

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Contribution à l'étude des risques des métaux lourds (Pb, Cr, Cd) sur la santé humaine des eaux souterraines dans le bassin versant de la basse Soummam

Présenté par :

LAMMARI Yasmine & DAGHI Kamilia

Soutenu le : 06/07/2021

Devant le jury composé de :

Mr. Dadach Mohammed	MCB	Président
Mr. Khemmoudj Kaddour	MCA	Encadreur
Mr. Saadali Riad	MCB	Examinateur

Année universitaire : 2020 / 2021



Remerciements

Au moment de clôturer ce mémoire, on remercie en premier lieu dieu de nous avoir donné la force et la patience de terminer ce travail.

On voudrait remercier très chaleureusement Mr Khemmoudj Kaddour , pour le temps qu'il a su me consacrer et les précieux conseils qu'il a pu nous donner.

On remercie les membres du jury, le président Mr Dadach Mohammed et Mr Saadali Riad, d'avoir accepté d'évaluer notre travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

On tient à remercier chaleureusement, tout nous proches et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce Travail.



Dédicace

Avec l'expression de reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher PAPA, merci de m'avoir appris à courir derrière mes rêves et d'avoir implanté en moi cet amour pour les études.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable MAMAN, merci pour toute la joie que tu me portes pour tous tes éclats de rire qui rayonne ma vie.

A mes chères sœur Fatma et Kahina qui n'ont pas cessé de m'aider dans mon travail. Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon cher frère Chabane d'être le meilleur frère qu'on puisse avoir, si doux si tendre si serviable. Que dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur.

A mes grands père Boualam et M. Said que dieu les protège.

A mes grands mère Yamina et Aicha que dieu les protège.

A toutes mes tantes, oncles et cousins paternel et maternel.

Je dédie aussi ce travail à mes chères copines Warda et Djida ainsi que ma binôme
Kamilia

YASMINE



Dédicaces

Après un longus trajet, enfin je suis en train de présenter ce modeste travail grâce à :

Allah qui m'indique le chemin de succès.

Avec toute ma reconnaissance, ma tendresse et bien sûr avec mon grand amour je dédie ce travail:

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais comment te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et consacrer tes efforts pour moi, et qui m'a toujours pousser vers l'optimisateurs.

A mon cher frère

Kamel d'être le meilleur frère qu'on puisse avoir, Que dieu te protège et t'offre la chance et le bonheur.

A mes chères sœurs

Sabrina et Tinhinan mes adorables, Que dieu vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

A mon grand père Said et ma grand mère Ouardia que dieu les accueille dans sont vaste paradis.

A mon grand père mohande et ma grand mère Laitmas que dieu les protèges.

A la personne qui m'est la plus chèrekhaled que dieu te protège et t'offre la chance et le bonheur.

Toutes mes tantes, oncles et cousins, cousines paternel et maternel.

Je dédie aussi ce travail à mes chères copines Kahina et Lillia ainsi que ma binôme Yasmine et sa sœur fatma

Kamilia

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des signes et des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale..... 1

Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur l'eau 3

I.1.1. L'eau en Algérie du Nord..... 3

I.1.2. Cycle de l'eau dans la nature..... 4

I.1.3. Les types des ressources hydriques 5

I.1.3.1. Les ressources conventionnelles..... 6

I.2. Pollution des ressources hydriques 8

I.2.1. Définition de la pollution 8

I.2.2. Pollution des eaux 8

I.2.3. Nature et source de la pollution..... 8

I.2.4. Les différents formes de pollution des hydro systèmes 9

I.3. Les métaux lourds 9

I.3.1. Définition 10

I.3.2. Sources d'émissions 10

I.3.3. Les sources naturelles..... 11

I.3.4. Les sources anthropiques 11

I.3.5. Classification des métaux lourds..... 12

I.3.5.1. Caractéristique des métaux lourds	12
I.3.5.1.1. Propriétés physico-chimique des métaux lourds.....	12
I.3.5.1.2. Le Cadmium.....	13
I.3.5.1.3. Le plomb	15
I.3.5.1.4. Le Chrome	17
Matériels et méthodes	
II.1. Présentation de la zone d'étude	20
II.1. 1. Situation géographique	20
II.1.2. Les caractéristiques morphométriques du Bassin	21
II.1.2.1 Caractéristique géométriques :	21
II.1.3.les caractéristiques physiques	23
II.1.3.1. Population.....	23
II.1.3.2. Réseau hydrographique	23
II.1.3.3 Le couvert végétal	23
II.1.3.4. Géologie	24
II.1.3.5. La pédologie	25
II.2. Climatologie de la zone	26
II.2.1. Climatologie de la station de Bejaia	26
II.2.2 Climatologie de la station de AKBOU	28
II.3. Le bassin versant	31
II.3.1. Définitions du bassin versant	31
II.3.2. Description du bassin versant de la vallée de la Soummam	32
II.4. Echantillonnage	32
II.5. Présentation de logiciel utilisée (logiciel Surfer)	33
II.6. Analyse des éléments métalliques par la spectrophotométrie	34

II.7. Matériels utilisés.....	34
II.8. Evaluation de risque pour la santé humaine	35

Résultats et discussion

III.1. Variations des valeurs d'exposition par voie ingestion, inhalation et dermique dans les populations exposées.....	48
III.2. La variation des valeurs HQ par voie cutané, voie inhalation et voie ingestion soit chez l'adulte ou l'enfant	51
III.3. Comparaison entre les valeurs de dose HQ des eaux souterraine et eaux surface de la vallée de la Soummam et les valeurs limites de HQ.....	53
III.4. Variations des valeurs HI	54
III.5. Interprétation des cartes	55
III.6. Discussion des résultats et risque au cancer.....	64
III.7. D'autre risque sur la santé qui peuvent être provoqués par les métaux lourds	65
III.8. Source de pollution de bassin versant de la basse soummam	66
Conclusion générale	67
Références bibliographiques	69

Liste des signes et des abréviations

A : Surface

A.E.P.: Alimentation en Eau Potable.

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

ADN : Acide désoxyribonucléique

As : arsenic

AT : Temps moyen d'exposition

BW : Poids moyen du Corps Humain

Cd : Cadmium

Ceau : Concentration en éléments chimique dans la solution

CF : Facteur de conversion unitaire

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

ED : Durée d'exposition

EF : Fréquence d'exposition

ET : Temps d'expositions

ETM : Eléments-Traces Métalliques

Expo : Dose d'exposition à calculer

Hg : Mercure

HI : indice de référence

HQ : dose de référence

InhR : taux d'inhalation

IR : Taux d ingestions

KG : Indice de Gravelius

l : largeur

L : Longueur

Mn : Manganèse

MNT : Modèles Numériques de Terrain

Ni : Nickel

ONM : Office National de la Météorologie

P : Périmètre

P : Précipitation

Pb : Plomb

PCB : Les polychlorobiphényles

PEF : Facteur d'émission de particules

RfD : référence facteur de dose

SA : Zone de peau exposée

SAA : Spectrométrie Absorption Atomique

Sn : étain

T: Temperature

TDS: Total Dissolved Solids

U.S: United States

Zn :Zinc

Liste des tableaux

Tableau 1: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm en (2008-2018).....26

Tableau 2: Moyennes mensuelles et interannuelles température en 2008-2018.....27

Tableau 3: Répartition de la pluviométrie dans la station (2008- 2018) (ONM).....29

Tableau 4: les température moyennes à travers la station d'Akbou (2008 – 2018) (ONM).....30

Tableau 5: valeurs limites cas des eaux souterraines (USEPA, 2016).....37

Tableau 6: Valeurs limites des eaux de surface (USEPA, 2016)38

Tableau 7: référence facteur de dose (USEPA, 2016).....38

Tableau 8: teneurs moyennes en élément chimique et traces métalliques dans les eaux souterraines et les eaux de surfaces39

Tableau 9: Résultats final de calcul des HQ risque non cancérigène et cancérigène par les métaux lourds.54

