



Application de l'analyse en composantes principales(ACP) pour l'évaluation de la qualité des eaux usées industriellesde Salam Gaz – Skhirat (Application of the principal component analysis (PCA) for the assessment of the wastewater industrial qualityof the Salam Gas – Skhirat)

I. Chaouki^{1*}, L. Mouhir¹, M. Fekhaoui², A. El Abidi³, A. Bellaouchou¹,
M. El Morhit⁴

¹Université Hassan II, Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia, Génie des Procédés et Environnement
Mohammadia, Morocco

² Université Mohammed V, Institut Scientifique, Département de Zoologie, et Ecologie Animale, Agdal, Rabat, Morocco

³ Institut National d'Hygiène, Laboratoire d'hydrobiologie-hygiène industrielle
et environnementale, Av. Ibn Battouta Agdal, Rabat

⁴Université Mohammed V, Laboratoire de microbiologie, Equipe de recherche de la santé, de l'eau et de l'environnement,
Faculté de Médecine et de Pharmacie, Rabat, Morocco.

Received 14 July 2014; Revised 15 October 2014; Accepted 15 October 2014.

*Corresponding Author. E-mail: imano987@gmail.com

Abstract

In order to better understand and manage the quality of wastewater of Salam Gas, the implementation of the ACP for such a task could be beneficial. It is in view of such an application 10 physic-chemical: Temperature (T), pH, conductivity (Cond), turbidity (Turb), sulfate ions (SO₄), nitrate ions (NO₃), orthophosphate ions (PO₄), Chemical Oxygen Demand (DCO), the suspended solids (MES) and biological oxygen demand (DBO₅), and 4 metallic trace elements (ETM): chromium (Cr), copper (Cu), lead (Pb) and cadmium (Cd), from the analysis of water samples collected between February and April 2012 on 11 sampling campaigns spread over 4 basins treatments EU were analyzed. For physic-chemical parameters, the factorial plane F1 represents 60.54% of the variance; it is expressed to the positive pole by pH, turbidity, COD, BOD₅, TSS content orthophosphates, sulfates and nitrates which have a good correlation there between. However, the plane F2 represents 13.69%, and is defined by the sulfate ions to the positive pole and the negative pole towards its conductivity. Typological structure generated by the F1XF2 map shows the individualization of three different groups according to their hydro-chemical quality. For ETM, the F1 plan represents 83.78% of the variance and describes the overload of water Pb, Cd, Cr and Cu. The plan F2 represent 14, 66%, it describes the enrichment of waters Pb. Thus, the cluster structure generated by the F1XF2 map shows the individualization of two groups according to their degree of contamination.

Keywords: Wastewater, physic-chemical parameters, metallic trace elements, principal component analysis.

Résumé

Dans le souci de mieux comprendre et gérer la qualité des eaux usées (EU) de Salam Gaz, l'application de l'ACP pour une telle tâche pourrait être salutaire. C'est dans l'optique d'une telle application que 10 paramètres physico-chimiques : Température (T), le pH, la conductivité (Cond), la turbidité (Turb), les ions sulfates (SO₄), les ions nitrates (NO₃), les ions ortho phosphates (PO₄), la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES) et la demande biologique en oxygène (DBO₅), et 4 éléments traces métalliques (ETM) : le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd), provenant de l'analyse d'échantillons des EU collectés entre Février et Avril 2012 sur 11 campagnes d'échantillonnages réparties sur 4 bassins de traitements des EU, ont été analysés.

Pour les paramètres physico-chimiques, le plan factoriel F1 représente 60,54 % de la variance, il est exprimé vers son pôle positif par le pH, la turbidité, la DCO, la DBO₅, les MES, la teneur en ortho phosphates, en sulfates et en nitrates qui présentent de bonnes corrélations entre eux. Or, le plan F2 représente que 13,69 %, et est défini par les ions sulfates vers son pôle positif et la conductivité vers son pôle négatif. La structure typologique dégagée par le plan F1XF2 montre l'individualisation de trois groupements différents selon leur qualité hydro-chimique. Pour les ETM, le plan F1 représente 83,78 % de la variance et décrit la surcharge de l'eau par Pb, Cd, Cr et Cu. Le plan F2 représente 14,66 %, il décrit l'enrichissement des eaux en Pb. Ainsi, la structure typologique dégagée par le plan F1XF2 montre l'individualisation de deux groupements selon leur degré de contamination.

Mots clés : Eaux usées, paramètres physico-chimiques, éléments traces métalliques, analyse en composante principale.

1. Introduction

Le Maroc a connu lors des dernières décennies un essor économique soutenu grâce au développement des secteurs socio-économiques vitaux notamment l'agriculture, l'industrie, la pêche, le développement urbain, les infrastructures et le tourisme. Cependant, ce développement n'a pas manqué d'induire des répercussions négatives sur la qualité de l'environnement, et surtout sur les ressources en eau [1]. Ceci se traduit par un stress hydrique que connaît le pays (moins de 1 000 m³/hab/an) et une pénurie d'eau après 2025 (moins de 500 m³/hab/an) [2, 3].

