de Stockage			
			Réseau d’AEP		Réseau d’assainissement		Château d’eau		Réservoirs	
	Nbr	Débit (l/s)	L. (Km)	Tx Raccord. (%)	L. (Km)	Tx Raccord. (%)	Nbr	Capacité M <sup>3</sup>	Nbr	Capacité M <sup>3</sup>
Ghardaïa	35	1289	313 654	98	167 179	93	1	350	26	31500
Daya	19	707	69 203	98	58 407	56	-	-	9	7000
El-Atteuf	11	560	23 023	96	14 795	91	1	350	3	4700
Bounoura	38	1771	134 241	97	128 559	94	-	-	5	10000
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>4327</b>	<b>540 121</b>		<b>368 940</b>		<b>2</b>	<b>700</b>	<b>43</b>	<b>53200</b>

**II.3.2. Alimentation en eau potable**

Le réseau d’eau potable de la ville de Ghardaïa est de type mixte, il a une longueur totale de 540 121 Km. Le système comprend 103 forages et 43 réservoirs.

**II.3.3. Réseau d’assainissement**

Le raccordement au réseau d’assainissement de la ville de Ghardaïa est intercommunal se fait avec des pourcentages différents, qui varient d’une commune à l’autre de 56 % à 94 %. Le réseau est de type séparatif (eau usée + eau de pluie).

**II.3.3.1. Rejet des eaux usées**

Les eaux usées générées par l’agglomération de la ville de Ghardaïa sont acheminées vers la station du lagunage naturel située à KafEddoukhane, par deux collecteurs principaux de diamètre de 2 x 1000 mm.

**II.3.3.2. Débit d’eau usée moyen journalier**

On donne le débit d’eau usée (Q<sub>ue</sub>) journalier par la relation suivante :



$$Q_{eu\ moyj} = Q_{eu\ dom} + Q_{eu\ \acute{e}quip}$$

$$Q_{eu\ \acute{e}quip} = 30\% \times Q_{dom}$$

$$Q_{eu\ dom} = k_r \times D \times N \text{ (l/j)}$$

$Q_{eu\ moyj}$  : Débit d'eau usée moyen journalier ( $m^3/j$ ).

$Q_{eu\ dom}$  : Débit eau usée moyen journalier domestique. ( $m^3/j$ ).

$Q_{eu\ \acute{e}q}$  : Débit eau usée moyen journalier d'équipements. ( $m^3/j$ ).

$K_r$  : Coefficient de rejet compris entre 0,7 et 0,9. on prend 0,7.

$D$  : Dotation journalière en eau potable de la ville de Ghardaïa.  $D = 200$  l/j/hab.

$N$  : Nombre d'habitants. ( habitant)

### II.3.3.3. Debit d'eau usée maximal journalier

Il est donné par la relation suivante :

$$Q_{eu\ maxj} = Q_{eu} \times K_j \text{ (l/j)}$$

Avec :

$Q_{eu\ maxj}$ : Débit d'eau usée maximal journalier.

$Q_{eu}$  : Débit moyen d'eau usée.

$K_j$  : Coefficient de majoration compris entre 1,1 et 1,3. On prend 1,3

### II.3.3.4. Débit moyen horaire

Il est donné par la relation suivante :

$$Q_{moyh} = \frac{Q_{eu\ moyj}}{24} \text{ (l/h)}$$

### II.3.3.5. Calcul du débit de pointe d'eau usée qpt

On calcule le débit de pointe avec la formule suivante :

$$Q_{pt=} = K_p \times Q_{moyh}$$

Avec :

$Q_{pt}$  : Débit de pointe (m<sup>3</sup>/h).

$Q_{moyh}$ : Débit moyen horaire.

$k_p$  : Coefficient de pointe.

$$si Q_{moyh} \leq 2,81 \frac{l}{s} \Rightarrow k_p = K_p = 3$$

$$si Q_{moyh} > 2,81 \frac{l}{s} \Rightarrow k_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{moyh}(l/s)}}$$

Tableau N° 08 : Débits d'eau usée pour les différents horizons

	Débits moyens					Débits de pointe					
	Q m j (m <sup>3</sup> /j)	Q m j (l/s)	Q m horaire (m <sup>3</sup> /h)	Q instant (m <sup>3</sup> /j)	Q saison (m <sup>3</sup> /j)	Kp	Q <sub>pt</sub> (l/s)	Q <sub>pt</sub> (m <sup>3</sup> /j)	Q <sub>pt</sub> horaire (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>pt</sub> instan (l/s)	Q <sub>pt</sub> saison (m <sup>3</sup> /h)
<b>2008</b>	3769,52	43,63	157,06	235,60	471,19	1,88	81,96	7081,01	295,04	81,96	8497,21
<b>2010</b>	3967,33	45,92	165,31	247,96	495,92	1,87	85,82	7414,67	308,94	85,82	8897,60
<b>2020</b>	4552,18	52,69	189,67	284,51	569,02	1,84	97,18	8396,12	349,84	97,18	10075,35
<b>2030</b>	5293,61	61,27	220,57	330,85	661,70	1,82	111,47	9631,14	401,30	111,47	11557,37
<b>2040</b>	6233,55	72,15	259,73	389,60	779,19	1,79	129,46	11185,03	466,04	129,46	13422,04



# *Chapitre III*

## *Présentation de la STEP kef doukhane El Atteuf*

### III.1 Présentation de la station d'épuration Kef Edoukhane d'El-atteuf

#### III.1.1 Situation géographique

La station d'épuration de Kef Doukhane est située dans la commune d'EL ATEUF qui constitue l'aval de la vallée du m'Zâb. D'une superficie d'environ 79 ha. La STEP est située à environ 21 km au sud-est de Ghardaïa, à l'aval de la digue d'EL-ATTEUF.

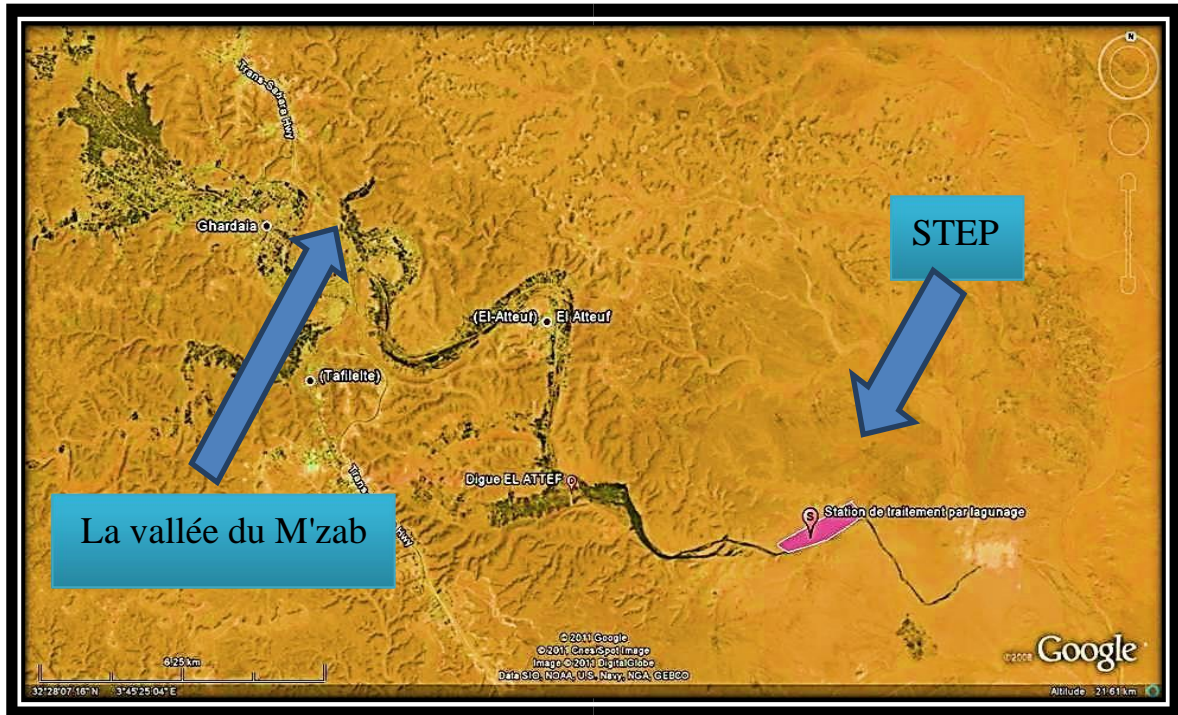


Figure III.1. Situation géographique de la STEP Google earth, 2013)

#### III.1.2 Dimensionnement de la STEP de Ghardaïa

Capacité : 331 700 eq/hab

Surface totale : 79 ha

Nombre de lit de séchage : 10 lits

Nombre de bassins : 16 bassins devisés en 02 niveaux

Débit moyen journalier à capacité nominale : 46 400 m<sup>3</sup>/j. [11]

**Tableau III.1 : les données de bases de la STEP (STEP Ghardaïa, 2013) (ONA)**

<b>Capacité nominale 2030</b>	
<b>Premier niveau</b>	
Nombre de lagunes	08 lagunes
Volume total des lagunes	174 028,50m <sup>3</sup>
Volume par lagune	21 753,56m <sup>3</sup>
Surface totale	4,97ha
Surface par unité de lagune	0,62ha
Profondeur des lagunes	3,6m
Temps de séjour	30 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les ...	3 ans
Charge organique résiduelle	5800 kg DBO <sub>5</sub> /j
Abattement DBO <sub>5</sub> minimal	50%
<b>Deuxième niveau</b>	
Nombre de lagunes	08 lagunes
Volume total des lagunes	464 000m <sup>3</sup>
Volume par lagune	58 000 m <sup>3</sup>
Surface totale	30,4ha
Surface par unité de lagune	3,8ha
Profondeur des lagunes	1,6 m
Temps de séjour	10 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les ...	3 ans
Charge organique résiduelle	2 320 kg DBO <sub>5</sub> /j
Abattement DBO <sub>5</sub> minimal	60%



**Figure III.2 : Vue aérienne de la STEP d'EL-ATTEUF**

## **III.2 Les différentes étapes de traitement des eaux usées**

### **III.2.1 Lagunage naturel**

C'est un procédé biologique de traitement des eaux usées. Il consiste à laisser l'eau se reposer dans des bassins ouverts peu profonds de 1 à 5 m de profondeur pendant une durée variant de 30 à 60 jours. Il aboutit d'une part à l'abattement de la charge polluante et d'autre part à la stabilisation des boues produites, sous l'action des organismes se développant dans le milieu.

Le lagunage naturel repose sur une décantation directe au fond des bassins des matières en suspension, et indirecte des substances solubles introduites ou remises en solution par les sédiments après leur absorption par les micropyles. Ce procédé est proche de l'auto épuration. Il est basé sur un cycle biologique, où les bactéries assurent l'élimination des matières organiques en présence d' $O_2$  fourni par les algues.

L'ensemble des eaux usées de la vallée sont acheminées gravitairement

(pente:0,2%) depuis la fin du collecteur projeté au niveau de la digue d'El-Atteuf jusqu'à l'entrée de la station grâce à deux collecteurs en parallèle de diamètre 1000 mm. Les étapes par lesquelles passent les eaux usées dans la station sont les suivantes:

- de prétraitements,
- de traitement primaire anaérobie,
- de traitements secondaires facultatifs,
- des lits de séchage des boues.



**Photo III.1 : Collecteurs d'amenée des eaux usées.**

### **III.2.2 Prétraitement:**

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. A l'arrivée dans la station d'épuration, les eaux "brutes" doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage, appelés "prétraitements" et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Le prétraitement comporte :

#### **Dégrillage/dessablage**

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle.

En cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques. Un système de batardeaux calés au dessus de la cote plan d'eau maximal équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposé en parallèle permet de by passer complètement l'ensemble du prétraitement.



Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévus des dispositifs de dessablage : de ce fait, les particules non retenues à ce niveau et qui se retrouvent directement dans les lagunes sont en quantité négligeable et sont évacuées lors des opérations de curage,

Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire.



**Photo III.2 dessableur**



**dégrilleur**

### **III.2.3 Traitement primaire**

Le traitement primaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux usées au sein des lagunes primaires dites « anaérobies », constituées de 8 bassins d'une superficie de l'ordre de 0,62 ha et d'une profondeur d'eau de 3,6 m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géo-membrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien

### **III.2.4 Traitement secondaire**

Le circuit hydraulique du traitement secondaire est similaire à celui du traitement primaire avec les éléments suivants :

- Deux conduites de diamètre 1000mm, qui collectent les eaux ayant subi le traitement primaire, arrive sur répartiteur principale du traitement secondaire.
- Les eaux sont ensuite réparties vers les huit lagunes secondaires.

Le traitement secondaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux au sein des lagunes secondaires constituées de huit bassins d'une superficie de l'ordre de 3,8 ha et d'une profondeur d'eau de 1,6 m : la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces

bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géo-membrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.



