



## **Effet de la chloration sur la formation de trihalométhanes dans les eaux alimentant la ville de Casablanca au Maroc (Effect of chlorination on trihalomethanes formation in feed water of Casablanca in Morocco)**

**Fatiha Zidane <sup>a,\*</sup>, Karima Cheggari <sup>a</sup>, Jean-François Blais <sup>b</sup>, Naima Khlil <sup>c</sup>  
Patrick Drogui <sup>b</sup>, Jalila Bensaid <sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Département de Chimie, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II, Km 8, BP 5366, Maarif, Casablanca, Maroc*

<sup>b</sup> *Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau, Terre et Environnement), Université du Québec, 490 rue de la Couronne, Québec, Qc, Canada, G1K 9A9*

<sup>c</sup> *Département de Biologie, Université Hassan II, Faculté de Médecine et de Pharmacie, 19, rue Tarik Bnou Ziad, Casablanca, Maroc*

Received 2011; revised 2011; Accepted 2011-08-31

\*Auteur correspondant : Email : [fatihazidane@yahoo.fr](mailto:fatihazidane@yahoo.fr); Tel : 212 6 61 330342; Fax : 212 22 5 985578

### **Résumé**

Sachant que pour conserver la qualité de l'eau dès sa production, pendant le stockage et jusqu'à sa distribution au consommateur il faut maintenir un minimum de chlore résiduel dans l'eau afin d'éviter les incidents de reviviscence bactérienne. Au Maroc, la pré-oxydation et la désinfection finale sont effectuées à l'aide du chlore. En cas de la diminution de ce dernier une injection du chlore s'effectue. Cette injection s'effectue à différents points du réseau: à la sortie de la station de traitement, à l'entrée du réservoir de stockage, à la sortie et pendant la distribution à différents points sur le réseau jusqu'à l'arrivée de l'eau chez le consommateur. Le but de notre travail est le suivi de l'effet de la chloration sur la formation des sous-produits et en particulier des trihalométhanes (THMs). Dans le présent travail, nous avons suivi la qualité de l'eau du barrage de Bou Regreg dès sa sortie de la station de traitement, en passant par le réservoir, jusqu'à son arrivée chez le consommateur. Dans un premier temps, une caractérisation analytique, un suivi des paramètres physico-chimiques et une détermination des THMs ont été réalisés pour ces eaux. Dans un deuxième temps, une eau naturelle prise comme référence a été contaminée par l'acide humique, afin de suivre l'évolution des THMs, en appliquant les mêmes procédés utilisés dans la filière de traitement des eaux au Maroc. Les résultats ont montré que l'augmentation du chlore, ou l'ajout du chlore, à différents points d'injection a un grand effet sur la contamination des eaux par les THMs.

*Mots clés* : Eau de réservoir, trihalométhanes THM, chlore résiduel, chloration, eau potable.

## Abstract

To maintain the quality of drinking water, from the water treatment plant to consumer's tap water, a residual concentration of chlorine has to be maintained throughout the distribution system and protects against microbial recontamination (remnant effect). In Morocco, the pre-oxidation and final disinfection are carried out using chlorine. The injection of chlorine is carried out at different points of the distribution network: *i*) at the outlet of the water treatment plant; *ii*) at the inlet of the storage tank; *iii*) at the outlet of the storage tank, and; *vi*) during the distribution of water at different points of the network up to consumer's tap water. The objective of this work is to follow the effect of chlorination on by-products formation (organochlorinated compounds, trihalomethanes (THMs)). Initially, analytical characterization, monitoring of physicochemical parameters and determination of THMs have been carried out for Bou Regreg water sampled at different points of the distribution network. In a second time, a natural water taken as reference was contaminated with humic acid (used as precursors of THMs) in order to follow the change in THMs concentration while applying the same processes encountered in water treatment plants of Morocco. The results show that, the increase in chlorine concentration greatly affects water contamination by THMs.