La pollution par les eaux usées domestiques, industrielles et agricoles sont autant de facteurs menaçant qui tendent à mettre en péril les potentialités environnementales tout en impactant de manière négative le cadre de vie et le bien-être des citoyens.

Devant ce constat inquiétant, le Maroc a créé une législation et réglementation des eaux par l'adoption du dahir n°1-95-154 du 18 rabii I 1416(16 août 1995) portant promulgation de la loi n°10-95 sur l'eau et ses décrets d'application pour assurer une meilleure gestion de cette source d'or.

Le respect de cette loi et ses décrets a incité plusieurs industriels à adopter une gestion améliorée de l'eau usée au sein de leurs unités industrielles en traitant ses effluents en vue de satisfaire les normes de rejet édictées par la législation, mais aussi la réutilisation en usine de l'eau traitée, en particulier pour le refroidissement et certains lavages. C'est dans ce volet là que le centre emplisseur Salam Gaz Skhirats'est doté d'une station d'épuration de ces rejets afin de protéger le milieu naturel.

La caractérisation des eaux usées brutes de la société Salam Gaz présentent des valeurs des paramètres MES, DCO et DBO5 qui dépassent relativement les valeurs limites générales des rejets directs et indirects ce qui représente un risque de pollution environnementale d'où la nécessité d'un traitement de ces eaux usées brutes. L'évaluation de l'efficacité de la STEP a montré que la décantation primaire permet de réduire plus de 90% des MES, des nitrates, des orthophosphates et des métaux lourds. Le passage par les autres étapes de traitement (coagulation et décantation secondaire) a permis d'améliorer encore la qualité de l'eau, particulièrement par rapport aux concentrations de DCO, DBO5 qui sont conformes aux normes de rejet [4].

L'utilisation de l'ACP, pour l'interprétation des données semble une solution intéressante pour une meilleure compréhension de la qualité des eaux [5-10]. Cette technique a également l'avantage de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélés entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales [11].

L'objectif de la présente étude est de faire une application de l'ACP sur les données physico-chimiques et des ETM en vue d'une gestion et d'un contrôle de la qualité du traitement des effluents du centre emplisseur Skhirat de la société Salam Gaz, et de visualiser et analyser les corrélations existantes entre les différentes variables à travers leurs structurations et leurs orientations, d'identifier les principaux facteurs responsables de la qualité des effluents pendant les mois de février, mars et avril 2012.

2. Matériel et méthodes

2.1 Présentation générale de la zone d'étude

Le centre emplisseur Skhirat de la société Salam Gaz se situe à 4,2Km de la ville de Skhirat (33°51'50"N ; 7°0'8"W) sur la route principal N°1, Ain Rouz. L'activité principale de ce centre consiste à assurer l'approvisionnement et la logistique des GPL par l'importation, le stockage et le transport, ainsi que l'emplissage de gaz (butane & propane) conditionné. Les données hydro-climatiques mensuelles pendant la période d'étude sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Données hydro-climatiques de la ville de Skhirat pendant la période d'étude.

	T min (°C)	T max (°C)	Précipitation (mm)
févr-12	-0,6	20,8	8,3
mars-12	-1	32,6	8,2
avr-12	5,3	26,1	77,8

2.2 Description de la STEP et fréquence d'échantillonnage

La station de traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat de la société Salam Gaz est de type physico-chimique, coagulation floculation suivie d'une décantation (figure 1). Les eaux usées collectées de l'usine (local du lavage

- des bouteilles, local de détection des fuites et le local de peinture des bouteilles) subissent :
- Un prétraitement par dégrillage pour éliminer les déchets grossiers arrivant de ces locaux ainsi un tamisage pour éliminer les petits déchets pouvant endommager la pompe d'alimentation de la station.
 - Un traitement physique par décantation.
 - Un traitement chimique par coagulation par le polyalumine, un coagulant liquide préparé à base de sulfate d'aluminium.
 - Une décantation secondaire.

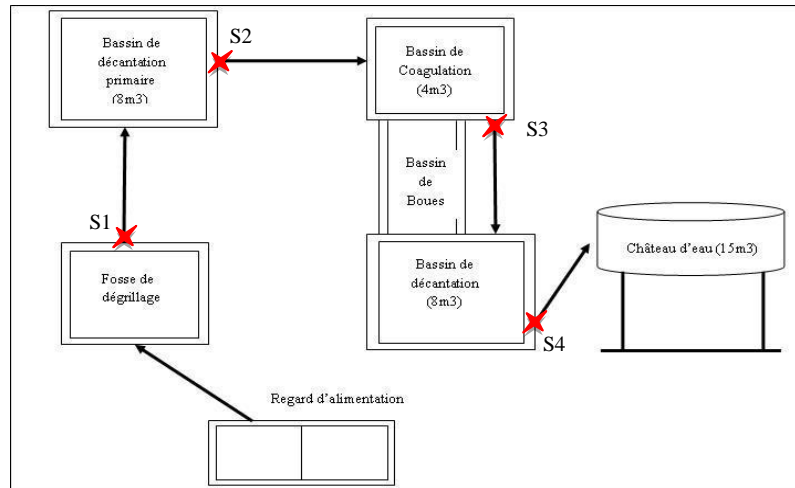


Figure 1 :Schéma de la filière de traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat de SALAM GAZ (Maroc)

L'échantillonnage a porté sur une période de 3 mois (Février, Mars et Avril 2012) à raison d'une fois par semaine, en moyenne, à la sortie de chaque bassin de la filière de traitement.