Liste des figures

Figure 1: carte des bassins versant de l'Algérie (site internet, consulté 20/04/2021).....	4
Figure 2: cycle de l'eau (site internet, consulté 09/07/2021)	5
Figure 3: Situation de lma vallée Soummam	21
Figure 4: carte géologique de la région d'étude (extrait de la carte géologique nord Constantine de (1/500 000)	25
Figure 5: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien A.N.R.H, 1993.....	26
Figure 6: Variation mensuelle des précipitations en (2008-2018).	27
Figure 7: Variation mensuelle des températures en 2008-2018.....	28
Figure 8: Variation mensuelle des précipitations en (2008-2018).	29
Figure 9: Variation mensuelle des températures en 2008-2018.....	30
Figure 10: Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique.....	31
Figure 11: la carte du bassin versant de la région d'étude	32
Figure 12: spectromètre d'absorption atomique (SAA).....	34
Figure 13: Les points de prélèvements dans les eaux de souterraines (puits) et surfaces (stations).	40
Figure 14: graphe de PH des sites des prélèvements des eaux souterraines.	41
Figure 15: graphe de PH des sites des prélèvements des eaux surfaces.	42
Figure 16: graphe des Températures des sites des prélèvements des eaux souterraines.....	42
Figure 17: graphe des températures des sites des prélèvements des eaux surfaces.	42
Figure 18: Graphe de relation de conductivité et TDS des eaux souterraines.	43
Figure 19: Graphe de relation de conductivité et TDS des eaux surfaces.....	43
Figure 20: carte des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux souterraines.....	44

Figure 21: carte des métaux lourds (Pb,Cd,Cr) dans les eaux souterraines.	45
Figure 22: carte des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux surfaces.	46
Figure 23: carte des métaux lourds (Pb,Cd,Cr) dans les eaux surfaces.....	47
Figure 24: cartes des risques cas de Cd pour les eaux souterraines.	56
Figure 25: cartes des risques cas de Cd pour les eaux surfaces.	57
Figure 26: cartes des risques cas de Cr pour les eaux souterraines.	59
Figure 27: cartes des risques cas de Cr pour les eaux surfaces.	60
Figure 28: cartes des risques cas de Pb pour les eaux souterraines.....	62
Figure 29: cartes des risques cas de Pb pour les eaux surfaces.....	63
Figure 30: Carte représente les sources de pollution de la basse Soummam.	66

Introduction générale

L'eau est indispensable à la vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister.

La terre étant, à ce jour, la seule planète du système solaire, elle est la seule à abriter la vie. L'eau est l'un des 5 éléments indispensables à la vie. L'eau est le principal constituant des êtres vivants et il est indispensable au développement de toute vie.

Elle est localement menacée ou très dégradée par la pollution. Qu'est-ce que la pollution ?

La pollution est un problème d'actualité, elle affecte pratiquement tous les écosystèmes y compris l'environnement marin. Elle présente un risque pour la santé humaine. La superficie totale des mers est de 361,3 millions de km carrés, ce qui représente 70,8% de la surface du globe. C'est là où tous les rejets dus aux activités humaines finissent leurs circulations. Ces rejets peuvent être des polluants pétroliers, des substances radioactives, des eaux usées, des nutriments, macro-déchets, ou bien des métaux lourds (**Benhamed.I, 2016**). En particulier en Algérie, où les ressources en eau sont devenues de plus en plus limitées, difficile à exploiter, et souvent sont exposés à des quantités importantes d'eaux usées.

Des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme de polluants graves de l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (**Harte et al., 1991 ; Schuurmann et Markert, 1998**).

Les métaux lourds tels que le plomb (Pb), le chrome (Cr) et le cadmium (Cd) posent effectivement des problèmes particulièrement préoccupants. Ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité et pourraient être impliqués dans de nombreuses pathologies (**Abrahams, 2002 ; Adriano, 2001**). Qu'est-ce qu'un métal ?

D'un point de vue purement scientifique et technique, Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm^3 et qui possèdent un numéro atomique élevé.

Aujourd'hui, la contamination de l'eau par les éléments métalliques présente des risques de préoccupation prioritaire qu'il s'agisse de risques aigus ou de risques chroniques avec la problématique difficile des conséquences pour la santé humaine des faibles doses répétées de toxiques cumulatifs ou additifs (**WHO, 1992**).

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les métaux lourds (**Casa.S,2005**), (**Bendada, K. et Boulakradeche, M,2011**), (**Harzouni, L & Hani, N. 2020**), (**Toumi. B,2019**).