**Keywords:** Storage water, trihalométhane, THM, residual chlorine, chlorination, drinking water.

## 1. Introduction

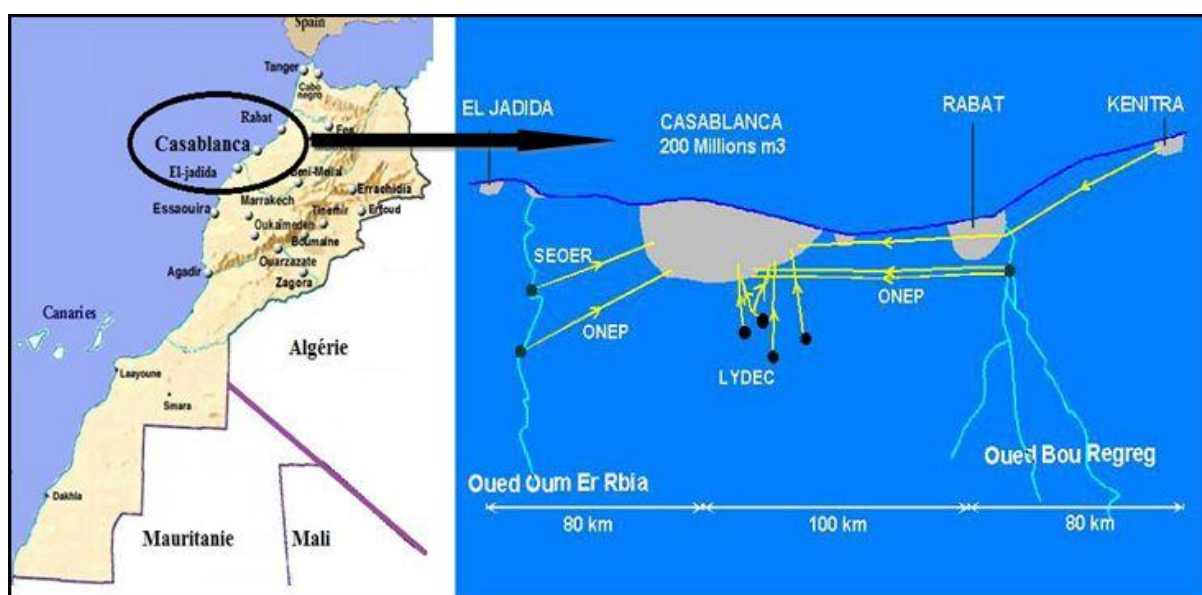
La ville de Casablanca au Maroc est alimentée en eaux potable par trois sources : ONEP : 67.9% (Oueds Bou Regreg et Oum Er Rbia) SEOR : 30.5% (Oued Oum Er Rbia) LYDEC : 1.6% (Trois forages). [1]

Et c'est la troisième société LYDEC Lyonnaise des Eaux de Casablanca) qui assure aussi la distribution de l'eau à la population de la grande wilaya de Casablanca (la ville de Casablanca et la ville de Mohammedia). La Figure 1 montre les différents complexes alimentant la ville de Casablanca en eau potable. [2]

Le réseau d'eau potable a suivi la croissance démographique et l'extension spatiale de la ville d'où la répartition par étages de distribution, la figure ci-dessous représente les différents étages de distribution et qui sont situées entre les cotes 5 NGM et 180.

Lorsque l'eau potable arrive à Casablanca et à Mohammedia, elle est stockée dans 36 réservoirs, qui assurent une réserve de sécurité de 24 h. Cette eau est à nouveau désinfectée par le chlore. Chaque étage représenté à la Figure 2 est alimenté par un ou plusieurs réservoirs.

Le Tableau 1 représente l'état des réservoirs alimentant les étages de distribution.