Les points d'échantillonnage ont concerné quatre points de prélèvement :

- L'entrée de la fosse de dégrillage : S1;
- La sortie du bassin de décantation primaire : S2 ;
- La sortie du bassin de coagulation : S3;
- La sortie du bassin de décantation secondaire : S4.

Dans le but de synthétiser les résultats obtenus dans l'eau, une ACP a été réalisée en utilisant comme variables :

- Le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) mesurés et comme individus les 24 relevés effectués au niveau des 4 compartiments de la filière de traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat pendant 6 campagnes. La méthode est utilisée afin de mettre en évidence les tendances, les corrélations et les phénomènes susceptibles d'influencer la répartition des éléments métalliques dans l'eau de la station étudiée. Ainsi, elle a été dégagée une typologie de la contamination métallique.

- La température (T), le pH, la conductivité (Cond), la turbidité (Turb), les ions sulfates (SO_4), les ions nitrates (NO_3), les ions orthophosphates (PO_4), la DCO, les MES et la DBO_5 et comme individus les 44 prélèvements effectués au niveau des effluents de la STEP au cours des mois de Février, Mars et d'Avril de l'année 2012.

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide des bouteilles en polyéthylène (1 litre), préalablement rincées avec l'eau de la station selon la norme AFNOR [12]. Pour l'analyse des éléments traces métalliques dans l'eau, l'échantillonnage a été effectuée dans des flacons en polyéthylène de 100 mL, spécialement lavés à l'acide chlorhydrique (10%) puis rincés à l'eau bi-distillée. Les échantillons sont fixés immédiatement par l'acide nitrique à 2% et conditionnés à une température de + 4 °C (Norme ISO 5667-3).

2.3 Méthodes d'analyse utilisées

Comme le montre le tableau 1, les méthodes utilisées pour l'analyse des différents paramètres physico-chimiques utilisés dans cette étude sont essentiellement ceux décrites dans les normes AFNOR [12].

2.4 Description de la STEP et fréquence d'échantillonnage

La station de traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat de la société Salam Gaz est de type physico-chimique, coagulation floculation suivie d'une décantation (figure 1). Les eaux usées collectées de l'usine (local du lavage des bouteilles, local de détection des fuites et le local de peinture des bouteilles) subissent :

- Un prétraitement par dégrillage pour éliminer les déchets grossiers arrivant de ces locaux ainsi un tamisage pour éliminer les petits déchets pouvant endommager la pompe d'alimentation de la station.
- Un traitement physique par décantation.

- Un traitement chimique par coagulation par le polyalumine, un coagulant liquide préparé à base de sulfate d'aluminium.
- Une décantation secondaire.

L'analyse des éléments traces métalliques Pb, Cu, Cd et Cr a été effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique avec four à graphite (Pattern VARIAN AA 20), c'est une méthode de dosage d'éléments chimiques fondée sur l'absorption de radiations lumineuses par des éléments mis à l'état d'atomes neutres en phase vapeur. La source de lumière est constituée par une lampe à cathode creuse adaptée à chaque élément à doser [13].

Tableau 2 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Méthode de détermination	Référence
pH	Electrochimique	NF T90-008
Conductivité	Conductimètre	NF T90-031
Turbidité	Néphélométrie	NF T90-033
MES	Gravimétrie	NF T90-105-2
DCO	Oxydation en milieu acide par excès de dichromate de potassium à la température de 148°C des matières oxydables dans les conditions de l'essai en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure	NF T90-101
DBO ₅	Manométrie	NF T90-103
Nitrates (NO ₃ ⁻)		
Orthophosphates (PO ₄ ³⁻)	Colorimétrie à l'aide du molybdate d'ammonium (λ=880 nm)	NF EN ISO 6878 T90-023
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	Néphélométrie à λ=650 nm	NF T90-040

2.5 Analyse statistique

L'étude statistique a été basée sur l'ACP. Les matrices de corrélations intermédiaires, les coefficients de corrélations entre les variables et les deux axes F1 et F2 et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 ont été obtenues avec un Logiciel XLSTAT [14].