L'objectif de notre travail est de montrer la Contribution à l'étude des risques des métaux lourds (Pb, Cr, Cd) sur la santé humaine des eaux souterraines dans le bassin versant de la basse Soummam.

Le travail est structuré de quatre parties :

- La première partie c'est la synthèse bibliographique ; qui englobe l'introduction et quelques généralités sur le thème,
- La seconde partie c'est la partie matériel et méthodes où on a présenté la région d'étude, le matériel utilisé et la méthode utilisée.
- La troisième partie c'est la partie de résultats et discussion
- Enfin on a conclu le travail par une conclusion et quelle que recommandations.

Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur l'eau

Notre planète est dite « la planète de l'eau, la planète bleue ». Près de 70 % de la surface de la Terre est recouverte d'eau, essentiellement sous forme d'océans.

Mais l'eau est aussi présente sous d'autres formes liquides, gazeuse (vapeur d'eau) et solide. Alors que 97,5% du volume d'eau disponible est occupé par les mers et océans, 2,5% de ce stock constitue les réserves d'eau douce (L'eau douce est une eau qui contient moins de 3 grammes de sels par litre, à l'inverse de l'eau dure ou de l'eau de mer. Elle contient même généralement moins d'un gramme de matières solides dissoutes, comme les sels, métaux et éléments nutritifs, par litre). Les deux tiers de cette eau dite « douce » sont présents dans les glaciers (1,98 %), le tiers gîte dans des nappes souterraines. Moins de 1% compose l'humidité des sols et de l'air et seulement 0,3% constitue les cours d'eau, réservoirs et lacs, une quantité estimée à 108 000 Km³. Pour un pourcentage de seulement 0,007% du stock mondial, 125000 milliards de m³ sont disponibles, un chiffre que considèrent les experts momentanément suffisants pour les besoins globaux en eau de la planète.

L'eau est un composé incolore, inodore, insipide et liquide à température ordinaire (Hamoudi., 1999). L'eau est un corps composé résultant de la combinaison de deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène de formule H₂O. Elle bout à la température de 100°C. 1 cm³ à 4°C pèse sensiblement 1g (Haddad et al., 2006).

Elle est utilisée dans de nombreux secteurs, allant de l'agriculture à l'assainissement, de l'industrie aux ménages et bien sûr, dans l'environnement.

I.1.1. L'eau en Algérie du Nord

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E. P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du nord est évaluée entre 95 et 100 109 m³. Plus de 80 109 m³ s'évaporent, 3 109 m³ s'infiltrent et 12.5109 s'écoulent dans les cours d'eau. Dans l'Algérie du nord, l'apport principal vient du ruissellement. Les eaux de surface sont stockées dans les barrages. En 2002, l'Algérie dispose de 52 grands barrages d'une capacité de 5,2 milliards de m³. Le reste (7.3 109

m³) se déverse directement dans la mer. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années par une sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire de notre pays, et qui a montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau. Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants :

- Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions
- Le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert (**Remini. B, 2010**) (Fig.1)