**Figure 1 :** Schéma d'alimentation en eau potable de la ville Casablanca au Maroc [2].

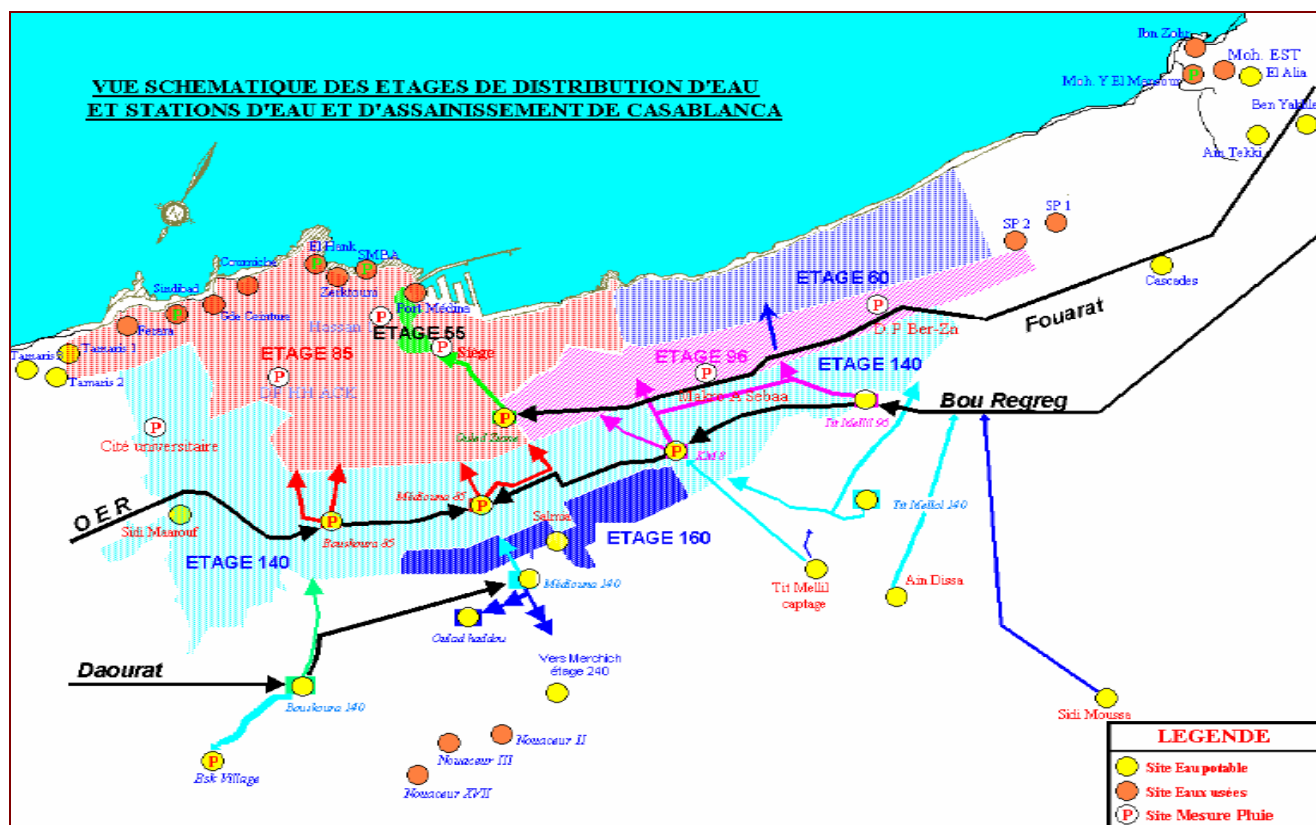


Figure 2 : Étages de distribution de l'eau potable de la ville de Casablanca au Maroc [3].

Tableau 1 : État des réservoirs alimentant les étages de distribution en eau potable [3].

Désignation	Capacité (en m <sup>3</sup> )	Côte desservie	Linéaire (ml) du réseau primaire
Réservoir Ouled-Ziane	24 000	55	5 200
Réservoir Ain-Tekki (Mohammedia)	35 000	58	11 850
Réservoir Mediouna 85	170 000	85	50 604
Réservoir Bouskoura 85	80 000		
Réservoir Mediouna 140	80 000	140	56 790
Réservoir Bouskoura 140	60 000		
Réservoir Tit Mellil 140	25 000		
Réservoir Tit Mellil 96	35 000	96	23 924
Réservoir Km 8	52 000		
Réservoir Ouled-Haddou	40 000	160	11 160
Réservoir Merchich	16 000	242	29 950
Réservoir Benyakhlef (Mohammedia)	2 000	92	2 970

Le maintien de la qualité des eaux potables à la sortie de la station de traitement des eaux, et au cours du stockage dans les réservoirs jusqu'au robinet du consommateur, est une préoccupation majeure des responsables de la distribution des eaux de consommation à la ville de Casablanca. Du point de vue biologique, ce maintien est garanti par la présence d'un taux de chlore suffisant pour inhiber la croissance bactérienne dans l'eau potable au cours de son séjour dans le réseau. Ce taux de chloration est fixé par la norme Marocaine [4].

Les conditions qui prévalent dans les réservoirs de stockage et les réseaux de distribution d'eau potable peuvent altérer la qualité de l'eau chèrement acquise à l'usine de traitement. Ainsi, plusieurs auteurs ont montré que la reviviscence, souvent appelée recroissance de micro-organismes, dans le réseau de distribution représente un sérieux problème pour les traités d'eau. HANSON *et al.* (1987) ont montré que cette recroissance des micro-organismes représente un risque sanitaire pour les consommateurs [5]. De nombreux incidents de recroissance microbienne dans les réseaux de distribution ont été rapportés par plusieurs auteurs [6,7]. Dans la plupart des cas, les raisons de la contamination ne sont pas connues et le choix des mesures correctives relève de l'arbitraire ou de l'expérience de l'exploitant. De nombreux projets de recherche ont été réalisés afin de montrer les effets du réseau de distribution sur la qualité de l'eau distribuée [8,9].

Pour éviter tout type d'accident (recroissance microbienne, corrosion, etc.) dans les bassins de stockage et dans le réseau de distribution il est indispensable de maintenir une concentration de chlore résiduel dans l'eau potable. D'après la recommandation de la Norme Marocaine [4], le système de distribution de l'eau potable doit contenir en tout temps une concentration de chlore résiduel entre 0.1 et 0.5 mg L<sup>-1</sup>.

Cependant la présence du chlore dans l'eau entraîne la formation des THMs qui sont des sous-produits de la chloration, formés principalement par réaction du chlore avec des substances organiques naturelles (substances humiques et fulviques) présentes dans l'eau [10]. Le chloroforme est généralement le principal THMs mesuré dans l'eau potable (jusqu'à 90% en poids de tous les THMs) [11].