Durant la période de l'étude, l'état hydro chimique de l'eau est appréhendé à partir de la mesure de 14 variables physicochimiques et métalliques. L'ACP est effectuée sur :

- Une matrice des données constituées de 44 prélèvements (4 bassins X 11 campagnes) au cours desquels les 10 variables physico-chimiques ont été mesurés ;
- Une matrice des données constituées de 24 prélèvements (4 bassins X 6 campagnes) au cours desquels 4 éléments traces métalliques (ETM) ont été mesurés.

3. Résultats et discussion

3.1 Evolution des paramètres physico-chimiques et des éléments traces métalliques

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques et des éléments traces métalliques des effluents tout au long de la chaîne du traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat sont illustrés par le tableau 2. Ce tableau donne les valeurs moyennes ainsi que les écarts types des paramètres étudiés février et avril 2012.

3.2 Application de l'ACP en utilisant les paramètres physico-chimiques de l'eau

L'analyse des résultats permet de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les deux premiers axes factoriels. Dans le plan factoriel F1xF2, les valeurs propres des deux composantes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le Tableau 1.

Les deux axes pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables liées aux structures spatiales, détiennent à eux seuls 74,22 % de l'information totale avec respectivement 60,54 % pour l'axe 1 et 13,69 % pour l'axe 2 (Figure 2 A).

L'axe 1, est exprimé vers son pôle positif par le pH, la turbidité, la DCO, la DBO₅, les MES, la teneur en ortho phosphates, en sulfates et en nitrates qui présentent de bonnes corrélations entre eux (Figure 2 B et Tableau 2).

Alors que l'axe 2 est défini par les ions sulfates vers son pôle positif et la conductivité vers son pôle négatif.

Le tableau 2 montre que plus la corrélation est élevée plus la variable est liée à la composante. A l'inverse, plus le r² est proche de 0 (zéro) moins la variable est liée à cette composante.