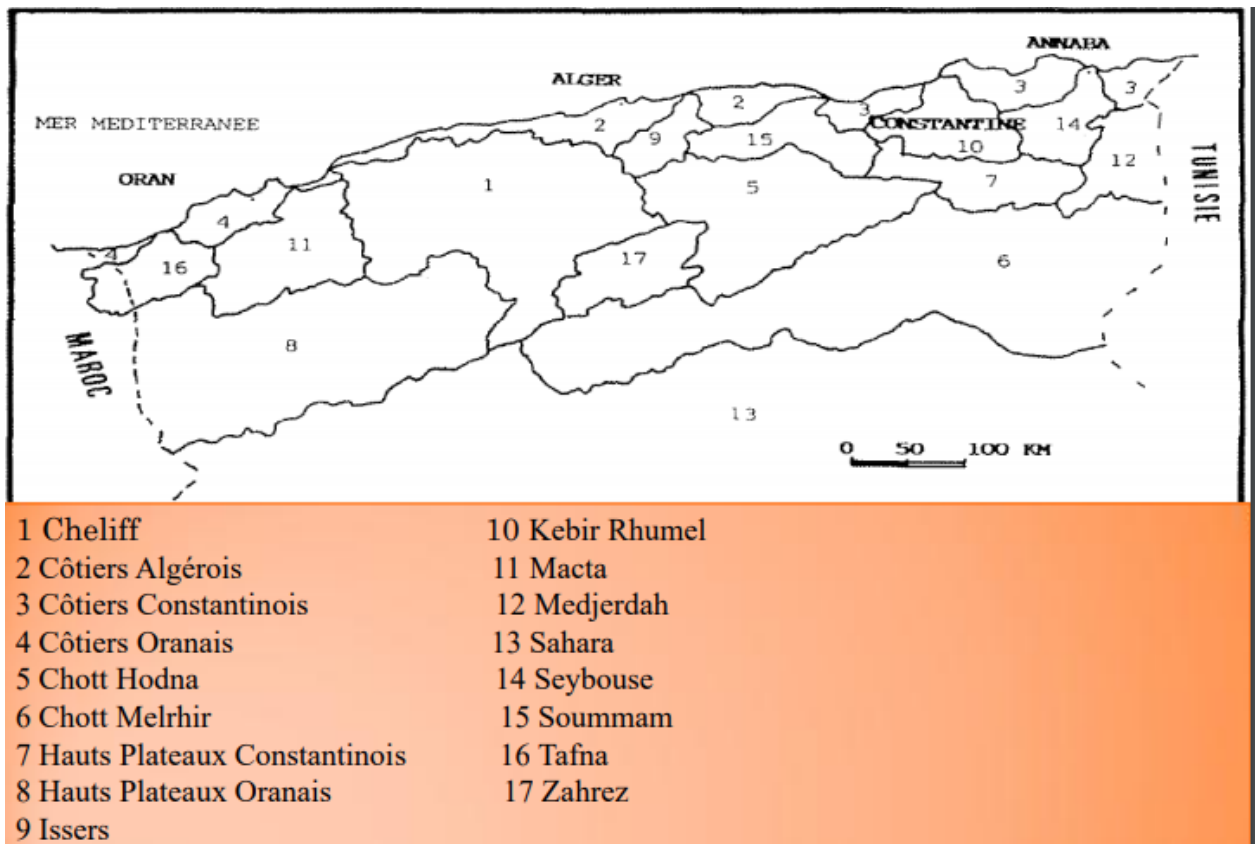


Figure 1: carte des bassins versant de l'Algérie (site internet, consulté 20/04/2021)

I.1.2. Cycle de l'eau dans la nature

On peut définir les mouvements de l'eau sur la terre comme des flux dans un système à circuit fermé. Une représentation simple de ce circuit implique des mouvements d'eau des masses océaniques vers l'atmosphère et vers les masses continentales, puis des masses continentales vers les océans. Cette nature cyclique est à l'origine du terme général attribué à ces mouvements d'eau : cycle de l'eau (**Anctil et al, 2013**) (Fig.2).

Ce cycle de l'eau est essentiellement un des grands composants de la régulation énergétique de l'ensemble terre-océan-atmosphère (Roche et al, 2012).

La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère, chauffée par celle-ci, s'évapore conduisant ainsi à la présence d'eau de l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air et par condensation, retombe sous forme de précipitations sur la lithosphère. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs d'où, elle est rejetée, d'une part à l'évaporation et d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation qu'elles alimentent. Ensuite, elles sont libérées dans l'atmosphère sous forme de transpiration, et en partie s'accumulent dans les sous-sols, pour former des nappes souterraines qui, à leurs tours en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue (Chalgou et Naili, 2017).

Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère.

