



DIAGNOSTIC DE LA QUALITÉ DES EAUX PLUVIALES DES TOITURES EN VUE DE LEUR RÉUTILISATION PAYSAGÈRE: CAS D'UN ÉTABLISSEMENT D'ENSEIGNEMENT PUBLIC À CASABLANCA (MAROC)

HEBABAZE S., NAHLI A., SEBBAR A, BADRI W, CHLAIDA M.

Laboratoire d'Ecologie et d'Environnement (LEE), Faculté des Sciences Ben M'Sik,
Université Hassan II Casablanca, Maroc.

**Corresponding Author. hebabaze_soumia@hotmail.fr*

RÉSUMÉ

Cette étude s'inscrit dans une approche de gestion intégrée des ressources en eaux visant la valorisation des eaux pluviales récupérables en tant que ressource alternative. En effet, la collecte et la réutilisation des eaux pluviales peut contribuer à combler le déficit hydrique et allège la pression exercée sur les ressources en eau. L'étude menée au niveau d'un établissement universitaire public a pour objectifs de : quantifier le volume des eaux pluviales récupérables des toitures et de caractériser leur qualité physico-chimique en rapport avec la possibilité de leur réutilisation en irrigation des espaces verts. Les résultats obtenus montrent que le volume des eaux pluviales récupérables des toitures peut atteindre les 2786 m³/an, leur pH est variable entre 7,7 et 8,5 et leurs teneurs en MES peuvent atteindre 400 mg/l, restant nettement supérieures à celles des eaux météoriques. En revanche, les teneurs en métaux traces restent faibles et seul le Zn peut enregistrer une teneur moyenne de 273 µg/l. Ce profil physico-chimique paraît conforme aux valeurs limites des normes marocaines des eaux d'irrigation.

Mots clés : Eaux pluviales, caractérisation, physico-chimie, réutilisation.

ABSTRACT

This study enters in the use recoverable rainwater approach as an alternative water resource of drinking water. Indeed, the collection and reuse of rainwater can help to fill the water deficit and relieves pressure on water resources. In this context, we propose to conduct a study of rainfall in a public university institution with the aim of quantifying the volume of recoverable rainfall roof and characterize their physical quality in relation to their reuse in irrigation green spaces. The results show that the volume of recoverable rainwater roof can reach 2786 m³/year; pH varies between 7.7 and 8.5, and their contents of SS is 400 mg/l remaining substantially higher than water meteorites. In contrast, the levels of trace metals are low and only Zn can save an average grade of 273µg/l. This physicochemical profile appears comply with the limits Moroccan standards of irrigation water values.

Keywords: Rainwater, characterization, physical chemistry, reuse.

INTRODUCTION

Le Maroc est un pays où l'urbanisation est en plein essor entraînant une augmentation effrénée des surfaces imperméabilisées (Toitures, terrasses, rues, ruelles) et donc un accroissement important du phénomène de ruissellement des eaux pluviales. Ce dernier phénomène est à l'origine de nombreuses perturbations des milieux naturels, notamment, les écosystèmes aquatiques (Mc KINNEY, 2002). En effet, les particules et les aérosols présents dans l'air se retrouvent dans l'eau de pluie et les polluants (poussières, huiles, graisses, etc..) de diverses origines (trafic routier, chantiers de construction, activités industrielles, déjections animales, pesticides, herbicides...) ruissèlent directement vers les milieux aquatiques récepteurs. Malgré leur caractère épisodique, ces eaux pluviales peuvent avoir des effets de nature chronique, liés à la répétition des événements pluvieux (Brent et Herricks, 1999). Elles peuvent provoquer un changement souvent brutal du régime hydraulique des cours d'eau affectant la qualité physico-chimique et biologique de leurs eaux (Seidl *et al.*, 1998) notamment une augmentation de la turbidité suite aux apports excessifs de matières en suspension. Il s'en suit une chute immédiate du taux d'oxygène dissous (GRAY, 2004) accentué par les apports en matières

organiques biodégradables des eaux pluviales (House *et al.*, 1993). Les micropolluants organiques et minéraux charriés par les eaux pluviales, peuvent également avoir des effets néfastes sur les biotopes et les biocénoses aquatiques en s'accumulant dans la chaîne trophique et dans les sédiments. Ces différents effets ne se manifestent pas uniquement à l'aval immédiat des points de rejet mais peuvent s'étendre à une grande échelle puisque les produits rejetés sont susceptibles d'être transportés et dispersés par le courant dans le cas des rivières et des milieux marins.

Les études réalisées sur les eaux pluviales météoriques ont débuté depuis les années 1960 et ont permis d'évaluer la quantité des polluants et les flux émis (Chebbo *et al.* 2003). En revanche et depuis longtemps, peu d'études ont porté sur la qualité des eaux pluviales des habitations (toitures, cours ...) considérées comme non polluées (GROMAIRE –Mertz *et al.*, 1999).

Au même moment, la plupart des études récentes ont mis en évidence une importante contamination des eaux de pluie lors de leur ruissellement sur les toitures (Förster, 96). Globalement, cette pollution est essentiellement particulière liée aux micropolluants organiques (Pitt *et al.*, 1995).