**Photo III.3 : lagunes primaires secondaires.**

### III.2.5 Traitement des boues

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes primaires et secondaires à l'air libre sur 10 lits de séchage. (chaque 10 ans)

#### Lits de séchage

Les lits de séchage sont implantés à une cote supérieure à celle des lagunes afin de pouvoir évacuer les lixiviats drainés vers les lagunes de manière gravitaire.

En effet, les lits de séchage sont constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante incluant le réseau de drainage. De ce fait, on assiste dans un premier temps à un ressuyage de l'eau interstitielle qui donc est renvoyée vers les lagunes, et dans un second temps l'évaporation permet l'obtention de siccités élevées.



**Photo III.3 Lit sechage**

III.3 Evacuation des eaux traitées

Après le traitement dans les bassins secondaires, et à travers les ouvrages de sortie des lagunes, les eaux traitées sont évacuées gravitairement vers le rejet final par deux collecteurs de diamètre 1000mm. Les eaux épurées sont rejetées directement à l'oued M'Zab.



Photo III.3 : rejet final vers oued M'Zab.

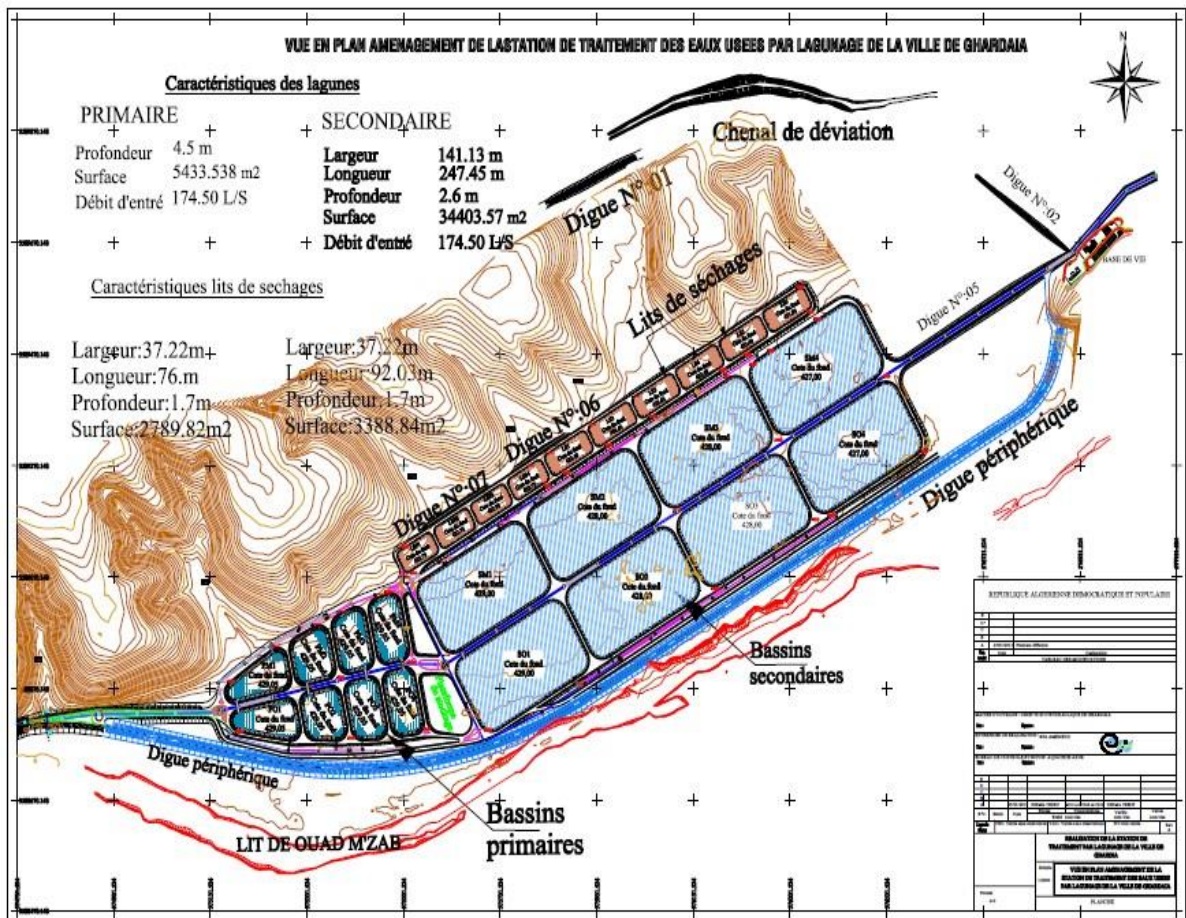


Figure III.3 Vue générale de step de kef EDDOUKHANE

### **III.4.1. Réseaux internes de raccordement entre bassins**

#### **III.4.1.1. By-pass des lagunes primaires**

C'est un canal parallèle à ceux équipés de grilles automatiques permettre de by passer l'ouvrage de pré traitement. Il est donc nécessaire de se garder la possibilité de by passer les lagunes primaires permet dans les situations exceptionnelle et maitrisées de diriger volontairement les eaux usées vers la conduite de liaison avec plages aval. Ceci permet alors d'intervenir directement et sans risque sur le réseau hydraulique interne de l'étage primaire.

#### **III.4.1.2. Conduites de liaison**

Ce sont des conduites de diamètre de 800 mm, relie les répartiteurs principaux aux répartiteurs secondaires.

#### **III.4.1.3. Conduites d'alimentation des lagunes**

Elles acheminent les eaux usées dans les lagunes depuis les répartiteurs secondaires avec un diamètre de 600 mm.

#### **III.4.1.4. Ouvrages d'entrée dans lagunes**

Constitués d'un masque de protection en béton implanté dans le talus interne des lagunes ils servent de support au débouché des conduites d'alimentation dans la tranche d'eau voulue (inférieure dans le cas des lagunes primaire et supérieure dans le cas des lagunes secondaires).

#### **III.4.1.5. Ouvrages de sortie des lagunes**

Ces ouvrages équipés de déversoirs de sécurité connectés directement sur les conduites de rejet sont constitués d'une cloison siphonide destinée à éviter l'obturation des conduites de rejet et d'un seuil réglable en hauteur à l'aide de rehausses qui maintient le niveau de l'eau voulu dans les lagunes.

### **III.4.2. Les répartiteurs**

#### **III.4.2.1. Répartiteurs principaux**

Disposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration il permet de répartir les eaux usées vers les deux files de lagunes disposées sur une même terrasse concernant la plage aérobie ou anaérobie ou

Le premier répartiteur principal reçoit les eaux usées à partir de filière du prétraitement.



Le deuxième répartiteur principal achemine les eaux usées traitées dans les lagunes anaérobies.

### III.4.2.2 Répartiteurs Secondaires

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement (primaire ou secondaire), implantées sur une même plage.

### III.4.3 L'exutoire

Ce sont deux conduites en béton de diamètre de 02x 1 000 mm récoltent les eaux usées à leur sortie des lagunes et soit assurent la jonction avec les collecteurs de liaison entre les plages, soit rejettent les eaux usées épurées à l'oued.



**Photo III.4 : L'exutoire de la STEP KafEddoukhane**

## III.4. Les ouvrages annexes et équipements

### III.4.1. Les voies et réseaux divers

La station est protégées contre les crues par une digue au long de la station.

### III.4.2. Le bloc administratif et le laboratoire

La station contient un bloc administratif qui contient deux bureaux, une cuisine, un garage et un laboratoire qui contient un matériel comme le DBO-mètre, un Spectrophotomètre un étuve, làoù le chimiste fait les analyses quotidiennes comme les analyses physico-chimique, les MES, NO<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub> ont fait 03 fois par mois, le DBO<sub>5</sub> une fois par mois et le DCO, ONA n'a jamais le effectué, même les analyses bactériologique ont fait au niveau d'Alger mais jusqu'aujourd'hui ils n'ont jamais les effectué.

### III.4.3. Les équipements

Le seul équipement électrique dans la station est la table des commande électrique en moyenne tension qu'elle est liée avec la sonde ultra-sons branché au dégrilleur, le reste de la station travail d'une façon naturel par gravité.

### III.5. Résumé des principales caractéristiques de la STEP

Nous résumons les principales caractéristiques de la STEP dans le tableau ci-dessous :

Ouvrage	Unité	Caractéristique
<b>Prétraitement</b>		
Dégrilleur		
L	M	chambre (5 x 5,7)m
L	M	2 x 1,0
H	M	2,5
Déssableur		
L	M	7
B	M	12,7
H	M	2,5
Traitement secondaire		
2ème assemblage		
Bassin facultatif		
S <sub>t</sub>	m <sup>2</sup>	246 240,00
V <sub>t</sub>	m <sup>3</sup>	246 240,000
T <sub>s</sub>	J	03
Nmbre	U	08
Bassin Aérobie		
S <sub>t</sub>	m <sup>2</sup>	280 000,00
V <sub>t</sub>	m <sup>3</sup>	868 000,000
T <sub>s</sub>	J	10
Nmbre	U	08

Traitement des boues		
S <sub>t</sub>	m <sup>2</sup>	28 500,00
V <sub>t</sub>	m <sup>3</sup>	48 450,000
Nmbre	U	10

**Tableau N°2 : Caractéristiques de la STEP KafEddoukhane**





***Chapitre IV***

***Modélisation de***

***séchage solaire des***

***boues d'épuration***

## **IV.1- Introduction**

Le séchage est un procédé qui sépare un liquide d'un solide, d'un semi-solide (pâte) voire d'un liquide par évaporation . On arrive toujours à un produit solide dans le cas de séchage. Cette élimination peut être réalisée soit par évaporation à l'ébullition ; soit par évaporation et entraînement à l'aide d'un gaz (l'air en générale). Cette opération est endothermique et nécessite l'apport d'énergie thermique. Cette énergie peut être apportée : conduction ; convection ou par rayonnement comme source d'énergie pour le séchage nous avons l'énergie électrique, fossile, ou solaire.

Le séchage est une opération consistant à abaisser l'activité du liquide d'un produit, jusqu'au seuil en deçà duquel les réactions enzymatiques et d'oxydation sont inhibées, de même que le développement des micro-organismes.

Il est question donc d'étude de transfert de masse et de chaleur, mais avant d'aborder cette étude, passons en revue quelques définitions utiles. Deux principaux mécanismes ont été avancés pour expliquer le mouvement de l'eau à l'intérieur des corps à sécher :

- la diffusion
- la migration capillaire

## **IV.2. Terminologie de séchage**

### **IV.2 .1. Humidité**

Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide ou pâteux, et devant être éliminé au cours du séchage.

### **IV.2 .2. Taux d'humidité**

C'est la masse de liquide contenue par unité de masse de matière à sécher. Bien qu'il soit fait très souvent référence à la matière humide, il est préférable d'exprimer le taux d'humidité par rapport à la matière anhydre.

### **IV.2 .3. États de siccité**

Un corps anhydre est un corps dont le taux d'humidité est nul. Un corps sec ou séché correspond plus généralement au produit tel qu'il est obtenu à la sortie du sécheur. Dans ce dernier cas, le taux d'humidité n'est pas forcément nul.

#### IV.2.4. Taux d'humidité à l'équilibre

Un corps humide, placé dans une enceinte de volume important où l'humidité relative et la température sont constantes, voit son taux d'humidité se stabiliser à une valeur dite d'équilibre qui dépend de la nature de l'humidité et de celle du produit qui en est imprégné, mais aussi de la pression partielle et de la température.

#### IV.2.5. Corps hygroscopique

Un produit est dit hygroscopique lorsque la pression de vapeur de l'humidité qu'il contient est inférieure à celle de cette humidité considérée pure et à la même température que celle du produit, en d'autres termes à celle de la vapeur saturante.

Quand la pression de vapeur émise par le produit ( $P_{vp}$ ) est inférieure à la pression de vapeur saturante ( $P_{vs}$ ), le produit est entré dans le domaine de l'hygroscopicité et une partie de son eau, "l'eau liée", est fixée par la matière. Plus la teneur en eau du produit est faible, plus la tension de vapeur qu'il émet est réduite et plus l'activité de l'eau ( $a_w$ ) est basse. On définit l'activité de l'eau dans le corps humide  $a_w$  par la relation :

$$a_w = \frac{P_{vp}}{P_{vs}} \quad \text{Equation (IV.1) [7]}$$

$a_w$ : l'activité de l'eau dans le corps humide

$P_{vp}$  : pression de vapeur émise par le produit

$P_{vs}$  : la pression de vapeur saturante

Pour qu'il y ait séchage, quels que soient le niveau de teneur en eau du produit et l'activité de l'eau, il faut donc que l'humidité relative ( $\Phi$ ) de l'air soit constamment inférieure à l'activité de l'eau ( $\Phi < a_w$ ) de façon à ce que  $P_{vp} > P_v$  (Pression de vapeur de l'air dans l'enceinte).

#### IV.2.6. Les différents modes de liaison de l'eau

La liaison est très forte pour l'eau liée chimiquement par association moléculaire et encore plus forte pour l'eau insérée dans un réseau cristallin. Dans ces deux cas, le corps est dit hydraté. Enlever cette eau d'hydratation revient à détruire le corps. L'opération de séchage consiste à enlever toute l'eau du corps (l'humidité) autre que son eau d'hydratation.