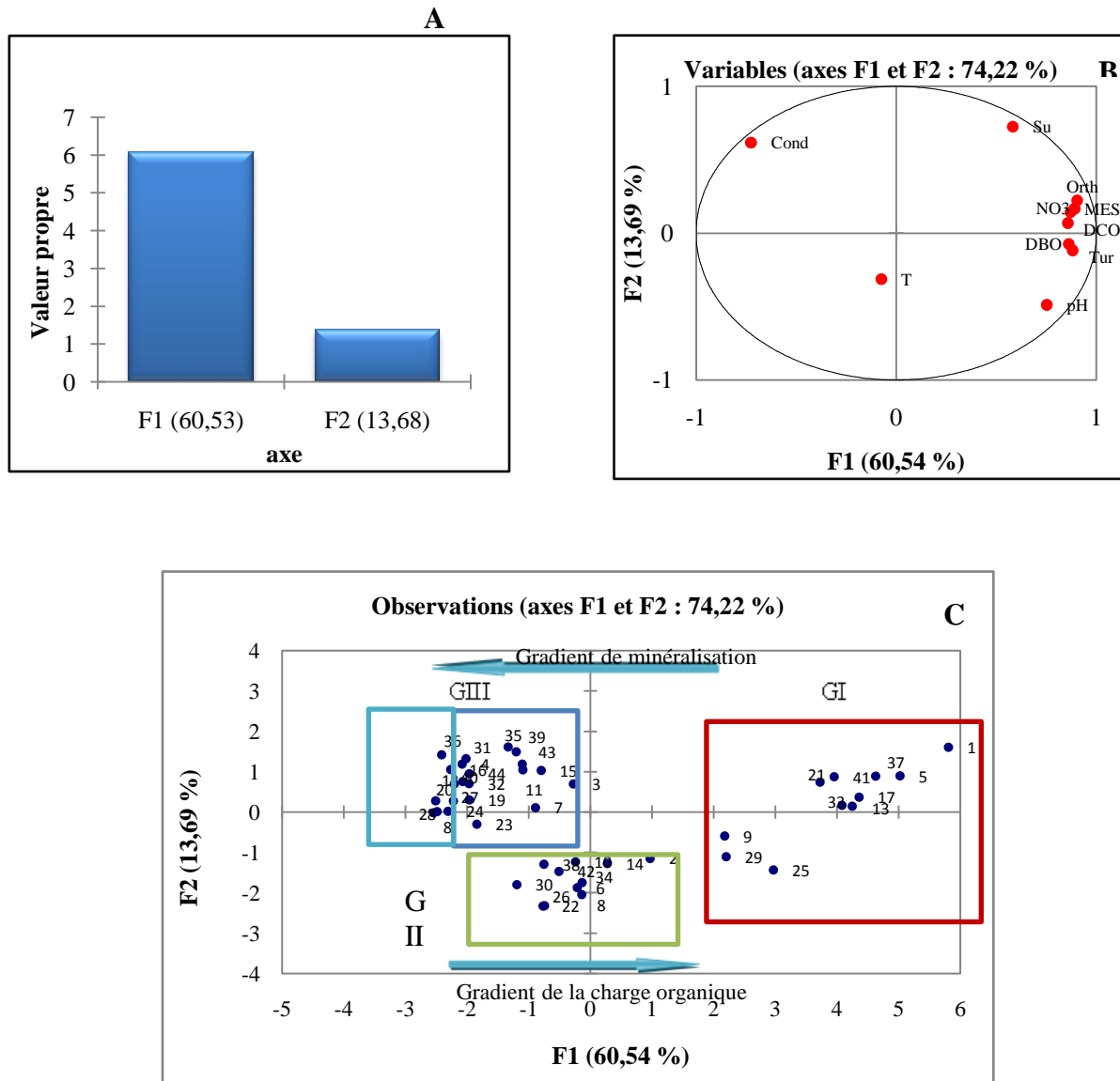


Figure 2 : Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques dans l'eau selon le plan (F1xF2). **A :** Répartition de l'inertie entre les axes ; **B :** carte factorielle des variables ; **C :** Carte factorielle des bassins et des campagnes.

Dans le cercle de corrélation (Figure 2B), la 1^{ère} composante (F1), contribuant avec 60,54 % d'inertie, est définie par les paramètres de pollution organique à savoir la DCO (0,856), la DBO₅ (0,861), les MES (0,892), la turbidité (0,881), les NO₃ (0,870) et les PO₄ (0,903).

Avec une inertie de 13,69 % la 2^{ème} composante (F2) est définie par les paramètres : conductivité (0,617) du côté négatif et les ions sulfates (0,727) du côté positif (Tableau 2).

L'examen de la matrice de corrélation entre variables (Tableau 3) révèle la présence d'un premier ensemble de variables, constitué de variables bien corrélées entre elles. Il s'agit de :

- pH avec les paramètres : Turbidité, Conductivité, Nitrates, Ortho phosphates, MES, DCO, DBO₅ ;
- Turbidité avec les paramètres : Conductivité, Nitrates, Ortho phosphates, MES, DCO, DBO₅ ;
- Conductivité avec les Nitrates, les Ortho phosphates, les MES, la DCO et la DBO₅ ;
- Sulfates avec Nitrates, les Ortho phosphates, les MES, la DCO et la DBO₅ ;
- Nitrates avec Ortho phosphates, les MES, la DCO et la DBO₅ ;
- Ortho phosphates avec les MES, la DCO et la DBO₅ ;
- DCO avec les MES et la DBO₅ ;
- MES avec la DBO₅.

Tableau 3 : Valeurs moyennes et écarts-types calculées des paramètres physico-chimiques et des ETM étudiés.

Paramètres	S1	S2	S3	S4
pH	7,1±0,32	6,8±0,47	4,8±0,57	5,1±0,59
Conductivité µS/cm	1008±38,29	1 030±41,12	1432,45±70,77	1407,82±74,51
Turbidité NTU	60±9,20	37,7±8,64	31,5±7,48	14±2,88
Température °C	16,88±1,49	16,89±1,41	16,84±1,39	16,70±1,73
MES mg/L	3429±230,70	68±81,39	52±18,15	19±4,39
DCO mg/L	698±241,04	291±104,39	327±122,74	96±35,61
DBO5 mg/L	444±107,97	243±97,27	220±104,48	77±30,93
NO3 mg/L	7±2,75	0,36±0,14	0,28±0,08	0,33±0,16
PO4 mg/L	0,52±0,25	0,07±0,07	0,02±0,01	0,01±0,01
SO4 mg/L	217±70,89	51,12±0,72	141,65±54,10	127,8±45,72
Pb µg/L	18,98±15,66	1,57±9,24	0,84±0,08	0,2±0,12
Cr µg/L	238,87±98,43	3,63±1,89	0,98±0,04	0,45±0,13
Cu µg/L	667,34±263,28	23,78±13,50	28,95±10,06	27,13±17,69
Cd µg/L	2,38±0,70	0,15±0,18	0,08±0,06	0,07±0,02

Tableau 4 : Répartition de l'inertie entre les deux axes (F1xF2) des paramètres physico-chimiques mesurés dans la station de traitement des eaux usées du centre emplisseur Salam Gaz.

	F1	F2
Valeur propre	6,05	1,36
Variabilité (%)	60,53	13,68
% cumulé	60,53	74,22

Tableau 5 : Coefficients de corrélations entre les variables et les axes principaux.

	F1	F2
T eau	-0,075	-0,312
pH	0,751*	-0,489
Tur.	0,881*	-0,118
Cond.	-0,725*	0,617*
SO4	0,581*	0,727*
NO3	0,870*	0,144
PO4	0,903*	0,225
DCO	0,856*	0,068
MES	0,892*	0,166
DBO5	0,861*	-0,072

La corrélation entre conductivité et sulfates est faiblement significative, ceci explique que la minéralisation de l'effluent vers la sortie de la station n'est pas forcément due aux ions sulfates, mais peut être à d'autres ions probablement présents dans l'eau notamment, les ions calcium, chlorures, etc. [15].