Par ailleurs, les eaux pluviales constituent une ressource alternative en eau plus particulièrement dans les zones qui souffrent d'un déficit hydrique telle que la région géographique du MENA (Middle East Nord Afrique) où ces eaux pluviales peuvent être collectées, traitées et utilisées.

Dans ce cadre, la présente étude se propose de faire un diagnostic qualitatif et quantitatif des eaux pluviales des toitures des bâtiments d'un établissement universitaire public à Casablanca (Maroc) et d'étudier les possibilités de leur utilisation pour l'irrigation des espaces verts ou dans des usages qui ne requièrent pas une très bonne qualité de l'eau (chasses de toilettes, lavage des surfaces..).

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Situation géographique et description du site

L'étude s'est focalisée sur la Faculté des Sciences Ben M'Sik (FSBM) située au nord-est de Casablanca (figure 1). L'établissement est construit sur un terrain d'une superficie de trois hectares environ, le sol présente une texture sablo-

argileuse et le niveau de la nappe d'eau souterraine se situe aux alentours de 60 à 70 m de profondeur.

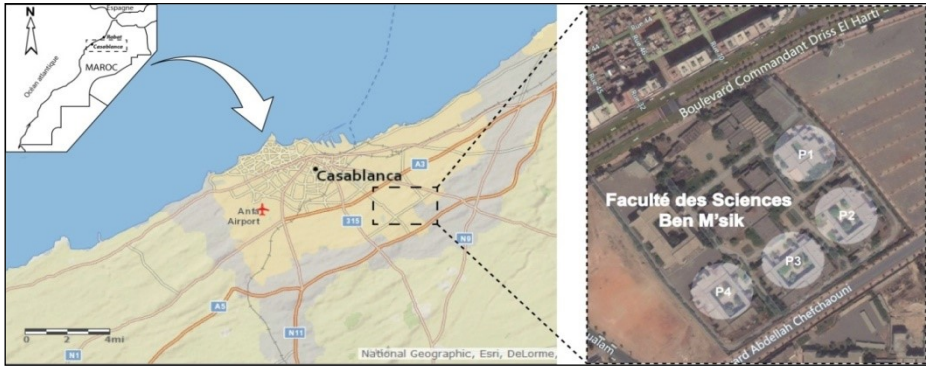


Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude

Contexte climatique

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen semi-aride à hiver chaud avec une température moyenne annuelle de 18,1 °C variable entre un minimum de 14,4 °C et un maximum de 21,9 °C. Les précipitations (RR) annuelles sont de l'ordre de 396 mm et restent assez irrégulières selon les années et selon les saisons. La durée de la saison sèche, établie selon le diagramme Ombro-thermique de Gaussen partir des données climatiques qui proviennent de la direction météorologie nationale de 1980 à 2010, dure globalement six mois de la mi-avril jusqu'à la mi-octobre (figure 2).

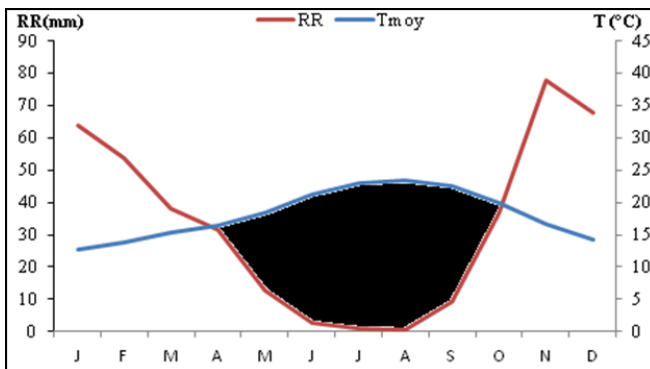


Figure 2 : Diagramme Ombro-thermique de Gaussen au niveau de la région de Casablanca

MÉTHODOLOGIE ANALYTIQUE ET MATÉRIELS UTILISÉS

Analyse quantitative

L'étude quantitative des eaux pluviales consiste à déterminer leurs volumes d'eaux récupérables au niveau de notre établissement en tenant compte des précipitations annuelles et de la superficie de l'ensemble des toitures "terrasses". La quantité des eaux pluviales récupérables est estimée par la relation suivante (Keddal, 2007):

$$V = Q \times S \times \text{coefficient de toiture}^*/1000$$

V : Volume d'eau récupérable en m³ S : Surface de récupération en m²

Q : Pluviométrie annuelle en mm

*Le coefficient appliqué dans notre cas est celui des toitures à surface plate soit 0.6.

En tenant compte de la quantité des précipitations annuelles enregistrée au cours de l'année d'étude (2012) soit 400 mm et de la surface des toitures de l'établissement soit 11418 m², le volume calculé en eaux pluviales récupérables est de 2740.22 m³/an.