#### IV.2.7. Energie de liaison – chaleur de vaporisation

La chaleur ou l'énergie de vaporisation de l'eau libre ne dépend que de la température régnant à la surface du produit soumis au séchage ; cette chaleur n'est autre que la chaleur de vaporisation de l'eau, donnée par la formule :

$$L_v = 597-0,56\theta \quad (\text{Equation IV.2})$$

Où  $L_v$  est exprimée en Kcal/Kg et  $\theta$  en degrés Celsius. Lorsque l'eau est absorbée dans le produit, en - dessous d'un certain seuil d'hydratation (correspondant à la limite entre eau "libre" et eau osmotique),

Les molécules d'eau sont liées à la matière avec une certaine énergie de liaison, qui devient d'autant plus importante qu'il s'agit d'eau osmotique absorbée, combinée chimiquement. Pour évaporer cette eau, lors du séchage, il faut fournir un supplément d'énergie thermique. Dans ces conditions, la chaleur totale de vaporisation de l'eau du produit peut s'écrire :

$$L = L_a + L_v \quad (\text{Equation IV.3})$$

$L_a$  : la chaleur de liaison de l'eau

Pour le séchage la chaleur de liaison de l'eau ( $L_a$ ) est négligée car la dessiccation s'arrête à un certain seuil dit d'équilibre, et la chaleur de vaporisation est celle de l'eau dite "libre".

#### IV.2 .8. Transferts de chaleur

La vaporisation du solvant contenu dans un produit à sécher peut être effectuée par abaissement de la pression dans l'enceinte contenant le produit. Cependant, dans la plupart des cas, la vaporisation est effectuée en utilisant une source d'énergie extérieure au produit.

Le séchage fait appel aux trois modes de transfert de chaleur : convection - conduction - rayonnement : Ceux- ci sont

Utilisés seuls ou combinés entre eux.

##### IV.2.8.1- Séchage par convection

En séchage, il s'agit probablement du mode de transfert d'énergie le plus courant. Il consiste à mettre en contact un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent autour du corps à sécher qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de films ou de plaques.

Ce type de transfert obéit à l'équation suivante :

$$Q = h A (T_a - T_s) \quad (\text{Equation IV.4})$$

Avec :

**Q** (W) : la quantité de chaleur transférée par unité de temps,

**A** (m<sup>2</sup>) : surface d'échange,

**(T<sub>a</sub> – T<sub>s</sub>)** (K) : l'écart entre la température du gaz de séchage (air) et la température superficielle du produit à sécher,

**h** (W / m<sup>2</sup>• K) : coefficient d'échange par convection.

L'application au séchage de cette formule appelle les quelques remarques ci-après :

La surface d'échange offerte par le produit à sécher n'est pas toujours très bien définie. Dans le cas de solides granulaires dont la granulométrie n'est pas homogène, on définit alors un diamètre moyen des particules.

D'après la formule (Equation IV.4), la quantité d'énergie transférée au produit à sécher est d'autant plus importante que la surface de transfert est, elle-même, importante.

Donc la diminution de la taille des particules constituant le produit sera un facteur d'amélioration du séchage. De plus, elle facilitera la diffusion de l'humidité vers la surface des particules.

L'écart (**T<sub>a</sub> – T<sub>s</sub>**) n'est pas constant le long du sécheur. En effet, la température du produit augmente généralement au cours du séchage, alors que celle des gaz de séchage diminue.

D'une manière générale, le temps de séchage est réduit lorsque la différence de température entre le gaz et le produit est augmentée. Toutefois, la thermo sensibilité du produit (caractérisée par la température maximale qu'il peut supporter) limite la valeur de l'écart, notamment en fin de séchage.

Le coefficient d'échange **h** peut être estimé grâce à des relations faisant intervenir des nombres adimensionnels tenant compte des propriétés du gaz de séchage ainsi que de celles du produit à sécher.

Dans le cas de particules dont le diamètre est inférieur à **10 mm**, le coefficient d'échange par convection  $\alpha$  peut être calculé à partir du nombre de Nusselt :

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{h} \mathbf{d_p} / \lambda_a \quad (\text{Equation IV.4.a})$$

$\lambda_a$  : la conductivité thermique de l'air,

$$\text{Grâce à la relation} \quad \mathbf{Nu} = \mathbf{C} \mathbf{Re}^m \mathbf{Pr}^n \quad (4.b)$$

**Re** : le nombre de Reynolds,

**Pr** : le nombre de Prandtl, égal à 0,7 dans le cas de l'air,

**C** : une constante ajustée expérimentalement,

**m** : proche de 0,8 et n de 0,5.

**Re** : étant proportionnel à la vitesse de l'air à travers le sécheur, l'augmentation de celle-ci a pour effet d'accroître **Nu** donc le coefficient  $\alpha$  ; cette vitesse est toutefois limitée par le risque d'un entraînement exagéré du produit hors du sécheur.

#### IV.2.8.2- Séchage par conduction

L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas par un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée. Les vapeurs libérées par le séchage sont aspirées (séchage par ébullition) ou entraînées par un gaz de balayage dont le débit est toujours faible en comparaison de celui nécessaire à un séchage convectif

Plus le gradient de température entre la paroi et le produit sera faible et plus la surface d'échange devra être importante.

Le flux thermique (en W/m<sup>2</sup>) est donné par la relation :

$$\frac{Q}{A} = - \frac{dT_s}{dt} \quad (\text{Equation IV.5}) \quad (\text{Lois de fourier})$$

$\frac{dT_s}{dt}$  : Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

#### IV.2.8.3- Séchage par rayonnement

Dans ce mode de séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation est transmise par rayonnement.

Ce procédé de séchage est très efficace pour l'élimination de l'eau, surtout lorsque le produit à sécher n'est pas thermosensible. Les sources chaudes émettrices peuvent être des émetteurs au gaz combustible, des émetteurs électriques, ou le soleil.

La quantité de chaleur **Q** (en watts) transmise au produit à sécher par unité de temps est définie par la loi de Stephan Boltzmann :

$$Q = A1 C \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \varphi \quad (\text{Equation IV.6})$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (\text{Equation IV.7})$$

**T<sub>1</sub>(K)** : Température de la source émettrice,

**T<sub>2</sub>(K)** : température du produit,

**A<sub>1</sub>** : (m<sup>2</sup>) surface du corps recevant le rayonnement,

**A<sub>2</sub>** : (m<sub>2</sub>) surface de l'émetteur d'infrarouge,

**φ** : facteur complexe tenant compte de la position relative de l'émetteur et du produit (lorsque l'émetteur entoure le produit, on a φ = 1), **ε<sub>1</sub>** émissivité du produit à traiter, **ε<sub>2</sub>** émissivité de l'émetteur, **σ** constante de Stephan Boltzmann (σ = 5,673 × 10<sup>-8</sup> w / m<sup>2</sup> • K<sup>4</sup>)

### IV.3- Place du séchage dans une optique valorisation

Une opération de séchage des boues après déshydratation mécanique présente différents atouts tant en amont de la valorisation agricole que de l'incinération. La siccité visée par le séchage dépend de l'application. En épandage, on a tendance à pousser le séchage à son terme, alors qu'un séchage partiel est parfois recherché pour l'incinération.

#### IV.3.1- Séchage et épandage

Une opération de séchage avant épandage présente de nombreux intérêts et permet notamment de rencontrer les exigences européennes en matière d'hygiénisation et de stabilisation.

Ces intérêts sont les suivants :

diminution du volume et de la masse par élimination de l'eau. Ces réductions influencent directement les frais de stockage, de transport et de manutention. Les boues granulées, en particulier, ne nécessitent pas de maintenance particulière durant le stockage ;

concentration des éléments nutritifs au sein du solide sec ;

stabilisation (réduction du pouvoir fermentescible), réduction des odeurs lorsque la siccité est supérieure à 90%. A ces siccités, la faible activité de l'eau inhibe tout développement bactérien

hygiénisation par destruction des micro-organismes pathogènes si la température est

Suffisamment haute (30 min à 70°C suffisent) ;

passage d'une texture pâteuse à une texture solide qui facilite l'épandage.

#### IV.3.2- Séchage et valorisation énergétique

L'oxydation par voie humide mise à part, tous les procédés de valorisation énergétique utilisent de la boue partiellement ou complètement séchée. L'intérêt principal du séchage est

l'augmentation du pouvoir calorifique. En effet, le PCI d'une boue déshydratée à 20% MS est voisin de 1,25 MJ/kg alors que celui d'une boue séchée à 90% MS se situe entre 14,5 et 16,8 MJ/kg. Un séchage partiel jusqu'à des siccités comprises entre 30 et 45% permet d'obtenir

L'auto-combustibilité des boues et trouve son application avant incinération dans un four spécifique. Un séchage mené de manière à atteindre 60 à 90% de matières sèches permet d'élever le PCI des boues au niveau de celui des ordures ménagères (8400 kJ/kg), ce qui est intéressant pour la Co-incinération. De cette façon, l'introduction de boues séchées ne perturbe pas le fonctionnement du four.

En ce qui concerne la pyrolyse ou la gazéification, le pré- séchage de la boue (85% MS) est généralement intégré au procédé et est obtenu dans un sécheur en amont.

#### **IV.3.3- Déshydratation par séchage solaire des boues :**

Le séchage se positionne comme un procédé intermédiaire, qui préserve l'ensemble des possibilités d'élimination ou de valorisation dans les principales filières actuelles. Le séchage a pour but d'éliminer par évaporation ou vaporisation l'eau imprégnant les boues.

Le principe des procédés actuels de séchage solaire des boues résiduelles consiste à utiliser l'effet de serre pour à la fois réchauffer l'air intérieur et les boues de manière à augmenter les vitesses de séchage. La puissance thermique transmise par convection, et rayonnement, réchauffe les boues et provoque l'évaporation de l'eau qu'elles contiennent.

Le séchage solaire présente également des contraintes par rapport aux odeurs générées. Pour un site situé à proximité d'habitations, les émissions d'odeurs lors du séchage peuvent être source de nuisances plus ou moins importantes selon la direction et la force des vents dominants et la présence ou non d'un dispositif de traitement de l'air.

#### **IV.3.4- Avantages du séchage solaire :**

Un bilan environnemental positif puisqu'il n'y a pas d'émission de gaz à effet de Serre

Faible consommation électrique pour le séchage des boues ;

Augmentation de la siccité du produit final (70% à 90%) ;

Augmentation du pouvoir calorifique des boues qui peut être intéressant en vue d'une incinération

Fonction de stockage et de séchage des boues ;

Gestion automatisée des boues ;

Produit plus attractif pour plusieurs débouchés ;



Faible cout d'exploitation et d'évacuation des boues ;

Faible cout de maintenance et d'entretient ;

De plus, cette technologie utilise une source d'énergie renouvelable.

#### **IV.4- Problématique actuelle du séchage solaire**

Le séchage solaire sous serre des boues est une technique toute récente ou la problématique industrielle bute sur deux points clefs : le dimensionnement du procédé et une meilleure connaissance des propriétés thermo physiques de la boue.

Concernant le premier point, le séchage solaire sous serre implique un bon transfert thermique à l'intérieur de la serre favorisant l'évaporation. A l'heure actuelle, le dimensionnement et les méthodes de conceptions des unités sont assez empiriques. Un outil prédictif capable de guider le concepteur serait un atout majeur.

Le second point important concerne la caractérisation de la boue en vue du séchage.

De ce point de vue, la notion d'eau libre-eau liée, qui permet d'évaluer la disponibilité de l'eau contenue.

Dans le matériau à sécher, est fondamentale en séchage. L'une des méthodes permettant de mesurer cette grandeur est la mesure d'isothermes de sorption. Outre la quantité d'eau libre et d'eau liée, cette méthode permet aussi de déterminer une seconde grandeur intéressante pour le dimensionnement, la teneur en eau minimale pouvant être atteinte par séchage

##### **IV.4.1- Différents procédés de séchage solaire :**

Technique empruntée aux industriels céréaliers, le séchage solaire est désormais appliqué au séchage des boues urbaines. Ce procédé consiste en un ensemble de serres qui, en piégeant le rayonnement solaire, permettent d'augmenter la température ambiante et d'évaporer l'eau inertielle contenue dans les boues. En hiver, lorsque l'ensoleillement est faible, les serres permettent alors de stocker les boues à l'abri des événements climatiques (pluie et froid), préjudiciables à leur séchage

Plusieurs systèmes ont été développés pour permettre d'améliorer le taux d'évaporation. Ces dispositifs concernent essentiellement :

La ventilation forcée de la serre à un débit élevé, afin de favoriser le transfert de l'eau interstitielle dans l'atmosphère et d'évacuer l'air humide et vicié vers une unité de désodorisation ;

Le retournement automatisé des boues. Ce qui doit permettre un brassage régulier et uniforme pour renouveler les surfaces d'évaporation, et une aération de la couche de boues afin de limiter les réactions de fermentation anaérobie,

Sources d'importantes nuisances olfactives ;

### IV.5-Modélisation

La zone de séchage à flux décroissant peut être modélisée par des lois comportementales simples. Le modèle décrit par l'Equation III.16 exprime la décroissance du flux observée sous la teneur en eau critique  $X_{cr}$  reliée par une loi de puissance à la réduction de la teneur en eau. Cette écriture permet de rendre compte, de manière simple, la cinétique de séchage de différents types de produits séchés dans diverses configurations (Nadeau et Puiggali, 1995).

$$\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \left(-\frac{dX}{dt}\right)_{(T, Hr, U_i)} \left(\frac{X - X_{eq}}{X_{cr} - X_{eq}}\right)^\beta \quad (\text{Equation IV.8})$$

L'écriture et l'intégration des bilans complets de matière et de chaleur ont été largement étudiées dans le cas de solides rigides. Depuis les premiers travaux de Lewis (1921) jusqu'à ce jour, des modèles phénoménologiques de plus en plus élaborés ont été proposés par différents auteurs. Luikov (1966) a appliqué la thermodynamique des phénomènes irréversibles pour modéliser le transfert couplé de chaleur et de matière dans un milieu poreux. Plus tard, il proposa un modèle à deux zones dans le cas de solides capillaires qui développent une zone sèche en surface (receding front model) (Luikov, 1975).