Les teneurs en THMs peuvent donc varier de façon importante en fonction de la matière organique (COT) mais également en fonction d'autres paramètres de la qualité de l'eau tels les bromures, le pH, l'ammoniac, l'alcalinité et la température. Les procédés et les paramètres de traitement, chloration avant coagulation ou l'inverse (enlèvement de la matière organique avant l'application du désinfectant), type de désinfectant, dose de désinfectant, temps de contact et la saison influencent aussi les concentrations de THM dans l'eau [12].

Les teneurs de THMs et autres sous-produits de la chloration sont soumises à des variations spatio-temporelles à l'intérieur d'un réseau [13].

Les variations saisonnières des teneurs de THMs dans l'eau traitée sont principalement dues aux variations de température de l'eau mais également au type de la matière organique contenu dans cette eau [14]. On constate également que les niveaux les plus élevés de THMs sont mesurés à l'extrémité du réseau c'est-à-dire chez le consommateur [13,15].

Cette variation spatiale serait attribuable à la réaction du chlore résiduel avec la matière organique notamment le biofilm fixé sur les parois des conduites [16].

Il est à noter que la variation spatiale des THMs n'a pas été observée à l'intérieur de petits réseaux [12]. BARIBEAU (1995) a montré que les concentrations de THMs augmentent en fonction du temps de séjour de l'eau dans les réseaux en présence du chlore résiduel [17].

Comme une première étape dans la présente étude nous avons suivi la qualité d'une eau stockée au réservoir de Tit Mellil alimentant l'étage 140 de la ville de Casablanca (Figure 1), en suivant, les paramètres physico-chimiques, le chlore résiduel et la formation des THM à l'entrée, à la sortie de réservoir et chez le consommateur. Et ceci afin de voir l'effet de l'ajout du chlore dans les bassins de stockage et le long du réseau de distribution sur la formation des sous-produits toxiques (THMs).

Le réservoir de Tit Mellil est alimenté par une eau produite à partir de l'eau brute du barrage de Bou Regreg, cette dernière subit une chaîne de traitement qui commence par une préchloration, suivi d'une coagulation et filtration sur sable, En terminant par une post-chloration c'est-à-dire une dernière désinfection par le chlore [2].

Dans une deuxième étape nous avons traité une eau brute de Bou Regreg par le même procédé de traitement cité précédemment, cette eau a fait elle aussi, l'objet d'une caractérisation physico-chimique, et suivi des THMs.

De même un suivi de l'effet de la chloration sur une eau chargée en matière organique naturelle (acide humique) sur la production ou l'évolution des THMs dans des eaux traitées par le procédé appliqué au Maroc.

## **2. Matériels et Méthodes**

### *2.1. Échantillonnage des eaux naturelles et traitées*

Les deux types d'eaux naturelles utilisées dans la présente étude ont été prélevés au Maroc et au Canada. La première est une eau brute de barrage de Bou Regreg qui alimente la ville de Casablanca en eau potable. La

deuxième est une eau naturelle de la rivière Beauport à proximité de la ville de Québec. Cette eau a été analysée, puis traitée au laboratoire suivant le procédé appliqué au Maroc, après ou sans contamination préalable par l'acide humique. Au Maroc, le procédé de traitement des eaux naturelles appliqué est de type conventionnel, comprenant un prétraitement physicochimique par coagulation-floculation-décantation, suivi d'une filtration sur sable et de la désinfection par le chlore avant le stockage et la distribution de l'eau. Une pré-oxydation par le chlore (avant l'étape de coagulation-floculation) est souvent requise compte tenu des caractéristiques initiales de l'eau brute.

Les échantillons d'eaux traitées ont été prélevés à l'entrée et à la sortie du réservoir Km 8 AR.BBR de Tit Mellil recevant les eaux traitées de Barrage Bou Regreg. L'échantillon de l'eau du robinet a été prélevé chez un consommateur à l'étage 140 (Voir Figure 2) de la ville de Casablanca.

Les échantillons, depuis les points de prélèvement jusqu'au laboratoire, ont été transportés dans des contenants en polyéthylène et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à leur utilisation.

## 2.2. Méthodes analytiques

Les paramètres suivis dans la présente étude, aussi bien pour les eaux brutes que pour les eaux traitées sont, le pH, la conductivité, la turbidité, le chlore résiduel, le carbone organique total (COT), l'azote total ( $N_T$ ), la demande chimique en oxygène (DCO), la matière minérale et les THMs.

La mesure du pH a été réalisée en utilisant un pH-mètre Accumet Research modèle AR 25 Dual Channel pH/Ion meter de Fisher Scientific (Nepean, ON, Canada) équipé d'une double jonction Cole-Parmer avec une électrode de pH Ag/AgCl calibrée chaque jour entre 4 et 9 (Cole Parmer Instrument, Anjou, QC, Canada). La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre Néphélométrique à lumière infrarouge de marque Hach Lange (modèle 2100AN IS, gamme 0.001 à 1000 NTU, Noisy Le Grand, France). La conductivité des eaux a été mesurée à l'aide d'un appareil Oakton (modèle 510, Cole Parmer Instrument, Anjou, QC, Canada). Le chlore résiduel a été déterminé à l'aide d'un appareil Testpak (Comparateur 2000+Lovibond, Tintometer-Group, France), en utilisant la méthode à la DPD (diéthyl-p-phenyldiamine) (Norme Française: NF T 90-038 Octobre 1987).