La carte factorielle des échantillons confirme que les eaux prélevées au niveau de l'entrée de la station se distinguent des autres prélèvements. Elles sont les plus riches en différentes formes organiques et inorganiques de pollution. D'où un gradient de pollution décroissant expliquant le fonctionnement de cette station (figure 2C) et un gradient de minéralisation croissant de droite à gauche (de l'entrée vers la sortie) traduisant par l'enrichissement des eaux en éléments minéraux à cause de l'ajout du coagulant dans l'étape de traitement physico-chimique.

Tableau 6 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques sur l'ensemble des stations étudiées.

Variables	T eau	pH	Tur	Cond	SO ₄	NO ₃	PO ₄	DCO	MES	DBO
T eau	1									
pH	-0,064	1								
Tur	-0,104	0,666*	1							
Cond	-0,112	-0,849*	-0,677*	1						
SO₄	-0,145	0,134	0,398	-0,035	1					
NO₃	0,092	0,561*	0,679*	-0,506*	0,572*	1				
PO₄	-0,042	0,579*	0,727*	-0,539*	0,697*	0,840*	1			
DCO	-0,220	0,540*	0,755*	-0,541*	0,484*	0,655*	0,713*	1		
MES	0,082	0,598*	0,731*	-0,548*	0,666*	0,889*	0,865*	0,623*	1	
DBO	-0,190	0,585*	0,782*	-0,628*	0,364*	0,666*	0,671*	0,925*	0,635*	1

Les valeurs en étoile (*) sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

La structure typologique dégagée par le plan F1XF2 (Figure 2C) montre l'individualisation de trois groupements différents selon leur qualité hydro-chimique :

- Groupement I : formé par les relevés de la fosse de réception caractérisés par une faible minéralisation et une très forte charge organique.
- Groupement II : intermédiaire, formé par les relevés du deuxième bassin (après décantation primaire) au niveau duquel on constate une diminution à moitié, voir à tiers, de la pollution organique initiale.
- Groupement III : formé par les relevés du bassin de décantation secondaire et du château qui sont fusionnés et qui se caractérisent par une forte minéralisation et une faible charge organique.

Cette distinction de groupes montre que l'effluent, reçu par la station, se caractérise par une pollution importante. Son passage à travers la première composante, la décantation primaire, permet d'éliminer plus que la moitié de cette pollution, alors que le passage par l'étape de coagulation n'enregistre pas un abattement très important par rapport à cette pollution, par contre l'effluent subit une minéralisation notable due à l'ajout du coagulant dans l'étape de traitement physico-chimique

3.3 Application de l'ACP en utilisant les Eléments Traces Métalliques (ETM) analysés dans l'eau

Les deux axes (F1XF2) pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables liées aux structures spatiales, détiennent à eux seuls 98,44 % de l'information totale avec respectivement 83,78 % pour l'axe 1 et 14,66 % pour l'axe 2 (Figure 3 A et Tableau 4).

Tableau 7 : Répartition de l'inertie entre les deux axes (F1xF2) des ETM mesurés dans la station de traitement des eaux usées du centre emplisseur Salam Gaz.

	F1	F2
Valeur propre	3,35	0,58
Variabilité (%)	83,78	14,66
% cumulé	83,78	98,44

Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les ETM mesurés sur l'ensemble des stations étudiées.

Variables	Pb	Cd	Cu	Cr
Pb	1			
Cd	0,614*	1		
Cu	0,513*	0,972*	1	
Cr	0,597*	0,975*	0,946*	1

Les valeurs en étoile (*) sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05.

L'examen de la matrice de corrélation (Tableau 5) entre variables révèle que toutes les corrélations linéaires sont positives (ce qui signifie que toutes les variables varient, en moyenne, dans le même sens), certaines étant très fortes (0,97 et 0,95), à savoir : Cd/Cu, Cr/Cd et Cu/Cr, d'autres moyennes (0,61 et 0,51), telles que celles du Plomb avec les autres éléments métalliques.

Dans le plan factoriel F1xF2 (Figure 3 B et Tableau 6), la 1^{ère} composante (axe F1), décrit la surcharge de l'eau par Pb (0,714), Cd (0,987), Cr (0,976) et Cu (0,957). La 2^{ème} composante (axe F2) décrit l'enrichissement des eaux en Pb (0,699).

Tableau 9 : Coefficients de corrélations entre les variables et les axes principaux.