Pour la détermination des coefficients de transfert de masse, Suzuki et Maeda (1968) formulèrent un modèle tenant compte de la coexistence de zones sèches et humides à la surface du matériau. Krisher et Kast (1978) ont proposé un modèle 'multi-mécanisme' en considérant que le transfert d'eau s'effectue par capillarité et par diffusion en phase gazeuse.

La théorie de la prise de moyenne sur un volume élémentaire représentatif a été introduite dans le domaine du séchage par Whitaker (1977). Perré a développé des outils mathématiques adaptés à cette théorie (Perré et Degiovanni, 1990 ; Perré et Turner, 1999).

#### IV.5.1- Courbe caractéristique de séchage

La complexité des phénomènes intervenant au cours du séchage, la difficulté de déterminer certains paramètres comme la diffusivité, et le fait qu'il est toujours nécessaire d'avoir recours à l'expérimentation pour ajuster des constantes, ont fait que certains

spécialistes se sont orientés vers une démarche empirique, l'idée étant, à partir de quelques simples expériences de séchage, de déterminer une loi applicable au plus grand nombre de conditions opératoires.

C'est ainsi que Van Meel (1957) puis Kris cher et Kast (1978), ont proposé un mode de représentation des résultats de différentes expériences permettant, pour un produit donné, de tracer une courbe unique dite courbe caractéristique de séchage. Cette courbe permet le regroupement de résultats acquis dans des conditions différentes de vitesse d'air, de température et de taux d'humidité de l'air

#### **IV.5.2- Model numérique de séchage solaire sous serre**

Pour améliorer l'efficacité énergétique des procédés du séchage solaire sous serre des boues, il apparaît nécessaire de développer une meilleure connaissance de l'outil 'serre boue', ceci afin d'aboutir à des règles de conception moins empiriques qu'actuellement et prenant mieux en compte les processus mis en jeu.

L'intégration des connaissances acquises sous forme d'un modèle global de séchage solaires de boues résiduaire urbaine a pour but de permettre, pour une configuration de système donnée, de prévoir l'évolution de la vitesse de séchage nécessaire à l'obtention d'une siccité souhaitée. Par ailleurs la conception du modèle devra pouvoir intégrer en entrée la prise en compte des conditions climatiques locales (ensoleillement, températures moyennes, etc.) du lieu d'implantation du dispositif de séchage.

Le modèle recherché devra par ailleurs permettre de comparer différents mode de conduite du procédé et donc œuvrer à une gestion plus optimale de ce moyen de séchage. D'une manière générale, quel que soit le produit à sécher, les éléments de base à représenter pour construire un modèle de sécheur solaire direct sont les suivants :

- l'environnement extérieur ;
- la couverture ;
- l'air intérieur ;
- le produit à sécher (la boue dans notre cas) ;

L'ensemble des modèles répertoriés repose sur l'écriture de bilans massiques et énergétiques sur ces différents éléments. La modélisation du séchage solaire des boues est basée sur la prise en compte simultanée d'échanges de chaleur et d'échanges de vapeur d'eau, physiquement très couplés.

La serre constitue un système énergétique complexe dans lequel la plupart des modes de transferts thermiques sont mis en jeu.

Les différents modes de transferts thermiques mis en jeu sont :

les apports solaires au travers du matériau de la couverture ;

les échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre les différents éléments ;

les échanges de convection à la surface de la couverture et à celle de la boue ;

l'évaporation au niveau de la boue ;

le renouvellement d'air dû à la perméabilité de la serre ou à une ventilation mécanique

#### **IV.6.1- Description du modèle**

Les différences entre les modèles proposés dépendent notamment du mode de représentation des phénomènes mis en jeux, des hypothèses posées pour simplifier leur représentation mathématique, des valeurs estimées ou mesurées des paramètres caractéristiques, notamment ceux liés à la nature du produit à sécher

Le modèle proposé repose sur une approche globalement similaire : c'est un modèle de connaissance dynamique mono dimensionnel, qui s'articule autour de la formulation des bilans d'énergie instantanés des différents composants de la serre. Chacun des éléments du modèle est caractérisé par une variable d'état : la température.

La boue est en plus caractérisée par sa teneur en eau. On retiendra l'hypothèse d'une distribution uniforme des différentes variables. Cette hypothèse à l'avantage de permettre la formulation d'équations dont la solution représentera l'état moyen des variables. On suppose également que :

La serre est considérée comme un système physique dont les conditions aux limites sont les données météorologiques (température et humidité de l'air extérieur, vitesse du vent, rayonnement solaire global) ;

La couverture de la serre est considérée comme une surface de faible épaisseur où l'échange par conduction entre la face extérieure et intérieure peut être négligé.

Sont négligés les apports énergétiques éventuels :

la convection des faces latérales avec le milieu extérieur ainsi que l'intérieur de la serre et ceux des radiations solaires captées par les faces latérales de la serre ;

l'échange conductif entre la boue et son support

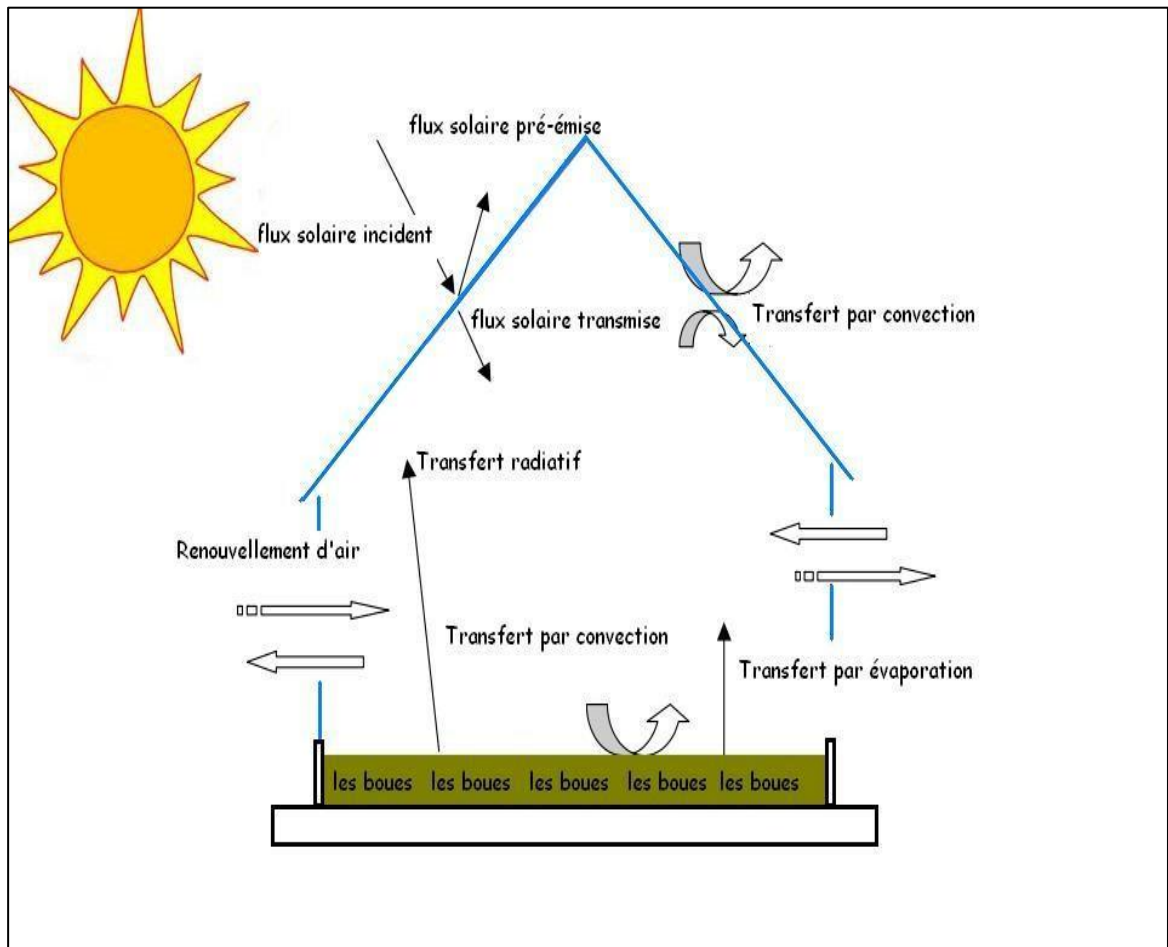


Figure IV.1 Schéma de mécanismes dans un modèle de sécheur solaire

## IV.6.2- Analyse physique du modèle

### IV.6.2.1- Représentation des composants de la serre

Basé sur les travaux de thèse de Doctorat de Houa Amadou l'analyse physique du modèle est représentée par des composants suivants :

Géométrie global de la serre

Quatre paramètres géométriques définissent la structure globale de la serre : sa longueur ( $L$ ), sa largeur ( $l$ ), son volume intérieur ( $V$ ), et la direction de son grand axe par rapport à l'axe géographique nord-sud et comptée positivement vers l'ouest. La serre étant supposée symétrique, son orientation est définie à 180 degrés près.

Les propriétés tant géométriques que physiques de la serre seront supposées uniformes dans la direction de son grand axe : la serre sera donc assimilée à sa section droite transversale et les effets de bord liés aux extrémités seront négligés

Représentation de la couverture

Dans le cas le plus général, la couverture est subdivisée en trois éléments :

- ✓ une paroi extérieure (qui sera dite 'couverture extérieure'  $C_e$ ) ;
- ✓ une paroi intérieure (dite 'couverture intérieure'  $C_i$ ) ;
- ✓ une fluide inter-paroi (F).

Le fluide inter-parois correspond à l'espace compris entre les parois de couverture et pourra être soit de l'air (classiquement), soit un autre gaz (mélange gaz air/gaz carbonique par exemple) soit un liquide (eau ou solution aqueuse).

La couverture intérieure lorsqu'elle est présente, est supposée être de même taille que la couverture extérieure. A chacun de ces éléments est associée sa température comme variable d'état. Dans le cas de notre étude, la couverture est considérée comme simple paroi et les éléments  $C_i$  et F seront ignorés, de même que leur variable d'état associée.

Représentation de l'air intérieur

L'air intérieur est caractérisé par une variable d'état : sa température. L'hypothèse d'uniformité volumique de la variable d'état a été admise par souci de simplification ; il faut cependant garder à l'esprit le fait que, dans la réalité, un gradient de température pourra apparaître au niveau vertical entre le haut et le bas de la serre, ou même au niveau horizontal entre une extrémité et l'autre de la serre.

La température de l'air ainsi définie doit être considérée comme une valeur moyenne conduisant aux mêmes effets globaux.

Représentation de la boue

Dans les serres industrielles les boues sont stockées à quelques dizaines de centimètres de hauteurs (30 à 40 cm), compatibles avec la taille des retourneurs. Dans notre modèle, on considère le séchage à couche mince d'environ 2 à 3 cm de hauteur de boue afin de se détacher du retournement de la boue.

L'état de la boue est caractérisé par sa température et la teneur en eau supposées uniformes sur l'ensemble de la couche.

### ➤ **Environnement extérieur**

L'environnement extérieur, intervient par un ensemble de paramètres climatiques qui conditionnent l'intensité de divers flux énergétiques. Il est caractérisé par les paramètres suivants :

La température, et l'humidité relative de l'air extérieur, mesurées à une distance supposée constante de la paroi, sont des facteurs qui interviennent d'une part dans l'échange

convectif avec la face externe de la couverture, d'autre part dans l'échange par renouvellement d'air ;

la vitesse moyenne du vent, mesurée à une certaine hauteur au-dessus du sol, agit sur la valeur du coefficient d'échange convectif à la face externe de la couverture, et sur l'intensité du renouvellement d'air ;

le rayonnement solaire global parvenant au sol, sur une unité de surface horizontale

#### IV.6.2.2- Ecriture des bilans thermiques et massiques

Pour construire le modèle mathématique, la méthode des bilans thermiques pour chaque composant est utilisée. En évaluant les gains et les pertes, ces bilans traduisent le principe de conservation de l'énergie appliqué à chaque élément du modèle.