Les teneurs en COT et  $N_T$  ont été mesurées à l'aide d'un analyseur de marque Shimadzu (modèle TOC-VCPH, Shimadzu Scientific Instruments Inc., Kyoto, Japon). La DCO a été mesurée selon la méthode 5220D [18] avec une courbe standard (0-1000 mg L<sup>-1</sup>) établie à l'aide d'un spectrophotomètre UV de marque Varian (modèle Cary 50, Varian Canada Inc., Saint-Laurent, QC, Canada).

La détermination de la composition élémentaire des eaux a été effectuée par spectrophotométrie à émission de plasma induit (ICP-AES) (Méthode EPA 6010B) sur un appareil Varian (modèle Vista AX CCO Simultaneous ICP-AES, Palo Alto, CA, USA). Des contrôles de qualité ont été effectués en analysant des échantillons liquides certifiés (lot SC0019251, no. catalogue 900-Q30-002, multi-elements standard, SCP Science, Lasalle, QC, Canada).

Les analyses des THM ont été effectuées au laboratoire Exova (Québec, QC, Canada) par la méthode MA. 400 - COV 1.1 [18]. L'appareil utilisé pour cette analyse est de type Purge and Trap Teledyne Tekmar concentrator velocity XPT (modèle EMQ0656, Mason, Ohio, USA), couplé à un chromatographe en phase gazeuse de marque Agilent (modèle 6890N, Santa Clara, CA, USA), muni d'un détecteur à spectrométrie de masse Agilent (modèle 5973, Santa Clara, CA, USA). La limite de seuil de détection était de 0.1 µg L<sup>-1</sup> pour la plupart des composés visés.

## 3. Résultats et Discussion

### 3.1. Caractérisation des eaux brutes et traitées

Le Tableau 2 représente la caractérisation des eaux brutes et des eaux traitées par le même procédé appliqué au Maroc. La première eau est celle du barrage de Bou Regreg qui sert à l'alimentation du réservoir de Tit Mellil qui approvisionne une partie de la ville de Casablanca en eau potable. La deuxième eau est celle de la rivière Beauport contaminée par 20 mg L<sup>-1</sup> d'acide humique afin d'obtenir des caractéristiques se rapprochant de celles de l'eau brute de Bou Regreg.

Pour la chloration et la coagulation de ces eaux naturelles, les doses de produits chimiques utilisés ont été fixées sur la base de celles appliquées au sein des stations de traitement des eaux au Maroc.

**Tableau 2** : Caractéristiques des eaux brutes et traitées

Paramètres	Eau de Bou Regreg (Maroc)		Eau de Beauport (Canada)		Eau de Beauport (Canada) + 20 mg L <sup>-1</sup> d'acide humique	
	Eau brute	Eau traitée	Eau brute	Eau traitée	Eau brute	Eau traitée
pH	8.05	7.90	7.97	7.45	7.52	7.50
Conductivité (µs cm <sup>-1</sup> )	644	512	547	1 688	468	951
Turbidité (NTU)	0.84	0.39	4.19	1.95	9.15	1.06
DCO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	95.6	35.1	56.2	23.6	171	47.3
COT (mg L <sup>-1</sup> )	7.8	3.5	6.8	5.9	12.5	6.0
NT (mg L <sup>-1</sup> )	1.60	1.80	1.90	1.53	1.75	1.63
Cl ajouté (mg L <sup>-1</sup> )	0	3.2	0	2.2	0	4.2
Cl résiduel (mg L <sup>-1</sup> )	0	0.5	0	1.2	0	0.6
Alun ajouté (mg L <sup>-1</sup> )	0	1.1	0	1	0	1.3
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	25.2	23.8	34.5	46.8	48.6	50.1
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	18.5	17.6	5.46	4.64	5.56	5.50
K (mg L <sup>-1</sup> )	3.23	2.97	1.51	3.28	2.82	3.56
Na (mg L <sup>-1</sup> )	62.9	58.9	13.8	226	26.6	62.2
P (mg L <sup>-1</sup> )	0.014	<LD	0.083	0.164	0.074	0.109
Fe (mg L <sup>-1</sup> )	0.060	0.040	0.102	0.048	0.367	0.329
Al (mg L <sup>-1</sup> )	0.085	0.032	0.136	1.782	2.066	5.271
Pb (mg L <sup>-1</sup> )	<LD	<LD	0.012	0.053	0.158	0.106
Cd (mg L <sup>-1</sup> )	<LD	<LD	<LD	<LD	0.018	0.029
Cr (mg L <sup>-1</sup> )	0.002	0.001	0.017	0.017	0.045	0.035
Cu (mg L <sup>-1</sup> )	0.003	0.001	0.006	0.012	0.195	0.133
S (mg L <sup>-1</sup> )	39.0	19.8	62.4	13.8	12.1	15.4
Zn (mg L <sup>-1</sup> )	0.004	0.003	0.042	0.036	0.134	0.132
Si (mg L <sup>-1</sup> )	4.21	3.91	2.17	0.53	3.95	3.76