	F1	F2
Pb	0,714	0,699
Cd	0,987	-0,128
Cu	0,957	-0,248
Cr	0,976	-0,139

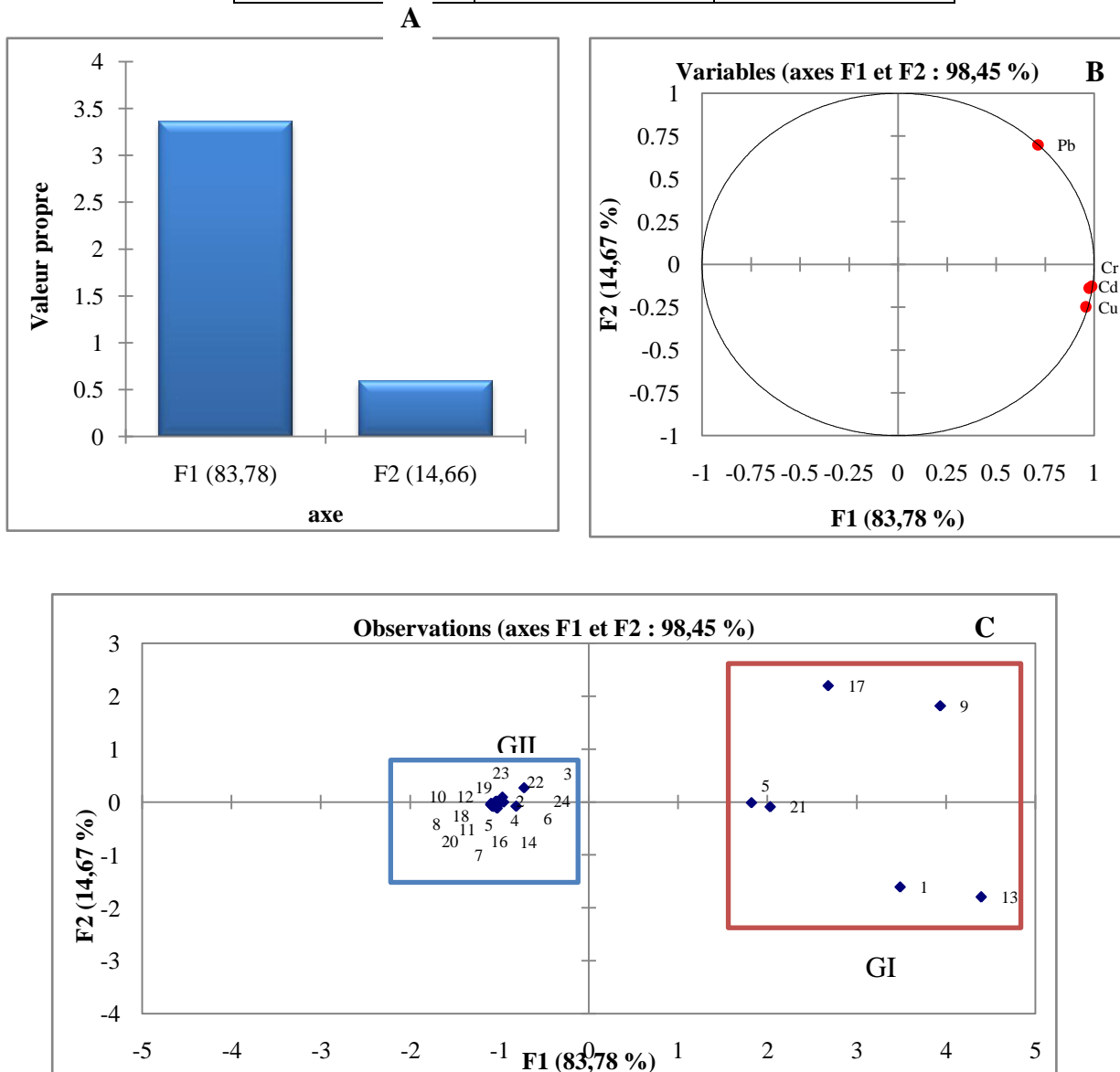


Figure 3 : Approche graphique de l'ACP des ETM mesurés dans l'eau selon plan (F1xF2). **A :** Répartition de l'inertie entre les axes ; **B :** carte factorielle des variables ; **C :** Carte factorielle des bassins.

De la gauche vers la droite, l'axe F2, traduit donc un gradient croissant d'une surcharge des eaux en Cd, Cr, Pb et Cu. Et du bas vers le haut, l'axe F1, traduit un gradient croissant de contamination de l'eau par le Pb (Figure 3 C). Sa présence dans ces eaux est due à son utilisation dans le soudage et la peinture des bouteilles de gaz.

La structure typologique dégagée par le plan F1xF2 (Figure 3 C) montre l'individualisation de deux groupements selon leur degré de contamination :

- Groupement I, formé par le premier bassin qui est la fosse de réception dont les eaux se caractérisent par une pollution importante en éléments métalliques notamment, Pb, Cu, Cd et Cr.
- Groupement II, formé par les autres bassins restant, dont les eaux se caractérisent par une faible pollution en ces éléments.

Ces résultats laissent constater que le premier compartiment de la filière (décantation primaire) révèle une décontamination très importante par rapport aux éléments métalliques contenus dans l'effluent, quelque soit la charge métallique reçue initialement par la station. L'élimination de ces métaux porte principalement sur la décantation de la forme particulaire du métal comme l'avait montré Fars [16]. Les autres étapes du traitement ne présentent pas une grande efficacité, ceci est expliqué par la figure 3A, où on remarque que les relevés faits après la coagulation et la décantation secondaire sont confondus avec ceux d'après la décantation primaire.