Le premier principe exprime la conservation de l'énergie de l'ensemble {Système + milieu extérieur} pour un système fermé limité par une surface au travers de laquelle peuvent s'effectuer des échanges énergétiques. Il s'écrit sous forme de bilan où la variation d'énergie  $\Delta E$  totale du système entre deux états  $t_1$  et  $t_2$  est égale à la somme des travaux  $W$  et chaleurs  $Q$  reçus par le système pendant son évolution entre ces deux états :

$$\Delta E = W + Q \text{ ou } E_2 - E_1 = W_{1 \rightarrow 2} + Q_{1 \rightarrow 2} \quad (\text{Equation IV.9})$$

Le premier principe est aussi connu sous le nom de principe d'équivalence, dans la mesure où il exprime l'équivalence entre les diverses formes d'énergie.

En d'autres termes, il s'agit d'un bilan global dans lequel l'énergie peut se manifester ou se transformer sous une forme ou une autre.

Le premier principe s'écrit sous la forme d'un bilan de puissances mécaniques et calorifiques en travaillant entre deux instants voisins  $t$  et  $t+dt$  :

$$\frac{dE}{dt} = P_{méca} + P_{cal} \quad (\text{Equation IV.10})$$

#### ➤ Convention de notation des flux

Par souci de simplification et de clarté dans l'écriture des différents bilans, il a été convenu de noter les flux énergétiques de la façon suivante :

$$\Phi_{\text{IndFIndEIndR}}$$

Avec :

IndF = indice correspondant à la nature du flux

IndE = indice correspondant à l'élément émetteur

IndR = indice correspondant à l'élément récepteur

Lorsque l'élément de départ (IndE) n'est pas précisé dans le flux, cela signifie que l'expression du flux correspond à un bilan net de ce qui est capté par l'élément, c'est à dire la différence, pour une nature de flux donnée, entre le flux reçu et le flux transmis (cas du rayonnement solaire, et de l'inertie thermique pour la couverture par exemple).

**Tableau IV.2 Récapitulatif de la notation des flux**

Nature de flux (IndF)	Type d'élément (IndE/IndR)
R : Flux de rayonnement solaire	ae : air extérieur
I : Flux de rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde	c : couverture
C : Flux de convection	ai : air intérieur
i : Inertie thermique	b : boue
	v : voûte céleste

#### IV.6.2.2.1- Bilans énergétiques :

Bilan sur la couverture

$$\phi R_c + \phi I_{cv} + \phi I_{cb} - \phi C_{cae} + \phi c_{aic} = \phi i_c \quad (\text{Equation IV.11})$$

Avec :

$\phi R_c$  = flux net de rayonnement solaire reçu par la couverture

$\phi I_{cv}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la voûte céleste

$\phi I_{cb}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la boue

$\phi C_{cae}$  = flux convectif de la couverture vers l'air extérieur

$\phi c_{aic}$  = flux convectif de l'air intérieur vers la couverture

$\phi i_c$  = flux d'accumulation d'inertie thermique de la couverture

Bilan sur l'air intérieur

$$\phi c_{bai} - \phi c_{aiae} - \phi c_{aic} = \phi i_{ai} \quad (\text{Equation IV.12})$$

avec :

$\phi c_{bai}$  = flux convectif de la boue vers l'air intérieur

$\phi c_{aiae}$  = flux convectif de l'air intérieur vers l'air extérieur



$\phi_{caic}$  = flux convectif de l'air intérieur vers la couverture

$\phi_{iai}$  = flux d'accumulation d'inertie thermique de l'air intérieur

Bilan thermique de la boue

$$\phi_{Rb} + \phi_{Ibc} - \phi_{Cbai} - m L_v = \phi_{ib} \quad (\text{Equation IV.13})$$

avec :

$\phi_{Rb}$  = flux net de rayonnement solaire reçu par la boue

$\phi_{Ibc}$  = flux de rayonnement infrarouge émis vers la couverture

$\phi_{Cbai}$  = flux convectif de la boue vers l'air intérieur

$\phi_{ib}$  = flux d'accumulation d'inertie thermique de la boue

$m$  = flux massique d'eau évaporée de la boue

$L_v$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau

#### IV.6.2.2- Bilans massiques :

Bilan massique en eau sur la boue :

$$m = M_s \left( - \frac{dX}{dt} \right) \quad (\text{Equation IV.14})$$

$m$ : flux massique d'eau évaporée de la boue

$M_s$ : masse sèche de la boue

### IV.7 Conclusion

Un séchoir solaire est un dispositif permettant de sécher la boue par circulation d'air chauffé, l'apport en énergie est fourni par le solaire.

Le séchage est caractérisé par plusieurs paramètres : la température de séchage, la vitesse de séchage, la durée d'exposition, le dimensionnement du dispositif de séchage, le taux de siccité (taux d'humidité), les caractéristiques des matériaux absorbants, transparents et isolants.





***Chapitre V***  
***Application numérique***

## V.1- Introduction

La valorisation par séchage des boues d'épuration des eaux usées gérées par l'Office National de l'assainissement, ONA – Ghardaïa est un remplacement de séchage par lit par convection naturelle séchage envisagé dans cette station par le séchage solaire sous serre.

Un séchoir solaire est un dispositif permettant se sécher la boue par circulation d'air chauffé, l'apport en énergie est fourni par le solaire.

Le séchage est caractérisé par plusieurs paramètres : la température de séchage, la vitesse de séchage, la durée d'exposition le dimensionnement du dispositif de séchage, le taux de siccité (taux d'humidité), les caractéristiques des matériaux absorbants, transparents et isolants.

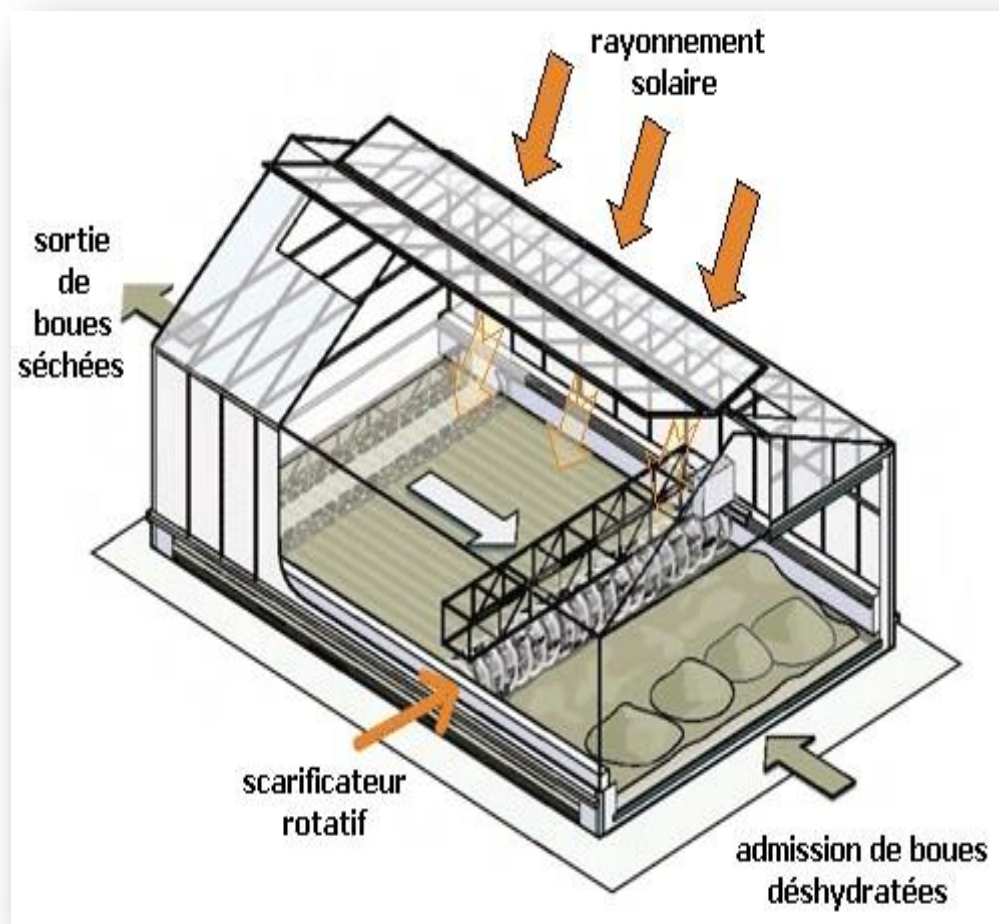
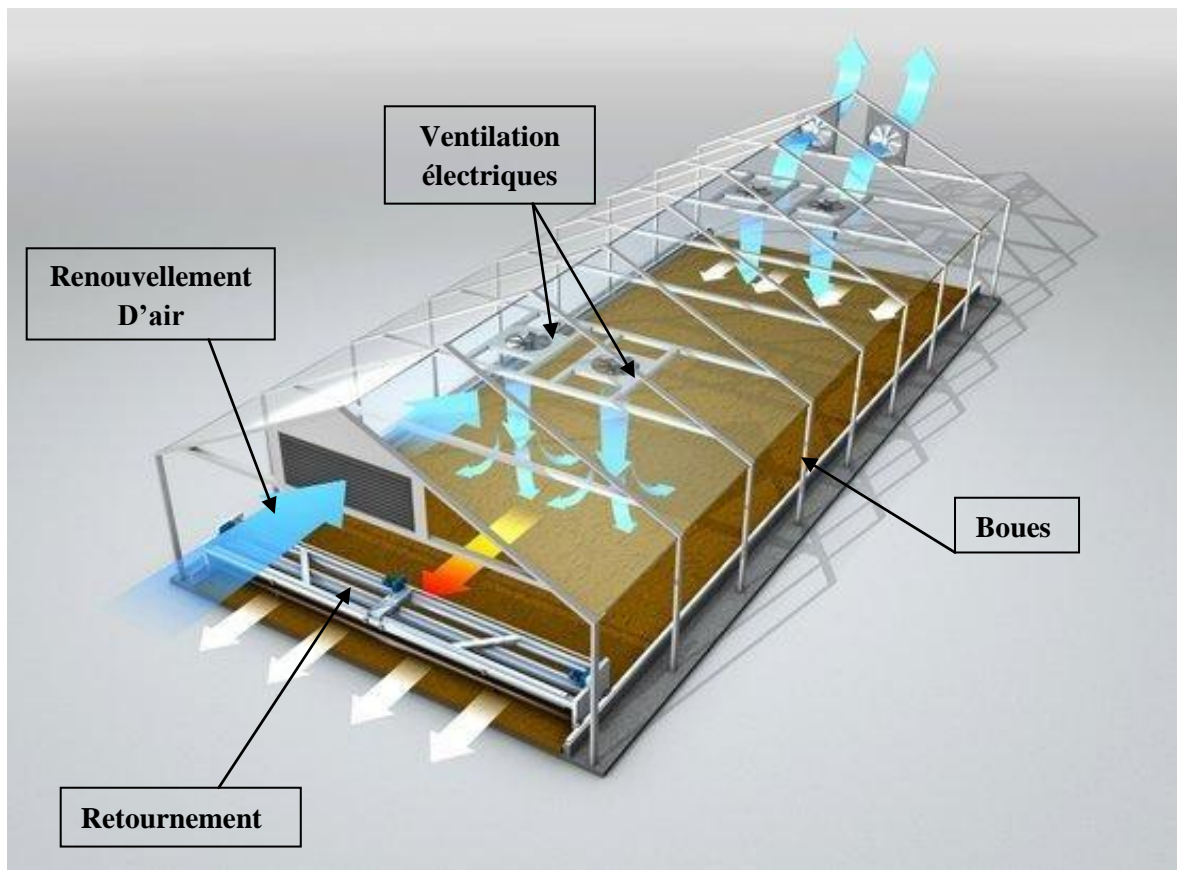


Figure V.1 -Schéma d'une serre ouverte a convection libre



**Figure V.2 - Schéma d'une serre fermée a convection forcée**

Quatre variables opératoires sont fixées durant les essais : la température, la vitesse superficielle, l'humidité de l'air et le rayonnement de la source lumineuse. L'acquisition de la masse est réalisée toute la 1 minute.

Toutes nos expériences sont effectuées à une température et humidité de consigne constante.

## **V.2. L'obtention des courbes de séchage :**

L'obtention de la courbe caractéristique de séchage, et le calcul du flux massique d'eau nécessitent la connaissance de la vitesse de séchage :

### **➤ Calcul de la vitesse de séchage**

L'acquisition des données expérimentales sur la masse de la boue permet de représenter la courbe donnant la perte de masse (kg) en fonction du temps (s). Cependant on a coutume d'utiliser la teneur en humidité du produit sur base sèche ( $X$ , kg eau /kg masse sèche) et non la masse, pour tracer la courbe de séchage.