Analyse qualitative

L'étude qualitative des eaux pluviales a englobé les paramètres physico-chimiques (pH, Turbidité, Conductivité, MES, NO₃⁻, phosphore total et DCO) à travers des mesures in situ et des analyses au laboratoire. Ces investigations analytiques sont effectuées, durant les mois pluvieux de l'année 2012, sur deux types d'échantillons : d'un côté des échantillons composites d'eaux prélevés uniquement au niveau des gouttières d'évacuation des toitures des quatre bâtiments de Géologie (P1), Chimie (P2), Biologie (P3) et Physique (P4) et, de l'autre côté, des eaux pluviales (eaux météoriques) collectées directement dans des bassines en polyéthylène (50 cm de diamètre x 25 cm de profondeur) placées au-dessus des toitures.

Tous les échantillons d'eaux pluviales récupérées sont placés dans des bouteilles en polyéthylène et conservés à + 4°C pour effectuer les analyses physico-chimiques et les dosages des métaux traces.

Les différentes méthodes de mesure et d'analyse des paramètres physico-chimiques de caractérisation de la qualité des eaux pluviales sont présentées

dans le tableau 1. Ces analyses sont effectuées selon les normes préconisées par (AFNOR,1999).

Pour le dosage des teneurs en métaux traces (Pb, Cd, Cr, Zn, Fe et Cu) dans les eaux pluviales, les analyses sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission atomique couplée à un plasma induit (ICP-AES) de type JOBIN-YVON, au niveau du laboratoire du centre national de recherche scientifique et technique «CNRST» à Rabat.

Tableau 1 : Matériels et méthodes utilisés

Paramètre	Matériel ou méthode analytique	Référence
Potentiel Hydrogène (unité pH)	pH mètre	WTW 330 i (au 1/100)
Conductivité à 25°C (µs/cm)	Multiparamètres	Consort, type C 535 (au 1/100)
Chlorures (g/l)	Méthode volumétrique de Mohr	NF T 90-014
Turbidité (NTU)	Turbidimètre	Marque EUTECH TN 100(au 1/100)
Matières en suspension "MES" (mg/l)	Filtration sur papier Wattman	NF EN 872
Demande Chimique en oxygène "DCO" (mg/l)	Oxydation par le bichromate de potassium	NF EN ISO 8467
Nitrates (mg/l)	Méthode au salicylate de sodium	NF T90-012
Phosphore total (mg/l)	Dosage après oxydation au persulfate	NF EN 1189

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats

Pour avoir une facilité d'interprétation des variations des paramètres physico-chimiques au niveau des eaux issues des quatre points de prélèvements réalisés durant les mois pluvieux de l'année d'étude, nous avons établi leurs moyennes mensuelles que nous avons ensuite comparées à la valeur globale enregistrée au niveau des eaux météoriques (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux météoriques de la FSBM

Paramètre	pH	Turb (NTU)	Salinité (g/l)	Conductivité (μ S/cm)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Pt (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)
Valeurs	7,53	6,1	0	70	0,1	0	10	20

pH

Au cours de la période d'étude, les valeurs du pH, qui constitue un facteur déterminant dans la qualité des eaux de ruissellement des toitures (Gromaire-Mertz, 1999), varient entre 7, enregistrée au mois de décembre 2012, et 8,5 mesurée au mois d'avril de la même année (figure 3). Globalement, ces valeurs du pH restent légèrement supérieures à celles des eaux météoriques (7,53 en moyenne) en raison de l'influence de diverses matières particulaires et dissoutes déposées au niveau des toitures échantillonnées.

Conductivité

La conductivité d'une eau traduit le degré de sa minéralisation et une eau désionisée, en équilibre avec le CO₂ atmosphérique, possède une conductivité voisine de 1 μ S/cm.

La conductivité des échantillons des eaux pluviales récupérées au cours de notre étude oscillent entre un minimum de 63 μ S/cm (à 25° C) mesurée au mois de mars et un maximum de 342 μ S/cm enregistrée au mois janvier 2012 (figure 4). Ces valeurs obtenues pour les eaux pluviales des toitures restent supérieures à la valeur des 30 μ S/cm enregistrées directement pour les eaux météoriques.

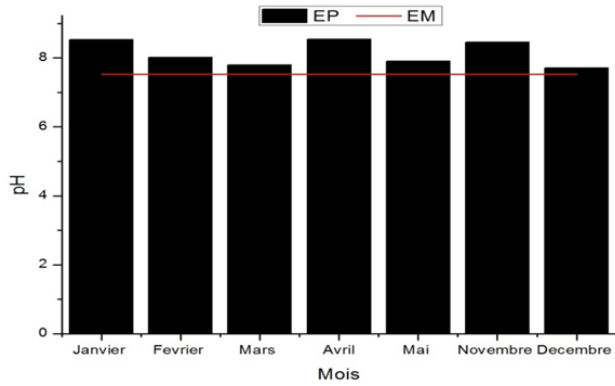


Figure 3 : Variations mensuelles des moyennes du pH (EP : eaux pluviales et EM : eaux météoriques)