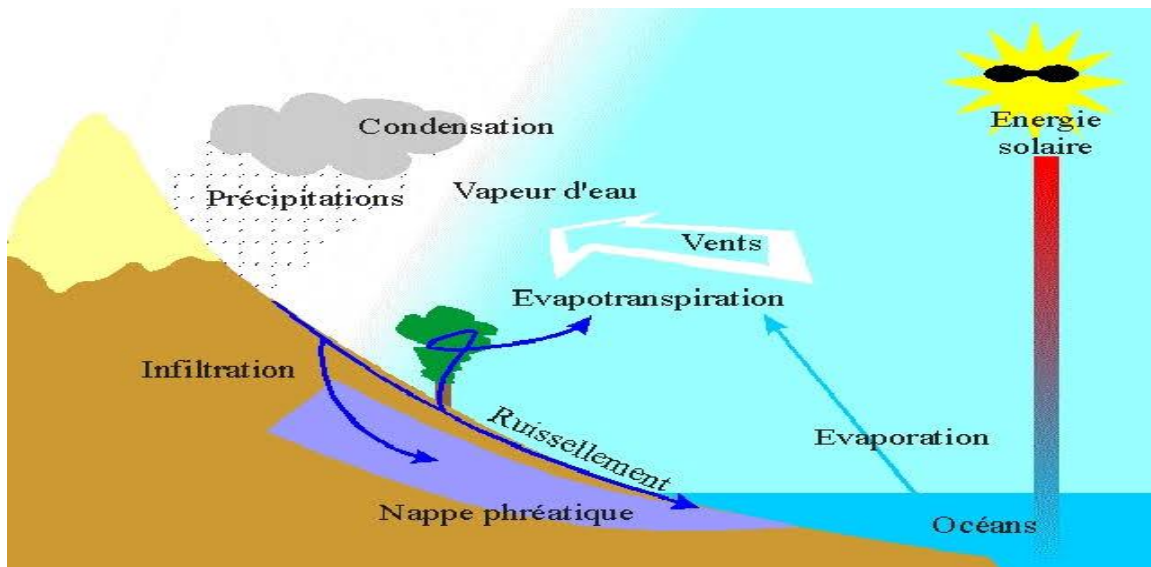


Figure 2: cycle de l'eau (site internet, consulté 09/07/2021)

I.1.3. Les types des ressources hydriques

L'eau circule sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment. Au sein d'un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle.

Deux types de ressources naturelles :

- Les ressources conventionnelles à savoir les eaux superficielles (de surface) et les eaux souterraines.
- Les ressources non conventionnelles ou "ressources palliatives" notamment le dessalement d'eau de mer pour l'Alimentation en eau potable, Déminéralisation des eaux saumâtres, Eaux usées épurées pour l'irrigation essentiellement.

I.1.3.1. Les ressources conventionnelles

Il s'agit ici d'eau provenant de sources d'eau douce, de rivière, de puits, de retenues et barrages, de lacs et ruisseaux, de forages, de l'eau qu'on peut tout simplement utiliser à l'état naturel même si celle-ci a subi une légère déminéralisation. Les ressources conventionnelles dont les techniques de mobilisation sont classiques déjà éprouvées, et qui portent sur les prélèvements de l'eau de l'environnement à l'aide des barrages, des forages et d'autres moyens, actuellement généralisé de par le monde.

Les ressources conventionnelles se subdivisent en deux catégories : les eaux superficielles et les eaux souterraines.

a) Les eaux superficielles

Appelé aussi eau de surface, Les eaux superficielles constituées des oueds, lacs, étangs, sebkhas et chotts ainsi que les terrains et végétations compris dans leurs limites (**Jopa, 2005**).

Elles se constituent par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. (**Dussart, 1996**)

Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable.

Les eaux de surface se caractérisent par :

- Les variations saisonnières (car climatique) et, à degré moindre, journalières des paramètres physiques : température, turbidité et coloration. Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdal peuvent être importantes tout en étant aléatoires suite à des pluies soudaines, des orages et des pollutions accidentelles.
- La présence fréquente de matières organiques d'origines naturelles végétales après leurs morts.
- Le développement plus ou moins important de phytoplancton (algues) et zooplancton et, dans certaines conditions, d'une vie aquatique intense.
- La fragilité de cette ressource très vulnérable à la pollution d'origine urbaine, industrielles agricole. On y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale (métaux lourds) ou organique (hydrocarbures, solvants, phénols, pesticides, herbicides,...etc.)

b) Les ressources en eau souterraines

Ce sont les eaux des nappes phréatiques. Ce sont des ressources en eau naturelles renouvelables et non renouvelables, (fourniture de l'eau pour la population dans la plupart des régions de monde se fait par le biais les eaux souterraines (**Michel, 2000**)).

Les eaux qui ne s'évapore pas, ne retourne pas à la mer par ruissellement que s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La fuite et la pénétration des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques et la structure des terrains qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappe.