Selon l'usage, ces données sont transformées afin de tracer soit la courbe de vitesse de séchage soit la courbe dite de Krischer (Kemp et al., 2001) selon que la vitesse de séchage ( $-\frac{dX}{dT}$ ) est représentée en fonction du temps ou de la teneur en eau sur base sèche.

### V.2.1-Méthode de détermination de la courbe caractéristique de séchage

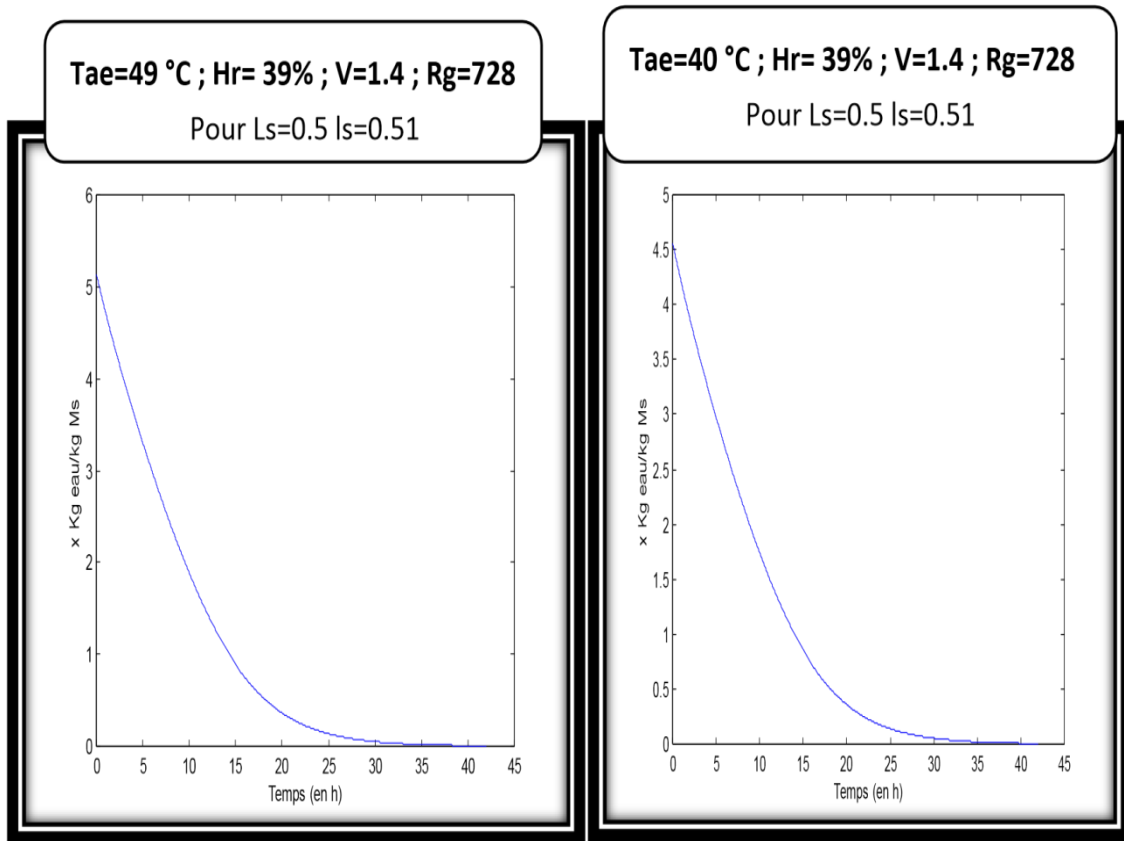
Il suffit de connaître les valeurs de la teneur en eau initiale et d'équilibre pour pouvoir décrire la cinétique du séchage dans n'importe quelle condition de l'air.

Le principe de la courbe caractéristique de séchage est de réduire l'ensemble des données expérimentales de manière à pouvoir les mettre sous forme utilisable.

Pour y parvenir, la démarche suivie consiste en une normalisation en représentant le rapport de la vitesse de séchage à un instant  $t$  ( $-\frac{dX}{dT}$ ) à la vitesse de première phase

Cette partie présente les différents résultats obtenus par la simulation sous MATLAB, pour l'étude, du comportement du séchage des boues dans un séchoir solaire direct.

➤ **Distribution de la teneur en eau**



**Figure V.3.A**

**Figure V.3.B**

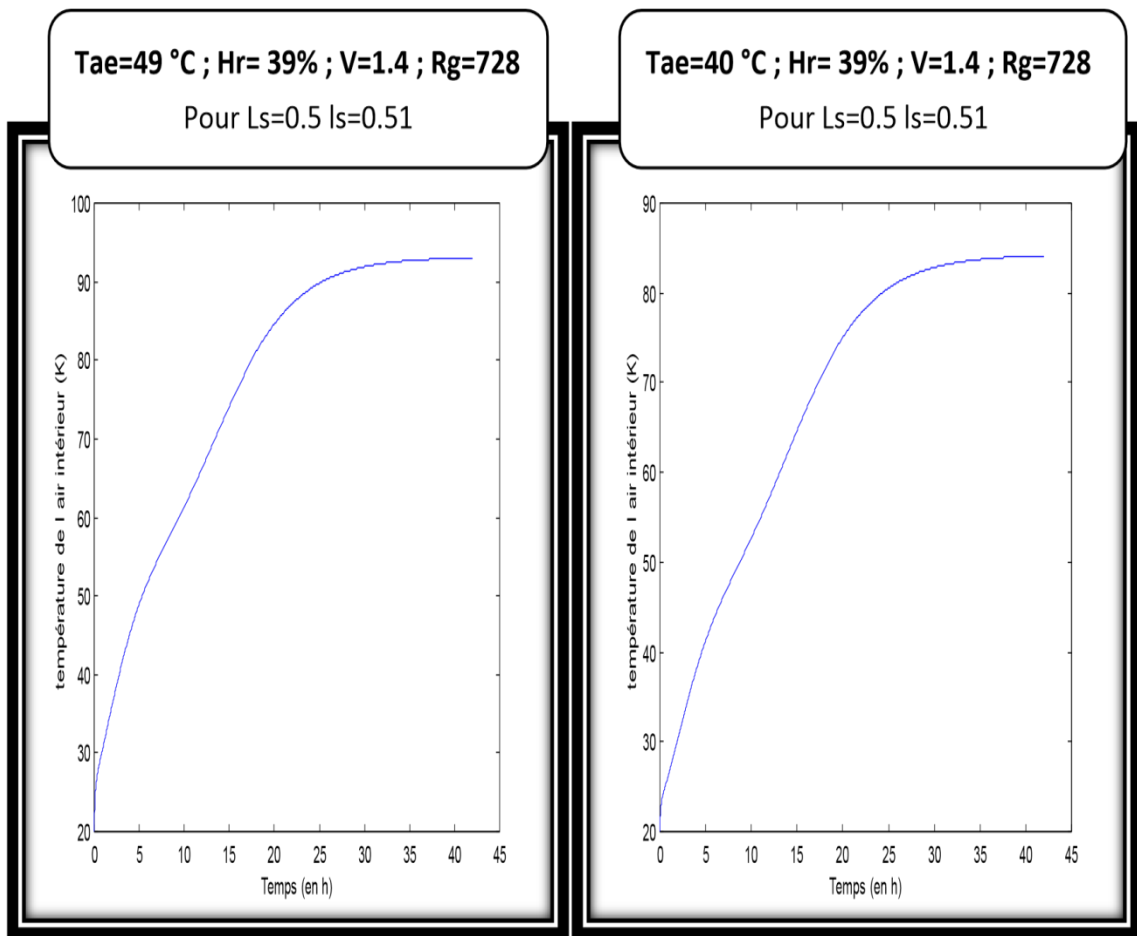
**Figure V.3 - Courbes de séchage représentant l'évolution des teneurs en eau sur base sèche, en fonction du temps.**

Les Figures (V.3.A et V.3.B) représentent, pour différentes conditions d'air asséchant, l'évolution des teneurs en eau base sèche en fonction du temps. La diminution attendue des temps de séchage est bien observée quand la température de l'air augmente.

Ceci se traduit par une augmentation de la vitesse de séchage. Nous constatons également que l'augmentation du rayonnement solaire globale  $R_g$  entraîne une diminution de l'humidité relative de l'air à l'intérieur de la serre. Par conséquent, un taux de séchage plus élevé est constaté,



➤ **La température de l'air intérieur :**



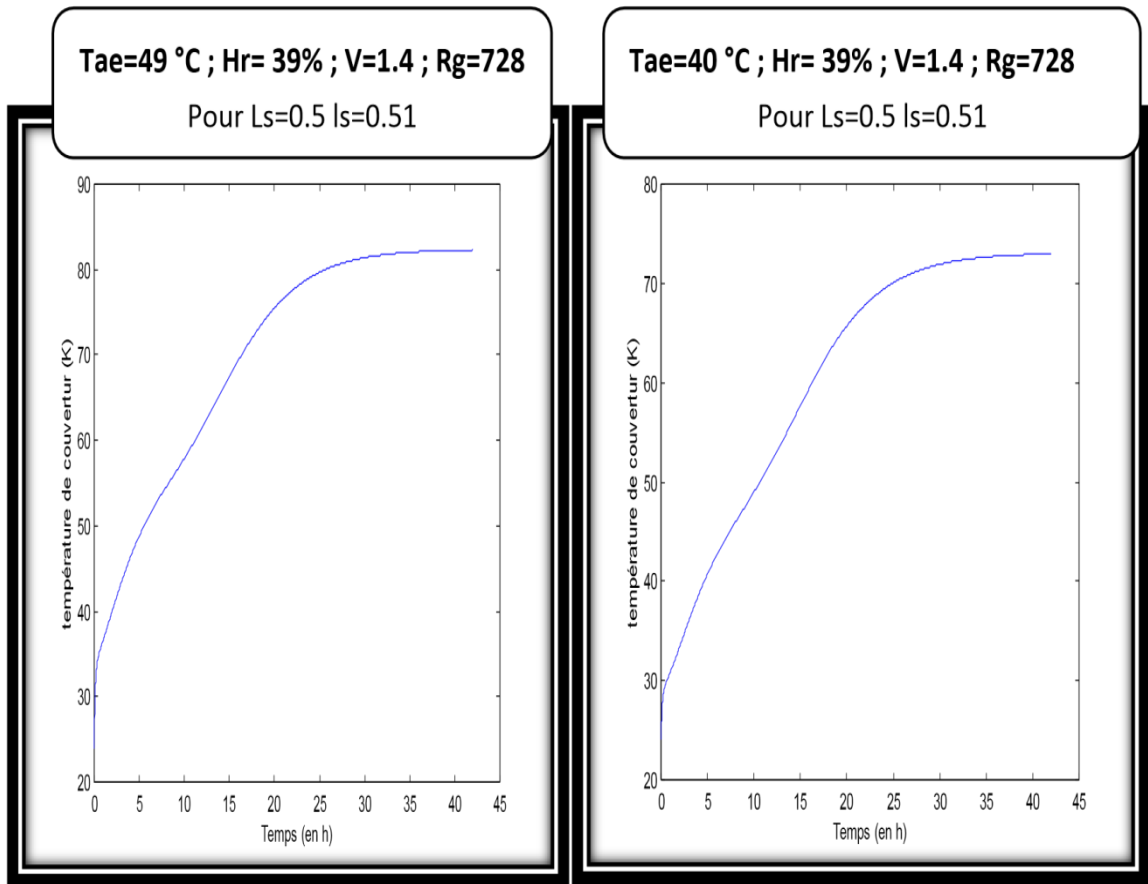
**Figure V.4.A**

**Figure V.4.B**

**Figure V.4- Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de l'air intérieur en fonction du temps.**

La température de l'air est l'un des paramètres les plus influents sur le processus de séchage. En effet, la température de l'air intérieur est couplée avec celle de la boue ainsi que celle de la couverture à travers le phénomène de convection. Les Figures ( V.4.A et V.4.B) illustrent, pour différentes conditions d'air asséchant, l'évolution de la température de l'air intérieur en fonction du temps. De la même manière que les résultats précédents, il apparaît que temps de séchage est intimement lié au rayonnement solaire globale