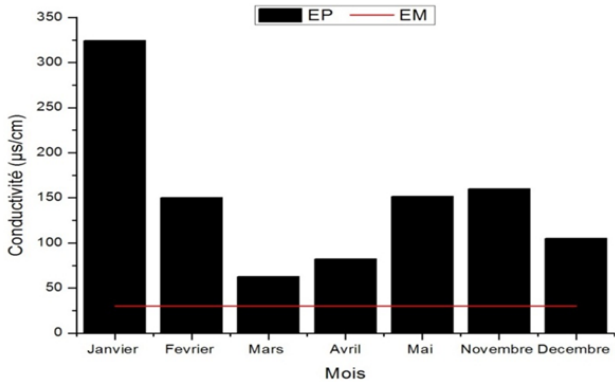


Figure 4 : Variations mensuelles de la conductivité

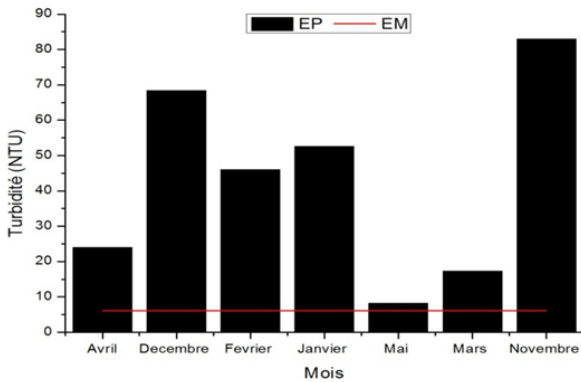


Figure 5 : Variations mensuelles des moyennes de la turbidité des eaux pluviales

Turbidité

La turbidité d'une eau est liée généralement à sa charge en matières colorées et aux colloïdes insolubles, d'origine minérale ou organique, mais aussi aux particules en suspension comme les limons, l'argile et les fines particules organiques et inorganiques.

Les valeurs de la turbidité dans les eaux pluviales collectées des différentes toitures oscillent entre un minimum de 8 NTU mesuré au mois de Mai et un maximum de 82 NTU enregistré au mois de Novembre 2012 (figure 5). Ces valeurs élevées de la turbidité coïncident avec les premières pluies de l'année et donc seraient liées à un lessivage d'une grande quantité de matières particulaires accumulées en Été au niveau des toitures des bâtiments étudiés. Ce constat est confirmé par le fait que la turbidité des eaux pluviales est largement supérieures à celle des eaux météorites soit 6,1 NTU.

Matières en suspension (MES)

Les MES, qui correspondent globalement à l'ensemble des particules, organiques ou minérales, non dissoutes dans l'eau, représentent un paramètre important qui renseigne sur le degré de pollution d'une eau pluviale par les particules et les retombées atmosphériques.

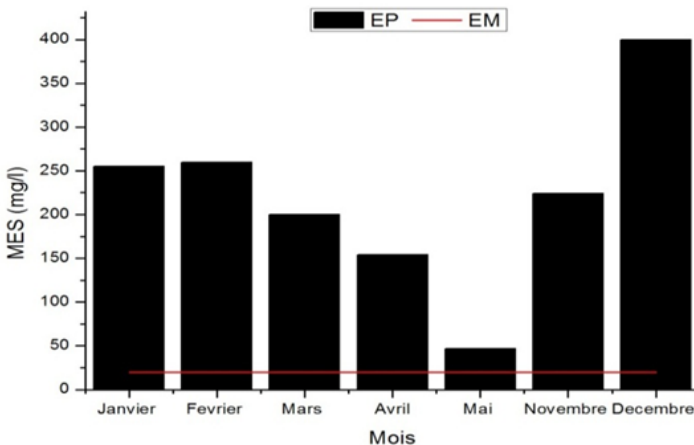


Figure 6 : Variations mensuelles de moyennes de matières en suspensions

Les différentes teneurs moyennes en MES de nos eaux pluviales collectées sont comprises entre un minimum de 50 mg/l enregistrées au mois de mai 2012 et un maximum de 400 mg/l signalées au mois de décembre de la même année (figure 6). Ces variations des teneurs en MES corroborent celles de la turbidité et sont liées aux mêmes variations des apports des eaux pluviales citées précédemment. Par comparaison avec la moyenne des teneurs de MES des eaux météoriques (20 mg/l), nos eaux pluviales collectées des toitures sont plus chargées.

Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène traduit la charge des eaux pluviales en matières oxydables. Elle varie globalement entre 40 et 130 mg/l durant la majorité des mois pluvieux de l'année 2012 sauf pour le mois de décembre où elle atteint une moyenne maximale de 285 mg/l (figure 7). Étant donné que la DCO moyenne des eaux météoriques est de 10 mg/l, la majorité des matières oxydables des eaux pluviales des toitures proviennent des particules et des déchets qui y sont déposées en temps sec par le vent, les activités anthropiques (déchets de transport..) et les animaux (oiseaux, etc..).