Les teneurs résiduelles en ces ETMsont respectivement 5mg/l pour le Pb, 0,1 pour le Cr, 0,2 pour le Cu et 0,01 pour le Cd [4]. Ces teneurs sont conformes aux normes de rejet [17].

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus au niveau des paramètres physico-chimiques et des ETM mesurés au niveau de la station de traitement des eaux usées du centre emplisseur Skhirat de Salam Gaz, on constate unedégradation de la qualité de l'eau particulièrement au niveau du premier bassin. Néanmoins cettecontamination a tendance à diminuer dans les bassins qui suivent.

Ces résultats ont fait l'objet d'une Analyse en Composantes Principales dont l'objectif ultime est de faire une interprétation des résultats obtenus, de ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et la répartition des stations d'étude en groupe selon le degré de contamination.

L'Analyse en Composantes Principales en utilisant les paramètres physico-chimiques et les éléments traces métalliques sur l'ensemble des étapes de traitement des effluents de Salam Gaz nous a permis de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans la station étudiée. La qualité de ces eaux varie d'un bassin à l'autre en fonction de l'étape de traitement. En effet, l'ACP nous a permis aussi de décrire la structure par deux principaux gradients :

- Un gradient de minéralisation croissant de l'amont vers l'aval faisant apparaître l'influence prépondérante de l'apport du coagulant lors du traitement physico-chimique.
- Un gradient de pollution organique décroissant de l'amont vers l'aval, traduisant l'enrichissement de l'eau en plusieurs paramètres qui semblent être corrélés à l'entrée.

Notre étude fourni un bon exemple pour le traitement des données d'une station de traitement des eaux usées très chargés en polluants organiques et minéraux. Pour la plupart des paramètres mesurés dans le premier bassin de la station, les valeurs enregistrées sont très élevées. Par ailleurs, vers l'aval, la concentration en polluants diminue progressivement. On constate que le traitement par coagulation-décantation est très efficace pour ce type de rejet.

Références

1. CNE, Conseil National de l'Environnement. *Stratégie de proximité de département de l'environnement*. Secrétariat d'état auprès du ministre de l'énergie, des mines, de l'eau et de l'environnement. Maroc. (2009)25p.
2. Agoumi A., NajiA. *Changements climatiques et ressources en eau dans les pays du Maghreb*. Rapport établidans le cadre du projet PNUD-FEM, RAB/94/G31(1998).
3. Tazi O., AbdelilahF., S. El You Noussi.,*Sci. Chang. Plan./Sécheresse*, 12(2001)129-34.
4. ChaoukiI., MouhirL., SouabiS., FekhaouiM., El AbidiA. *Afrique Science*, 9, 3 (2013)91-102.
5. BennasserL., FekhaouiM., BouachrineM. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 20(1996) 142-145.
6. El Amrani-PaazaN., Benavente J., Cruz-SanjulianJ.J. *Bol. Geol. Min.*, 3 (1994) 478-484.
7. EzzaouaqM., (1991). *Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé*. Thèse D.E.S. Fac. Sci. Rabat, 140p.

8. JadalM., El AyouchiM., BennasserL. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 256(2002) 59–66.
9. El BlidiS., FekhaouiM., El AbidiA., IdrissiL., BenazzouT., *Vecteur environnement*, 1(2006) 46–53.
10. El MorhitM., FekhaouiM., SerghiniA., El BlidiS., El AbidiA., BennaakamR., YahyaouiA., JbilouM. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 30 (2008) 39-47.
11. Davis J.C. *Statistics and data analysis in geology*. 2e édition, WILEY(éditeur), New-York, Etats-Unis, (1984) 550p.
12. Afnor. Recueil des normes françaises, *Qualité de l'eau*. 1994. Edition Afnor.
13. Diaz RosadoJ. C., *Étude et développement de la spectroscopie d'émission optique sur plasma induit par laser pour la réalisation d'analyses de terrain : application à l'analyse en ligne de métaux dans les liquides*. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, (2013) 134p.
14. Wysuforms(2004). *Logiciel d'enquête et solution intégrée d'EFM* (Entreprise Feedback Management). Site webconsulté <http://www.wysuform.com>.
15. N'diayeA. D., KankouM., BaidyLO. *ScienceLib Editions Mersenne*, 3, 111113(2011) 10p.
16. Fars S. (1994). *Etude de l'élimination des métaux lourds (Cu, Zn, Pb et Cd) contenus dans les eaux usées de Marrakech par quatre systèmes expérimentaux : Lagunage anaérobie, lagunage aéro-anaérobie, sur-irrigation drainage et infiltration – percolation*. Thèse de doctorat d'université. Université Cadi Ayyad, Marrakech, 1384p.
17. Ministère de l'environnement du Maroc, Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc, 2002, N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.

(2015) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>