LD : Limite de Détection ; LD de Cd : 0,00001 ; LD de p : 0,0001

La détermination de la demande en chlore a été effectuée par le traçage de la courbe de point de rupture (break point) en utilisant la méthode à la DPD (diéthyl-p-phenyldiamine) (Norme Française: NF T 90-038 Octobre 1987). Cette méthode consiste à ajouter dans une série de flacons contenant le même volume d'eau, des doses croissantes de chlore, et à mesurer par la suite le chlore résiduel à l'aide d'un appareil *Testpak (Compareteur 2000+ Lovibond, Tintometer-Group, France)*. (Zidane et al. 2010). Les essais de Jar-test ont permis de déterminer les doses optimales de Coagulant (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). Le sulfate d'aluminium a été ajouté à des volumes de 1 L des différentes eaux. Ces eaux ont ensuite été agitées pendant 5 min, puis décantées pendant 24 h.

Les résultats présentés au [Tableau 2](#) indiquent que l'eau brute de Bou Regreg et l'eau brute de la rivière Beauport contaminée par 20 mg L<sup>-1</sup> d'acide humique ont des caractéristiques comparables. Cette dernière a donc été utilisée comme eau de référence pour le reste de l'étude.

De même, les résultats montrent que la demande en chlore pour les eaux naturelles augmente avec l'augmentation de la DCO et du COT.

Pour suivre l'effet de l'injection du chlore pendant la distribution et après le traitement des eaux naturelles, des échantillons du réservoir de Tit Mellil ont été prélevés à l'entrée et à la sortie, ainsi qu'à partir du robinet chez un consommateur. Le [Tableau 3](#) représente les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux.

Les résultats montrent que la qualité analytique de l'eau du réservoir reste quasi-stable à l'entrée, à la sortie de réservoir et aussi chez le consommateur (eau du robinet). Par contre, le chlore résiduel augmente à la sortie du

réservoir de l'eau traitée et baisse lorsque l'eau arrive chez le consommateur (Tableau 3). Cette augmentation du chlore résiduel est due à l'ajout du chlore afin d'assurer la désinfection de l'eau dans le réservoir et dans le réseau de distribution pour empêcher les incidents de reviviscence bactérienne. De même, les résultats ont montré que le COT augmente à la sortie du réservoir et diminue chez le consommateur.

**Tableau 3 :** Caractéristiques des eaux de réservoir et de l'eau de robinet

Paramètres	Entrée de réservoir	Sortie de réservoir	Eau de robinet
pH	7.68	7.77	7.76
Conductivité ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ )	530	609	900
Turbidité (NTU)	0.50	0.44	0.59
DCO ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )	47.5	56.4	49.3
COT ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3.6	6.2	4.9
NT ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2.3	1.9	0.3
Cl résiduel ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.2	0.3	0.1
Ca ( $\text{mg L}^{-1}$ )	40.5	41.5	48.1
Mg ( $\text{mg L}^{-1}$ )	14.3	14.2	18.8
K ( $\text{mg L}^{-1}$ )	2.23	2.19	2.51
Na ( $\text{mg L}^{-1}$ )	31.2	31.0	71.9
P ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.067	0.005	<LD
Fe ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.028	0.025	0.077
Al ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.058	0.054	0.159
Pb ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.003	0.010	0.022
Cd ( $\text{mg L}^{-1}$ )	<LD	<LD	<LD
Cr ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.001	0.001	0.001
Cu ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.005	0.002	0.002
S ( $\text{mg L}^{-1}$ )	17.7	17.7	21.8
Zn ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0.009	0.010	0.011
Si ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3.98	3.95	2.31

LD : Limite de Détection ; LD de Cd : 0,00001 ; LD de p : 0,0001

Ces eaux de réservoir et aussi les eaux naturelles traitées précédemment (Eau de Bou Regreg, et eau de la rivière Beauport avec et sans acide humique), ont fait l'objet d'une détermination des THM, pour connaître l'effet des différentes injections de chlore sur la formation des THMs pendant la production et au cours de la distribution.

### 3.2. Suivi des THM dans les eaux brutes et traitées avec et sans acide humique

La présence du chlore dans l'eau naturelle conduit généralement à la formation de sous-produits de chloration, la majeure partie de ces derniers étant les THMs [12].

Dans la présente étude, les principaux THMs déterminés sont : le chloroforme ( $\text{CHCl}_3$ ), le bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ), le dibromochlorométhane ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) et le bromodichlorométhane ( $\text{CHBrCl}_2$ ).