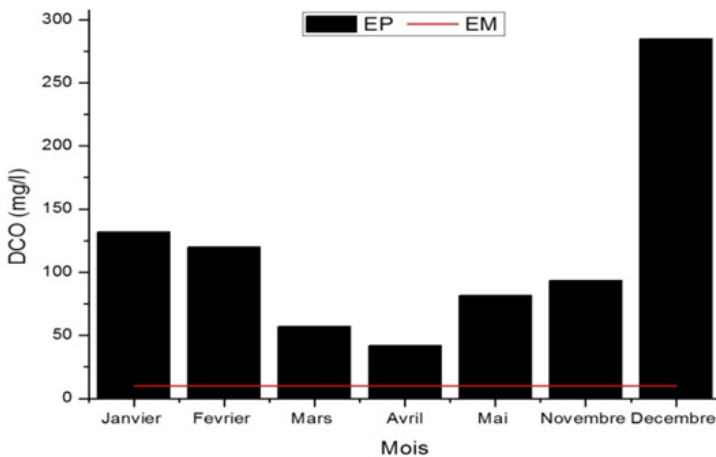


Figure 7 : Variations mensuelles de moyennes de la DCO

Phosphore total (Pt)

Les teneurs en phosphore total des eaux de ruissèlement des toitures fluctuent, selon les saisons, entre un minimum de 0,02 mg/l mesuré en Novembre et un maximum de 0,35 mg/l enregistré en Février 2012 (figure 8) lors de l'arrivée des pluies printanières. Ces valeurs restent supérieures à celle des eaux météoriques qui est de l'ordre de 0,01 mg/l. L'origine du phosphore total des eaux des toitures est donc local probablement lié aux déchets organiques divers (débris végétaux, déjections animales, etc...).

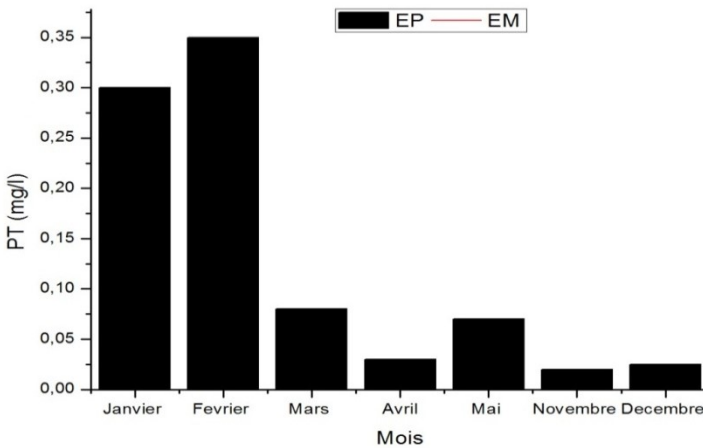


Figure 8 : Variations mensuelles de moyennes de teneurs en phosphore total

Nitrates

Les nitrates constituent un élément indésirable dans l'eau car ils sont très solubles et peuvent provoquer des effets néfastes sur les milieux aquatiques et sur la biocénose.

La quantité des nitrates dans les eaux pluviales collectées dans les 4 points de prélèvements est comprise entre 0,4 mg/l enregistrés en janvier 2012 et 2,4 mg/l dosés au mois d'avril de la même année (figure 9). Ces valeurs restent supérieures à la faible valeur de 0,1 mg/l signalée dans les eaux météoriques.

Cette différence serait liée à une influence des matières particulaires organiques (végétales ou animales) riches en azote déposées accidentellement au niveau des toitures.

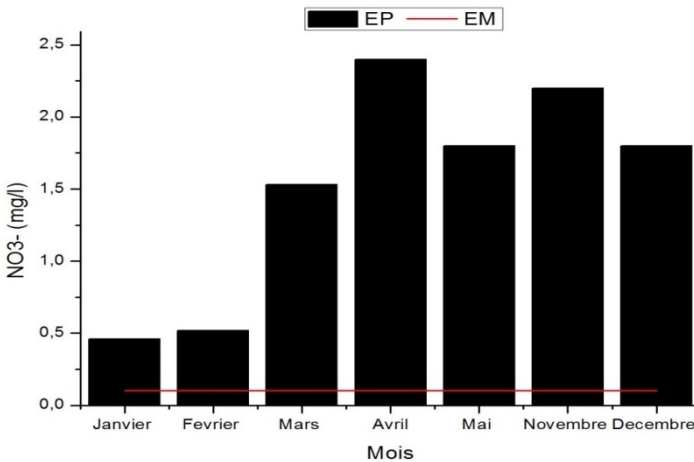


Figure 9 : Variations moyennes des nitrates dans les eaux pluviales

Métaux lourds

Les métaux traces constituent généralement, à faible concentration, des éléments indispensables au fonctionnement des systèmes biologiques mais qui deviennent toxiques en cas d'excès et inhibent certaines réactions biochimiques. Ces éléments chimiques sont persistants et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire et dans les sédiments (Ianuzzi, 1997). Les métaux plus cités dans la littérature sont le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le mercure, le manganèse, le nickel, le plomb, l'étain, le vanadium et le zinc. Au cours de notre, les teneurs des métaux traces (Cd ,Cr ,Pb ,Cu ,Zn et Fe), analysés au mois de Mai 2012, varient respectivement entre des minimums de 4; 15; 9; 6; 100 et 22 μ g/l et des maximums de l'ordre de 17; 17; 23; 20; 452 et 320 μ g/l (Tableau.4).