➤ **La température de couverture :**



**Figure V.5.A**

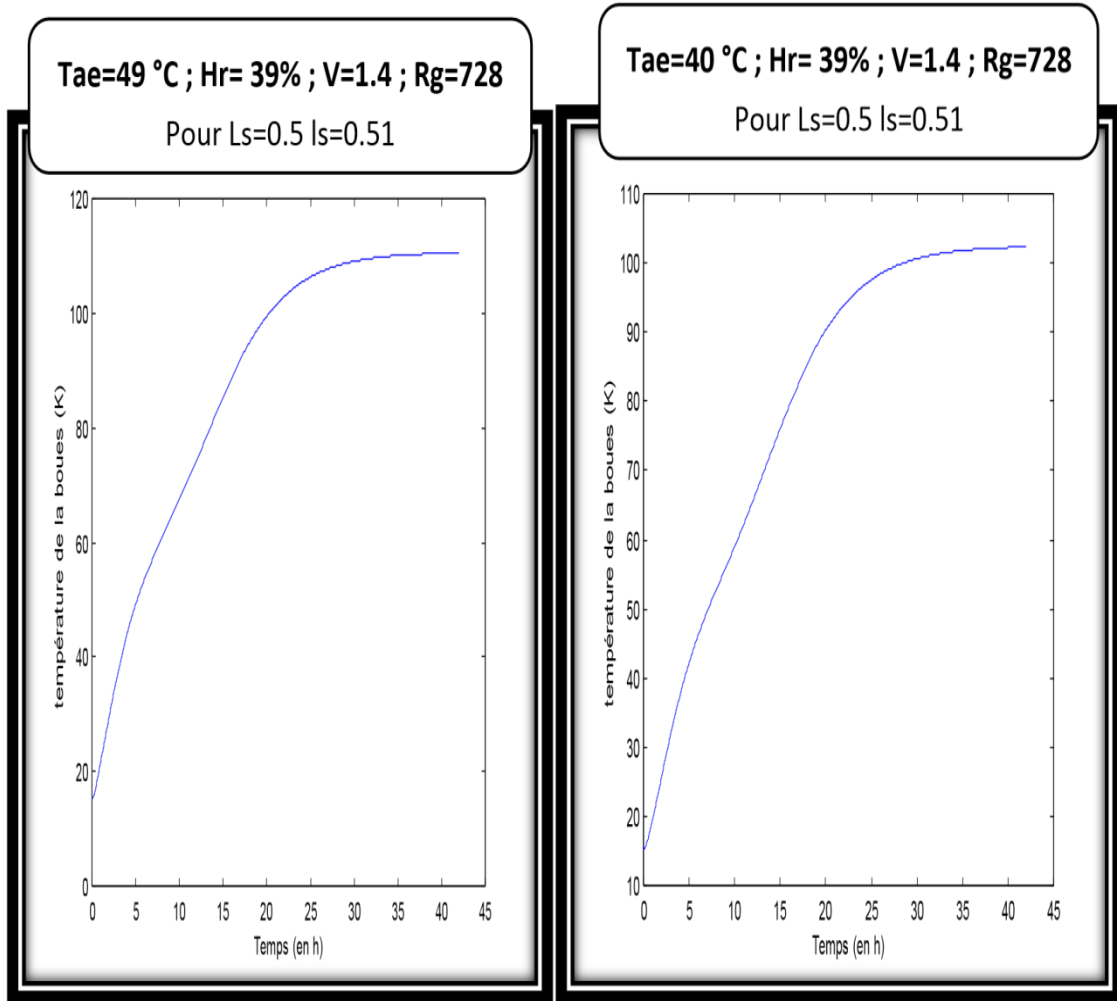
**Figure V.5.B**

**Figure V.5- Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de couverture en fonction du temps.**

On remarque sur les Figures ( V.5.A et V.5.B) que les températures de la couverture en contact avec le milieu extérieur et le milieu intérieur dépendent des conditions régnant dans ces deux milieux. De ce fait, elles dépendent du rayonnement

Global ainsi que de la vitesse de l'air à l'intérieur et surtout celle de l'extérieur.

➤ **La température de la boue**



**Figure V.6.A**

**Figure V.6.B**

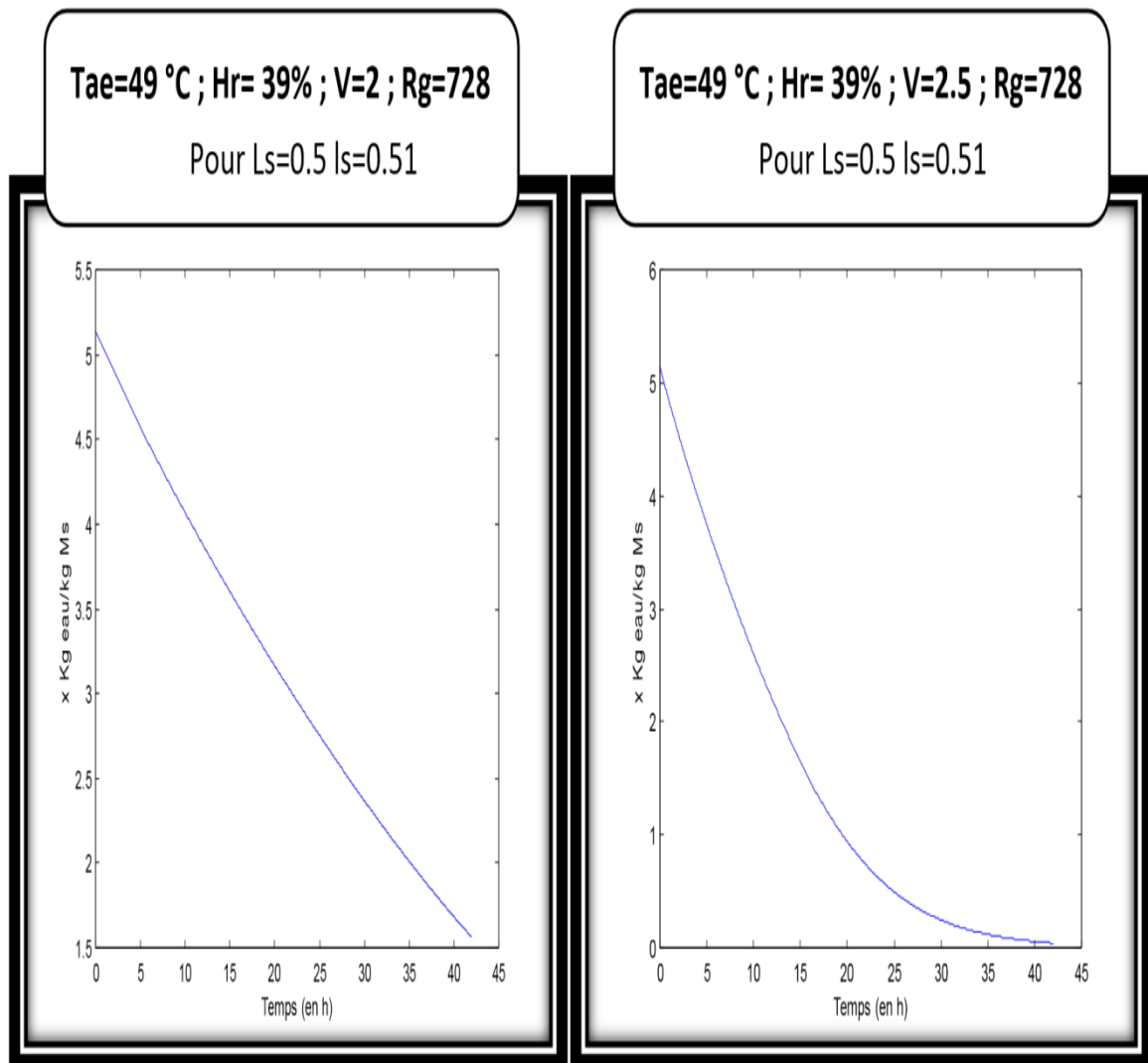
**Figure V.6** Courbes de séchage représentant l'évolution de la température de boue en fonction du temps.

On remarque sur les figures ( V.6.A et V.6.B) que pour différentes conditions d'air asséchant, l'évolution de la température de la boue en fonction du temps, augmente durant le temps de séchage et ceci grâce à l'échange convectif entre l'air intérieur et la boue.

La diminution de temps de séchage est bien observée quand la température de l'air augmente, la conséquence de l'augmentation de rayonnement solaire globale. En conclusion, le temps de séchage diminue.

### V.2.2- Analyse de l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur le séchage

#### ➤ Distribution de la teneur en eau



**Figure V.7.A**

**Figure V.7.B**

**Figure V.7- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur les teneurs en eau en fonction du temps.**

Les figures ( V.7.A et V.7.B) représentent, pour différents débits d'air séchant dans la serre, l'évolution des teneurs en eau base sèche en fonction du temps. La diminution attendue des temps de séchage est bien observée quand le débit d'air séchant dans la serre va changer, en conclusion que le débit d'air séchant de la serre influencer sur le séchage des produits (boues).

➤ **La température de l'air intérieur**

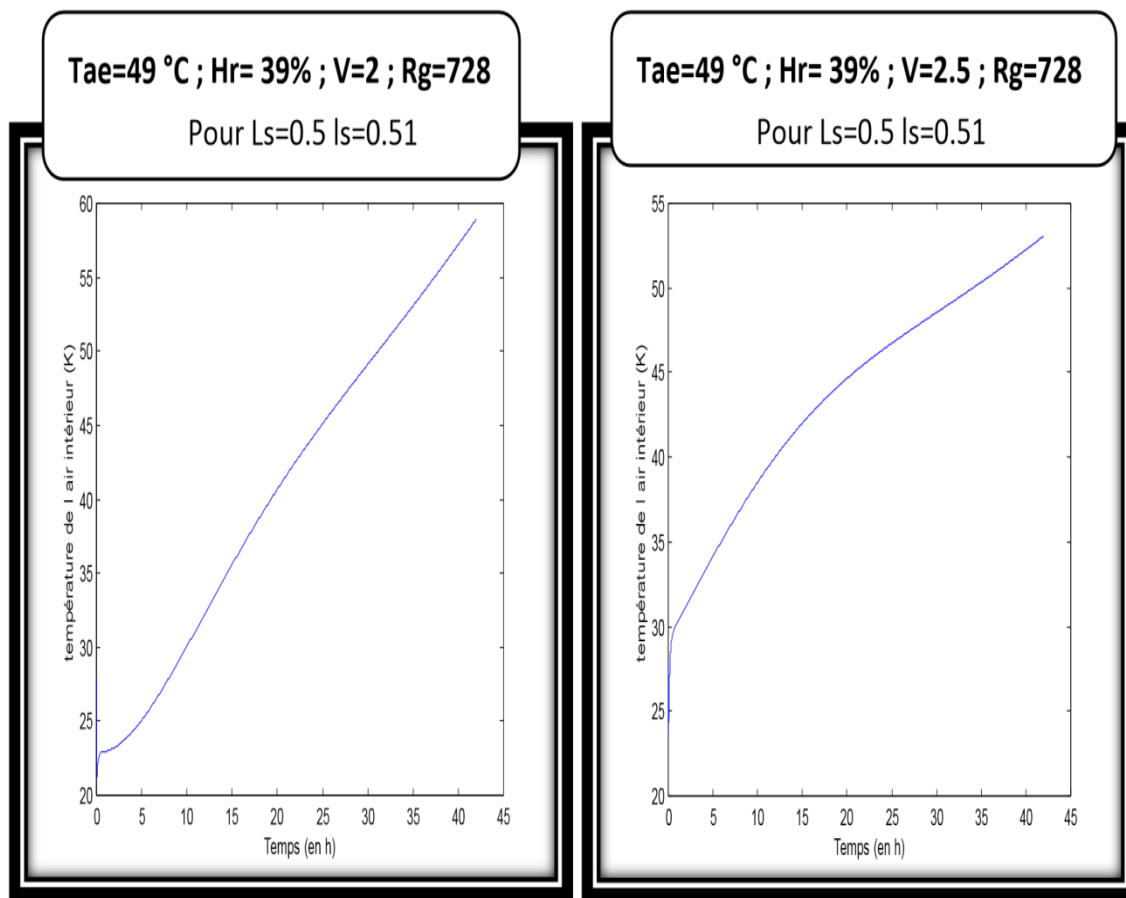


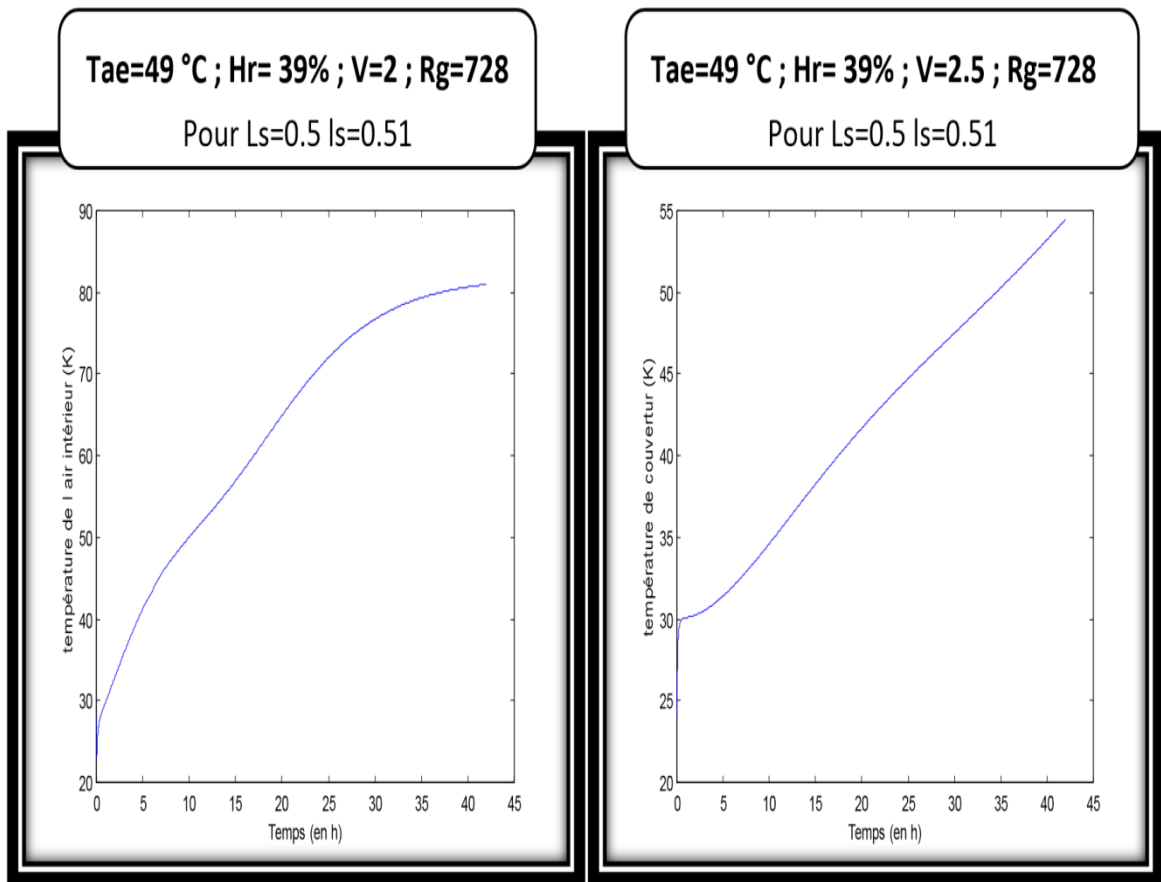
Figure V.8.A

Figure V.8.B

**Figure V.8- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur la température de l'air intérieur en fonction du temps**