Le Tableau 4 présente les teneurs en chloroforme, bromoforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane et la sommation de THM en  $\mu\text{g L}^{-1}$  identifiées dans les eaux brutes et les eaux traitées.

Les résultats indiquent que l'eau de Bou Regreg contient des teneurs importantes en THM, ce qui prouve que la chloration a un effet sur l'enrichissement de l'eau par ces derniers. Malgré que l'eau de Bou Regreg est légèrement moins chargée en matière organique (COT) par rapport à l'eau de Beauport. Bou Regreg a enregistré des valeurs plus élevées en THM, ceci peut être du à la nature de précurseurs présents dans l'eau, plusieurs auteurs (Zidane et al 2010, Benzha 2007) ont déjà montré que l'eau de Bou Regreg contient des teneurs importantes en Benzène, toluène est autre précurseurs de THM et ceci à cause de la pollution due aux activités industrielles qui versent leurs rejets en amont du barrage [2,3].

**Tableau 4 :** Teneurs en chloroforme, bromoforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane et la sommation de THM en ( $\mu\text{g/L}$ ) dans les eaux brutes et traitées

Paramètres	Eau de Bou Regreg (Maroc)		Eau de Beauport (Canada)		Eau de Beauport (Canada) + 20 mg L <sup>-1</sup> d'acide humique	
	Eau brute	Eau traitée	Eau brute	Eau brute	eau brute	eau traitée
Chloroforme	0.19	20	0.22	12	0.22	20
Bromodichlorométhane	0.10	20	<0.10	2.5	<0.10	4.1
Dibromochlorométhane	<0.10	16	<0.10	0.43	<0.10	0.62
Bromoforme	<0.10	2.5	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Sommation de THM	0.29	59	0.22	14	0.22	25

De même, on constate que les THM en présence d'acide humique sont plus élevés. Ce fait met en évidence l'effet de la chloration sur la formation des THM en présence de la matière organique (acide humique) [11]. Au cours de la présente étude, un suivi des eaux traitées du réservoir jusqu'au consommateur s'est imposé, puisque l'ajout de chlore constitue la seule opération de correction des eaux qui s'effectue au Maroc. Un suivi de THM de ces eaux s'est avéré nécessaire pour voir l'effet de l'injection successive du chlore le long du réseau de distribution d'eau potable. Le [Tableau 5](#) présente donc les concentrations en THM dans l'eau du réservoir et chez le consommateur.

**Tableau 5 :** Teneurs en chloroforme, bromoforme, bromodichlorométhane, dibromochlorométhane et la sommation de THM en ( $\mu\text{g/L}$ ) dans l'eau de réservoir et chez le consommateur

Paramètres	Entrée de réservoir	Sortie de réservoir	Eau de robinet
Chloroforme	27	29	33
Bromodichlorométhane	24	31	29
Dibromochlorométhane	18	25	21
Bromoforme	2.6	4.1	2.6
Sommation des THM	71	89	85

Les résultats montrent que le chloroforme, le bromodichlorométhane et le dibromochlorométhane sont détectés avec des teneurs importantes à l'entrée du réservoir, à la sortie du réservoir et dans l'eau de robinet. Le bromoforme est présent à des valeurs inférieures aux autres THM. Le chloroforme constitue le THM ayant les teneurs les plus élevées et ce, pour les trois types d'eau. Comme le fait remarqué DORE (1989), le chloroforme est souvent l'élément le plus dominant parmi les quatre principaux trihalométhanes [11].

Les teneurs les plus élevées en chloroforme et en THM totaux ont été mesurées dans l'eau du robinet. La teneur en chloroforme est passée de 27  $\mu\text{g L}^{-1}$  à l'entrée du réservoir à 29  $\mu\text{g L}^{-1}$  à la sortie, ce qui est justifié par l'augmentation du chlore résiduel qui passe respectivement de 0.2 à 0.3 mg L<sup>-1</sup> de l'entrée à la sortie du réservoir ([Tableau 2](#)). La teneur en chloroforme dans l'eau du robinet a augmenté à 33  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Cette augmentation est due à la réaction du chlore résiduel, justifiant sa diminution de 0.3 mg L<sup>-1</sup> à la sortie du réservoir pour atteindre 0.1 mg L<sup>-1</sup> dans l'eau du robinet ([Tableau 2](#)). Les teneurs les plus élevées des trois autres THMs ont été obtenues à la sortie du réservoir. Car une dernière chloration s'effectue à la sortie du réservoir afin d'assurer la présence du chlore résiduel le long du réseau de distribution.

Plusieurs auteurs ont déjà montré que la teneur en chloroforme augmente en présence du chlore résiduel et en fonction du temps de séjour [13,16].

Les teneurs en chloroforme déterminées dans les eaux du réservoir et l'eau du robinet restent inférieures à la norme marocaine [4] qui est de 200  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Par contre, la concentration mesurée dans l'eau du robinet dépasse



légèrement la norme recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est de  $30 \mu\text{g L}^{-1}$  [11,20].