Ces teneurs s'avèrent, globalement assez faibles par comparaison à d'autres types d'eaux naturelles. Mais ces teneurs restent, tout de même, supérieures aux valeurs signalées au niveau des eaux météoriques (Tableau 4).

Tableau 3 : Teneurs des métaux traces dans les eaux pluviales de la FSBM.

Métal (µg/l)	Eaux pluviales des toitures							Eaux Météoriques
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Nov	Déc	
Cd	16	13	4	4	4	4	17	≤ 4
Cr	17	16	17	16	15	15	17	15
Pb	23	19	12	10	9	13	23	14
Cu	10	10	21	82	6	8	20	≤ 4
Zn	438	204	373	181	100	162	452	183
Fe	28	4	45	22.5	22	16	32	17

DISCUSSION

D'une manière générale, les paramètres physico-chimiques fournissent des indications et des informations indéniables sur la qualité de l'eau (Karrouch et al., 2009) et sur les sources de pollution qui peuvent l'affecter. Pour les eaux pluviales, malgré l'existence de sources naturelles de pollution atmosphérique (érosion éolienne, éruptions volcaniques, aérosols marins, incendies...), ce sont les sources anthropiques qui dominent en milieu urbain. En effet, les activités humaines les plus polluantes sont représentées par l'industrie (métaux, résidus pétroliers, micropolluants organiques), les moyens de transport, les chauffages collectifs et individuels, l'incinération des ordures ménagères et industrielles (Gromaire-Mertz,1998). On estime que le tiers des polluants émis dans l'atmosphère reviennent au sol sous forme de retombées humides (Olier et al., 89). Aux USA, une ancienne étude qui date des années soixante avait déjà relié la pollution des eaux pluviales au type d'occupation des sols. Dix ans après, d'autres auteurs (Bedient et al,1980) ont établi des relations entre la pollution et le ruissellement.

Dans notre cas, les eaux pluviales récupérées se caractérisent par des pH à tendance alcalines (8,5) par rapport à celui des eaux météoriques. Il y'a donc une augmentation du pH après ruissellement, comme l'a noté (Gromaire-Mertz,1998). Cette élévation est provoquée par la dissolution de particules amassées à la surface des toitures et celles issues des matériaux de construction formant leur revêtement (Mottier, 1992). Quant au pH des eaux des précipitations, il est lié selon (Beysens,2006), à la concentration des gaz et des particules solides atmosphériques adsorbantes. En effet, l'alcalinité des eaux météoriques pourrait être expliquée par le fait que les aérosols marins

transportés par les vents tendent à élever le pH des pluies et les aérosols naturels peuvent tamponner voir « neutraliser » l'effet des activités anthropogéniques (El kharmouz et al., 2013).

Les fluctuations mensuelles de la conductivité de nos eaux pluviales collectées des toitures montrent une forte minéralisation par rapport à celles des eaux météoriques. La conductivité des eaux météoriques est inférieure à celle rapportée par (El kharmouz et al., 2013) qui a signalé une conductivité variable des eaux pluviales entre 43-450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au voisinage d'une zone industrielle.

Pour ce qui est de MES des eaux pluviales issues du ruissellement des toitures, les teneurs sont très élevées par rapport à celles des eaux météoriques. La valeur moyenne maximale des 220 mg/l enregistrée reste largement supérieure à la moyenne des 29 mg/l signalée par (Gromaire –Mertz et al., 1999). Les apports en MES dans les eaux pluviales dépendent étroitement des caractéristiques des toitures (nature du revêtement, âge, état), de la localisation géographique, de la présence d'oiseaux ou de végétation au voisinage. Notons aussi, que cette teneur maximale des 220 mg/l en MES de nos eaux pluviales issues des toitures est largement supérieure à la valeur limite des normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation (R .M, 1983) qui est de l'ordre de 100 mg/l.

La DCO des eaux pluviales récupérées de nos toitures atteint en moyenne 115 mg/l et reste largement supérieure à la valeur moyenne de 31 mg/l obtenue par (Quek et al., 1993). Cette différence serait liée à un accroissement des activités humaines industrielles et domestiques génératrices de matières oxydables qui influencent sur la qualité de l'air et contaminent d'avantage les toitures des édifices.

Pour les métaux traces, les eaux pluviales analysées présentent des quantités significatives par comparaison à celles des eaux météoriques. Ainsi, les teneurs en métaux traces représentent des quantités non négligeables de pollution des eaux pluviales qui peuvent constituer une source importante de toxicité pour le milieu naturel. Ainsi, les valeurs obtenus pour notre cas (4 à 17 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour le Cd ; 8 à 21 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour le Cu ; 100 à 438 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour le Zn ; 10 à 23 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour le pb) restent largement supérieurs à celles rapportées par (Quek et al .,1993) pour ce qui est du Cd (0,04 – 1.7 $\mu\text{g}/\text{l}$), le Cu (1,9 – 475 $\mu\text{g}/\text{l}$), Zn (12 - 43419 $\mu\text{g}/\text{l}$) et le pb (1,2 - 61,9 $\mu\text{g}/\text{l}$). Au même moment, et par comparaison aux eaux météoriques, on note globalement un enrichissement important de nos eaux pluviales collectées par le zinc par comparaison aux autres éléments métalliques qui pourrait être expliqué par la disponibilité de cet élément au niveau des matériaux de construction des toitures et solubilité facile dans l'eau. Les autres métaux traces connaissent également une tendance à l'augmentation, quoique

moins prononcée, liée aux impacts des sources de pollution d'origine anthropique (transport, industries, hammams, fours....etc).