La température de l'air est l'un des paramètres les plus influents sur le processus de séchage. En effet, la température de l'air intérieur est couplée avec celle de la boue ainsi que celle de la couverture à travers le phénomène de convection. Les figures (V.8.A et V.8.B) illustrent, pour différents débits d'air séchant dans la serre, l'évolution de la température de l'air intérieur en fonction du temps. De même manière que les résultats précédents, il apparaît que temps de séchage est intimement lié au débit d'air séchant dans la serre et le rayonnement global.

➤ **La température de couverture**



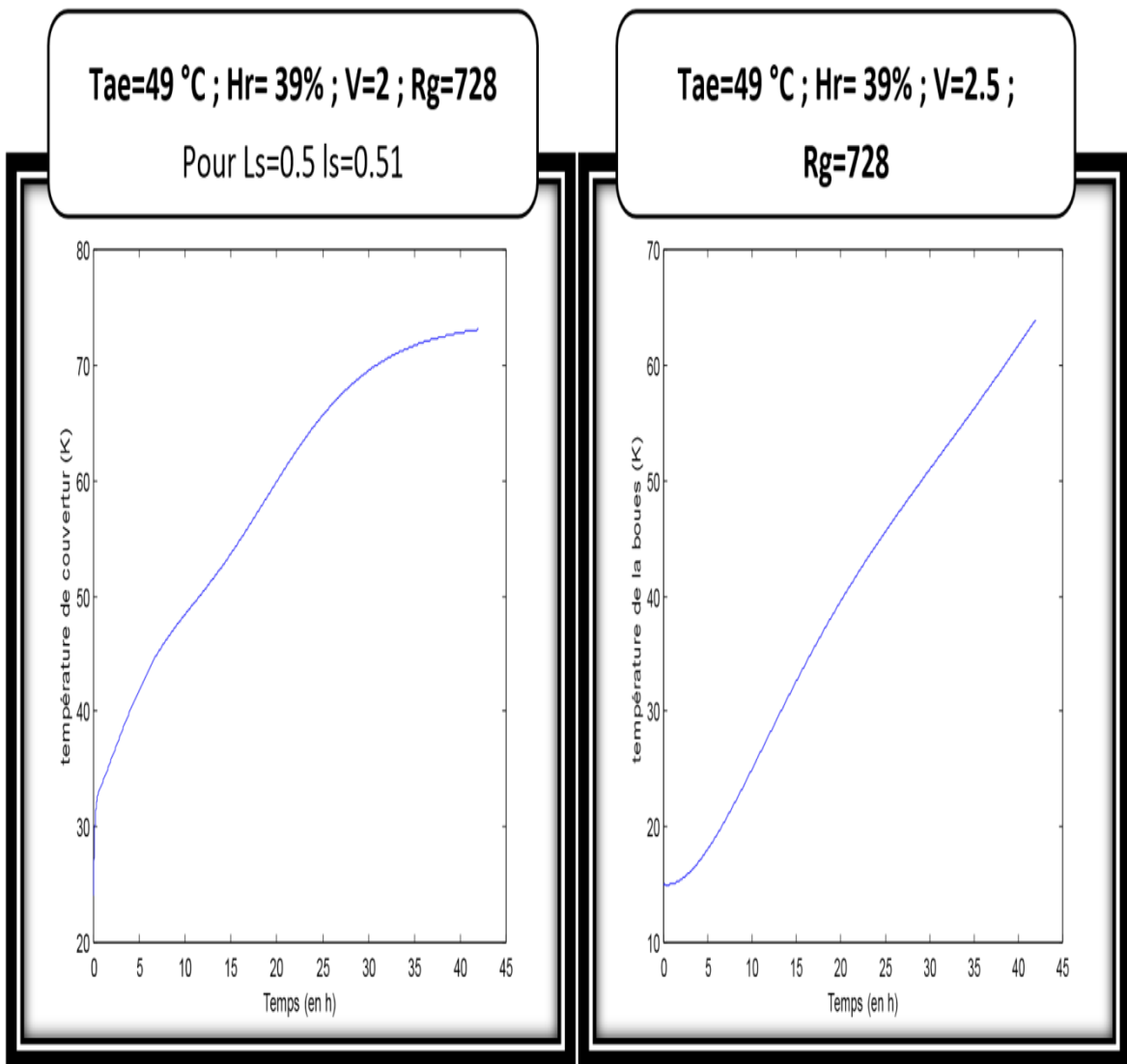
**Figure V.9.A**

**Figure V.9.B**

**Figure V.10- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur la température de couverture en fonction du temps**

On remarque sur les figures ( V.9.A et IV.9.B) que les températures de la couverture en contact avec le milieu extérieur et le milieu intérieur dépendent des conditions régnant dans ces deux milieux. De ce fait, elles dépendent de l'influence de débit d'air séchant dans la serre ainsi que le rayonnement global et du paramètre géométriques de la serre. Aussi la vitesse d'air extérieur.

### ➤ La Température De La Boue



**Figure V.10.A**

**Figure V.10.B**

**Figure V.10- Courbes de séchage représentant l'influence de débit d'air séchant dans la serre sur la température de boue en fonction du temps.**

On remarque sur les figures (Figure V.11.A et Figure V.11.B) que l'évolution du débit d'air séchant dans la serre influe sur le séchage et la température de boues. L'évolution de la température de la boue en fonction du temps, augmente durant le temps de séchage et Ceci grâce à l'échange convectif entre l'air intérieur et le produit.

**V.3- Conclusion :**

Dans ce présent travail, nous sommes intéressés au séchage solaire, et plus particulièrement à l'étude de la cinétique du séchage et de certains aspects des séchoirs solaires tels que le rayonnement solaire global.

Pour se faire, nous avons procédé à la travaille de notre séchoir, en adoptant des modèles respectifs à la serre trouvés dans la littérature. Une tentative de résolution numérique Certains résultats ont pu être validés dans la littérature. En conclusion, il advient que la vitesse d'écoulement de l'air asséchant, de la température du milieu extérieur ainsi que le rayonnement solaire influent considérablement sur la quantité d'eau évaporée de la boue.

En perspective de notre travail, nous projetons d'étendre l'étude de la cinétique et du rendement, en concevant et réalisant un séchoir réel, sur la base des résultats obtenus par le présent travail.



## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Dans le cadre du mémoire de fin d'étude, nous avons essayé d'étudier et d'appliquer l'étape de valorisation par séchage solaire de boues d'épuration des eaux urbaines en vue d'améliorer la siccité de cette boue pour son utilisation comme fertilisant dans le domaine agricole.

Durant notre travail, nous sommes intéressés à la mesure des divers paramètres de l'étude, à savoir : la température intérieure, la température ambiante extérieure, les humidités intérieure et extérieure, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la cinétique de séchage.

Ces mesures ont été effectuées sur une serre de valorisation de la station STEP de Ghardaïa, complétées par une étude mathématique de cinétique de séchage sur une valorisation de séchage à la station El atteuf. Cette expérimentation a abouti à la constatation suivante : Pour la conservation des propriétés de la boue, le paramètre siccité s'avère très important. Ce paramètre est étroitement lié à la capacité thermique, ainsi qu'aux isothermes de désorption de l'eau. L'utilisation du lit de séchage couvert ( serre solaire) a permis une diminution du temps de séchage des boues et une maîtrise des paramètres de fonctionnement ( $T$ ,  $T^\circ$ ,  $H$ ,  $V$ , dégagement des odeurs) comparativement au comportement du lit non couvert (séchage à ciel ouvert).

## Reference bibliographique

- [1] ANRH « Inventaire des forages » ; 2011 ; Ghardaïa.
- [2] DPAT « Monographe de la wilaya de Ghardaïa » Ghardaïa ; 2014.
- [3] ANRH « Note piézométrique » Ghardaïa ; 2010  
« Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa » ; Ouargla  
DRE « rapport sur la situation de secteur de l'hydraulique » Ghardaïa ;
- [4] guerbati karima, étude du dysfonctionnement des différents ouvrages de la step de kef doukhane (el-atteuf) du groupement urbain de la ville de ghardaïa, avec proposition des solutions et valorisation des eaux purifiées, thèse de master
- [5] Boudez, j.-c., Rhéologie et physico-chimie des boues résiduelles pâteuses pour l'étude du stockage et de l'épandage. Thèse de doctorat Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF) de Paris
- [6] Nadia Chalal « Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect » s Université Mentouri- Constantine.
- [7] Haoua Amadou « Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station de traitement Urbains » Thèse de doctorat Université Louis Pasteur- Strasbourg I Discipline:
- [8] Mr. Yousfi Mustapha « Etude d'un séchoir solaire de boue » Université abu bakr balkaid-Tlemcen.
- [9] Léonard, A., Etude du séchage convectif de boues de station d'épuration suivi de la texture par micro-tomographie à rayons x, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Appliquées Université de Liège.
- [10] Alimentation par les monts de M'Zab lors des crues exceptionnelles. (UNESCO, 1972).
- [11] ONM : *office national de météorologique*

## RESUME

Le travail effectué dans le cadre de mémoire concerne le séchage solaire de boues urbaines Produites au niveau de la station d'épuration des eaux usées de la ville de El Atteuf.

L'objectif de ce travail consiste à valorisation la boue urbaine vue de son utilisation comme engrais dans le domaine agricole.

De nombreux paramètres interviennent dans cette étude de séchage solaire des boues ; température de séchage, vitesse de séchage, durée de séchage, le taux de siccité, la qualité et constitution des boues séchées. La teneur en eau finale de la boue à bas humide est la siccité de la boue obtenue est peut être utilisée comme engrais fertilisants dans le domaine agricole vu les résultats d'analyses obtenus et couturèrent aux normes internationale.

**Mots clés :** boue urbaine, séchage solaire, siccité, épandage, compost, traitement d'eau usée.

**المخلص :** العمل الذي يتم في إطار المذكرة يتعلق بالتجفيف الشمسي للوحل الحضري الذي تم إنتاجه على مستوى محطة معالجة مياه الصرف الصحي في بلدية العطف. الهدف من هذا العمل هو تثمين الوحل الحضري الذي يتم استخدامه كسماد في المجال الزراعي. تشارك العديد من العوامل في هذه الدراسة لتجفيف الشمسي للوحل. درجة حرارة التجفيف، ومعدل التجفيف، ووقت التجفيف، ومعدل الجفاف، وجودة الوحل المجفف والمحتوى المائي النهائي للوحل ذات الرطوبة المنخفضة الذي تم الحصول عليه يمكن استخدامه للأسمدة في الحقل الزراعي نظراً لنتائج التي تم الحصول عليها

**الكلمات المفتاحية:** الوحل الحضري، التجفيف الشمسي، الجفاف، السماد، معالجة مياه الصرف الصحي

## ABSTRACT

The research work carried out within the framework of memory relates to urban the solar sludge drying produced on at the station of wastewater treatment in El Atteuf town The objective of this work consists the valorization of the urban sludge for its use as fertilizer in the agricultural field. Many parameters concern this study of solar drying: temperature of drying, speed of drying, duration of drying, the rate of dryness, the quality and constitution of dried sludge.

The final content water of sludge with final water contenet to dryness and the obtained sludge east can be used as fertilizer in the agricultural field considering the results of analyses obtained and in accordance of the international standards.

**Key words:** urban mud, solar drying, dryness, spreading, compost, treatment of worn water.