De même, la somme des concentrations des quatre THMs est élevée pour toutes les eaux avec la teneur la plus élevée dans l'eau à la sortie du réservoir ( $89 \mu\text{g L}^{-1}$ ), qui est légèrement supérieure à celle mesurée dans l'eau du robinet ( $85 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Ces valeurs dépassent la norme de l'OMS ( $80 \mu\text{g L}^{-1}$ ) mais restent toujours légèrement inférieures à la norme marocaine ( $100 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

## Conclusion

Dans cette étude, nous avons travaillé sur des eaux naturelles servant à l'alimentation de la ville de Casablanca au Maroc, et nous avons suivi les caractéristiques de ces eaux de la station de traitement et jusqu'au réservoir de stockage à l'entrée et à la sortie et même chez le consommateur.

Sachant que l'injection du chlore se fait en plusieurs étapes, à la station de traitement, à l'entrée et à la sortie du réservoir de stockage, il nous ait apparu intéressant de suivre la formation des sous-produits de désinfection (THMs) pendant ces différentes étapes.

Les résultats de cette étude confirment que l'injection du chlore dans les réservoirs de stockage et dans le réseau de distribution d'eau potable, génère la formation de quantité importante de THMs. De plus, le temps de séjour joue aussi un rôle très important dans la stabilisation et l'augmentation des teneurs de ces THMs et en particulier pour le chloroforme, le bromodichlorométhane, et le dibromochlorométhane qui sont des substances très toxiques.

## Références

1. Zidane F., Lekhlif B., Boulanger A., Chenguiti S. et Hachim R. Cahiers de l'Association Scientifique Européenne pour l'Eau et la Santé, 9(1), (2004) 47-58.
2. Zidane F., Cheggari K., Blais J.F., Drogui P., Bensaid J. et Ibn Ahmed S. *Can. J. Civil Eng.*, 37(8), (2010) 1149-1156.
3. Benzha F. (2007). Hydrogéochimie d'un écosystème aquatique : cas des lacs réservoirs : IM fout douarat et sidi mâachou sur l'oued Oum Rbia. Impact du sédiment sur l'eutrophisation. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, Casablanca, Maroc.
4. Norme Marocaine des eaux potables (NM 03.7.001).
5. Hanson H.F., Mueller L.M., Hasted S.S. et Goff D.R.. Rapport AWWA Research foundation, (1987) 156.
6. Adam O. et Kott Y. Bacterial growth potential in the distribution system. Dans : Microbiology in civil engineering, Howsam, P. (éd.), E. & F. Spon, Londres, Angleterre. (1990).
7. Lechevallier M.W. A review. *J. AWWA*, 82(11), (1990) 74-86.
8. Block J.C., Haudidier K., Paquin J.L., Miazga J. et Lévi Y. *Biofouling*, 6 (1993) 333-343.
9. Desjardins R., Jutras L. et Prévost M. *Rev. Sci. Eau*, 2, (1997) 167-184.
10. Santé Canada (1993). Site web: [www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc\\_pubs/rqepdoc\\_appui/rqep.htm](http://www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm).
11. Doré M. Chimie des oxydants et traitement des eaux. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, France. (1989).
12. Laferrière M., Levallois P. et Gingras S. *Vecteur Environnement*, 32(3), (1999) 38-43.
13. Rodriguez M.J. et J.B. Serodes S. *Water Res.*, 35(6), (2001) 1572-1586.
14. Singer P.C. Formation and characterization of disinfection by-products. Dans : Safety of water disinfection: Balancing chemical & microbial risks. Craun G.F. (éd.), ILSI Press, Washington, D.C., États-Unis, (1993).
15. Chen W.J. et Weisel C.P. *J. AWWA*, 90(4), (1998) 151-163.
16. Rossman L.A., Brown R.A., Singer P.C. et J.R. Nuckols P.C. DBP. *Water Res.*, 35(14), (2001) 3483-3489.
17. Baribeau H. Évolution des oxydants et des sous-produits d'oxydation dans le réseau de distribution d'eau potable de Ville de Laval. Thèse de Doctorat, École Polytechnique de Montréal, Montréal, Canada (1995).

18. APHA (1999). Standards methods for examination of water and wastewaters. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington, D.C., États-Unis.
19. CEAEQ (2008). Méthode d'analyse. Détermination des composés organiques volatils : Dosage par « Purge and Trap » couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spectromètre de masse, Méthode MA. 400 – COV 1.1, Rév. 1. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, Québec, QC, Canada, 18 p.
20. Organisation Mondiale de la Santé (2000). Trihalométhanes. Dans : Directives de qualité pour l'eau de boisson; Volume 2. NM 03.7.001 Norme Marocaine, Qualité des eaux d'alimentation humaine.

(2012) [www.jmaterenvironsci.com](http://www.jmaterenvironsci.com)