Notons aussi que les teneurs en métaux traces sont conditionnées par le pH et la quantité de MES contenues dans les eaux. En effet, la charge des eaux pluviales en MES facilite la rétention des métaux traces à leur surface. Au même moment, le pH faiblement basique des eaux pluviales, favorise le transport des métaux sous forme particulaire. Selon (Ng,1987), les concentrations métalliques dans l'eau de ruissellement des toitures résultent de deux processus concomitants et d'effets opposés : L'augmentation du pH au cours du ruissellement qui favorise l'adsorption des métaux sur la toiture. En parallèle, des métaux sont relargués des toitures par lessivage des dépôts et par corrosion des surfaces métalliques.

Par ailleurs, nos résultats montrent que la plus importante pollution contenue dans les eaux pluviales de nos toitures est une pollution dissoute sous forme de matières oxydables et de produits azotés ce qui rejoint les résultats (Forster,1996). L'auteur Van Dam,1987 souligne, de son côté, que l'eau de pluie contribue avec une large fraction dans l'apport des composés azotés. Toutefois, la valeur obtenue dans notre cas pour ce qui est des nitrates, soit en moyenne 1,5 mg/l, est largement inférieure à la valeur limite stipulée par les normes marocaines des rejets indirects "NMEDI" fixée à 50 mg/l (Secrétariat de l'Etat ,2007). Il en va de même pour ce qui est de la teneur maximale du phosphore total qui ne dépasse pas les 0,12 mg/l et qui reste très inférieure aux 10 mg/l fixés par les NMEDI. Cependant cette teneur en phosphore de nos eaux de ruissellement reste largement supérieure à la valeur de 0,04 mg/l signalée par (Van Dam,1987).

Signalons que cette dégradation de la qualité des eaux de ruissellement des toitures commence dans l'atmosphère. En effet, les produits chimiques contenus dans les gaz d'échappement des véhicules à moteur (Ellis et al.,1996), les fumées provenant des activités industrielles et des chauffages domestiques et les émanations en provenance de sites naturels (incendies, aérosols marins) , sont reprises par les gouttes de pluie. On estime que le tiers de la pollution atmosphérique totale provient de l'activité de transport (Lara-Casena,1992) Cette pollution des eaux de ruissellement des pluies au niveau des toitures est liée à deux phénomènes : l'accumulation des polluants par temps sec et leur entraînement par la pluie. Des résultats cités par (Valiron et al.,1992) font l'état d'une contribution des eaux de pluie à la pollution des eaux pluviales qui atteindrait 50 à 70 %.

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus, les eaux pluviales des toitures des bâtiments de la Faculté des Sciences Ben M'Sik sont loin d'être non polluées plus particulièrement pour ce qui est des éléments traces métalliques. Le rejet direct de ces eaux dans le milieu récepteur, sans aucun traitement, pourrait induire des effets néfastes sur la vie aquatique et celle du sol. Dans le cas où ces eaux sont mélangées avec d'autres types d'eaux (eaux usées par exemple) au cours des événements pluvieux d'orages, l'effet peut être cumulatif et plus toxique.

En ce qui concerne la réutilisation de ces eaux pluviales dans l'arrosage des espaces verts, l'analyse des résultats montre que les concentrations en éléments traces métalliques solubles dans l'eau ne constituent pas un facteur limitant pour la réutilisation de ces eaux dans l'irrigation selon les normes marocaines d'eaux destinées à l'irrigation.

En revanche pour d'autres éléments adsorbés aux MES, des traitements préliminaires sont recommandés. Dans ce sens on se propose en perspectives, d'appliquer à ces eaux pluviales issues des toitures un traitement préliminaire par coagulation floculation en vue d'améliorer leur qualité et de valoriser leur quantité de façon permanente.

Signalons enfin que l'établissement, objet de notre étude, ne constitue qu'un exemple pour la valorisation de ce capital en eaux pluviales qui peut être élargie à d'autres édifices publics consomment d'importantes quantités d'eau au niveau de l'arrosage de leurs espaces verts.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, La qualité de l'eau (Tome 2) (1999). Analyses organoleptiques, Mesures physico-chimiques, Paramètres globaux, Composés organiques. pp. 453.
- BEDIENT P., JEFF B., LAMBERT L., (1980). Springe Nina K., Stormwater Pollutant Load-Runoff Relationships *Journal W.P.C.F.* 52 (9) 2396-2404.
- D. BEYSENS, C. OHAYON, M. MUSELLI, AND O. CLUS, (2006). "Chemical and biological characteristics of dew and rain water in an urban coastal area (Bordeaux, France)," *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 20, pp. 3710–3723.
- BRENT R N. et HERRICKS E.E. (1999). A method for the toxicity assessment of wet weather events. *Water Res.*, 33, 2255-2264

Evaluation de la concentration des éléments traces (Pb, Cu, Zn, Fe, Cd et Hg) dans les crevettes (macrobrachium vollenhovenii) des lagunes Aghien et Potou (sud-est de la Côte d'Ivoire)

- CHEBBO G., R. ASHLEY et M.C. GROMAIRE (2003). The nature and pollutant role of solids at the water-sediment interface in combined sewer networks. *Water Sci. Technol.*, 47, 1-10.
- ELLIS J.B. et T. HVITVED-JACOBSEN (1996). Urban drainage impacts on receiving waters. *J. Hydraul. Res.*, 34, 771-783.
- FORSTER, J. (1996). Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration. *Water, Sci, Tech* 33(6), 39-48.
- GRAY L. (2004). Changes in water quality and macroinvertebrate communities resulting from urban stormflows in the Provo River, Utah, USA. *Hydrobiol.*, 518, 33-46.
- M.C. GROMAIRE-MERTZ, S. GARNAUD, A. GONZALEZ AND G. CHEBBO (1999). Characterisation of urban runoff pollution in Paris. *Wat. Sci. Tech.* Vol.39, No. 2, pp. 1-8.
- M.C. GROMAIRE-MERTZ (1998). La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire caractéristiques et origines, thèse d'État.
- HOUSE M.A., ELLIS J.B., HERRICKS E.E., HVITVED-JACOBSEN T., SEAGER J., LIJKLEMA L., AALDERINK H. et CLIFFORDE I.T. (1993). Urban drainage - impacts on receiving water quality. *Water Sci. Technol.*, 27, 117-158.
- IANUZZI T.J., S.L. HUNTLEY, C.W. SCHMIDT, B.L. FINLEY, R.P. McNUTT et S.J. BURTON (1997). Combined sewer overflows (CSOs) as sources of sediment contamination in the lower Passaic river, New Jersey. I. Priority pollutants and inorganic chemicals. *Chemosphere*, 34, 213-231.
- KARROUCH L. AND CHAHLAOUI A. (2009). Bio-evaluation of the quality of water of the Boufekrane river (Meknes, Morocco). *Biomatec Echo*, September 2009, Volume 3, Issue 6, pp. 6 –17.
- KEDDAL H., (2007). Guide pratique pour la récupération des eaux pluviales au Maroc, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (Maroc) 47.
- Mc KINNEY M.L. (2002). Urbanization, biodiversity, and conservation. *Biosci.*, 52, 883-890.
- LARA-CASENA VE M-B. (1992). Spéciation des métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Plomb et Zinc) dans les eaux de ruissellement. Thèse. Académie de Bordeaux. 135p.
- MOTTIER V., BOLLER M. (1992). Les eaux de ruissellement de toits : qualité et dynamique de la charge polluante. Recherche bibliographique. Rapport d'étude de l'EAWAG, Dübendorf, Suisse, 45p.

- MULLISS R.M., D.M. REVITT et R.B.E. SHUTES (1997). The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water Sci. Technol.*, 36, 195-199.
- NG H.Y.F., (1987). Rain water contribution to the dissolved chemistry of storm runoff. Proceedings of the fourth international conference on Urban Storm Drainage, Lausanne, IAHR/IAWPRC, pp 21-26.
- OLIER J.Ph., ELICHEGARAY C (1989). Le transport et la diffusion atmosphérique des polluants. *TSM L'Eau*, n°6, p.355-361.
- PITT R., R. FIELD, M. LALOR et M. BROWN (1995). Urban stormwater toxic pollutants: assessment, sources, and treatability. *Water Environ. Res.*, 67, 260-275.
- QUEK U., FORSTER J. (1993). Trace metals in roof runoff. *Water Air and Soil Pollution*, vol. 68, p. 373-389.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Champsaur H. & Rodi L. (1996). L'analyse des eaux: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. DUNOD, Paris, pp.1384.
- Royaume du Maroc, Arrêté 1276-01 du 17 octobre 2002, Article 4, conformément au décret susvisé, (1983) 2-97-875.
- SEIDL M., P. SERVAIS et J.M. MOUCHEL (1998). Organic matter transport and degradation in the river Seine (France) after a combined sewer overflow. *Water Res.*, 32, 3569- 3580.
- Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement (avec l'appui de la GIZ), *Guide des normes de qualité ; eaux destinées à l'irrigation (2007)*.
- VALIRON F. et J.P. TABUCHI (1992). Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie : état de l'art. Lavoisier Tec & Doc (Éditeur), 564 p.
- VAN BUREN M.A., W.E. WATT et J. MARSALEK (1997). Application of the log-normal and normal distributions to stormwater quality parameters. *Water Res.*, 31, 95-104.