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour desquelles sont dissous des ions (majeurs, mineurs, et traces), des gaz dissous (oxygène, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoute. Les origines de ces composants sont diverses et proviennent de sources naturelles ou anthropiques (déchets, activités industrielles, agriculture, mines...).

Si certains de ces composants présentent un danger pour la santé humaine et pour l'environnement, ils sont considérés comme des polluants (**Luzolo, 2012**).

I.2. Pollution des ressources hydriques

I.2.1. Définition de la pollution

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel, qui peut affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elle est de trois types :

-La pollution de l'air : causée par les fumées industrielles, les moyens de locomotion, le volcanisme. etc

-La pollution de l'eau : causée par rejets industriels et agricoles et des zones urbanisées, raffineries en mer. etc

- La pollution des sols : causée par le stockage des déchets, l'épandage des pesticides. etc

Le terme polluant désigne tout agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans un milieu donné. Il s'agit également de toute substance naturelle ou d'origine anthropique introduite dans un biotope donné où elle était absente ou où elle en-modifie ou augmente la teneur.

I.2.2. Pollution des eaux

Les pollutions sont « des déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de matières de toute nature et, plus généralement tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, qu'il s'agisse d'eaux superficielles, souterraines ou des eaux de la mer, dans la limite des eaux territoriales » (Faurie et al., 2006).

I.2.3. Nature et source de la pollution

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire.

Cette pollution peut avoir des origines diverses :

- La pollution industrielle : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines
- La pollution agricole : avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.
- La pollution domestique : avec les eaux usées provenant des toilettes, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures...

I.2.4. Les différentes formes de pollution des hydro systèmes

- **La pollution organique** Elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux.
La pollution organique provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux
- **La pollution chimique** Elle concerne les nitrates et les phosphates contenus dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie.

Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques, provoquant des effets toxiques. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, (**Ramade, 1979**).

I.3. Les métaux lourds

En général métaux lourds sont les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm³. On

retrouve dans certaines publications anciennes l'appellation de « métal pesant ». (GERARD, 2000)

I.3.1. Définition

En chimie, les métaux lourds sont en général définis sur la base de propriétés spécifiques (poids moléculaire, capacité à former des cations polyvalents...) (Adriano, 1986 ; Fergusson, 1980).

Toujours au point de vue chimique, les métaux lourds sont des éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux.

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001). D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques.

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn). Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et/ou pour l'homme [Belabed, 2010]

I.3.2. Sources d'émissions

Les ETM sont diffusés vers l'atmosphère lors de processus naturels comme l'érosion éolienne, les activités volcaniques, les embruns marins et les feux de forêts. Cependant, les activités anthropiques telles que la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol).

Parmi les différents éléments métalliques émis dans l'environnement lors des activités anthropiques, le zinc, le plomb, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel sont les plus

couramment mesurés dans les études environnementales en raison de la diversité des sources d'émission.

I.3.3. Les sources naturelles

Les métaux sont naturellement présents dans les sols, ils proviennent en grande partie, de l'altération des roches mères du sous-sol : il s'agit du fond géochimique (**Jourdan et al et al, 2005**).

Par définition le fond géochimique est la teneur naturelle en microéléments présents dans le sol sans intervention humaine ; elle dépend d'abord de la teneur présente dans la roche, mais également des processus qui sont intervenus lors de la formation du sol, qui ont pu lessiver ou plus généralement concentrer l'élément (**Robert, 1996**). Ces gisements naturels, enfouis dans les roches, deviennent accessibles et contaminants potentiels à quatre occasions : l'exploitation et l'utilisation, l'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux, et les sédiments, lors du prélèvement d'eau, on peut tomber sur une roche très chargée en métaux ; les activités tectoniques et les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines (**Bliefert and Perraud, 2001 ; Bonnomet, Le goff,2004**)

I.3.4. Les sources anthropiques

L'activité humaine ne crée ni ne détruit des ETM, en revanche elle modifie très significativement leurs répartitions et les formes chimiques sous lesquelles ils sont présents l'environnement (**Miquel, 2001**). Les principales activités mises en cause sont les suivantes :

- ❖ **Pratiques agricoles** : Les ETM sont issus de l'épandage d'insecticides, de fongicides, d'engrais de boue résiduaires urbaines, de l'élevage de porcs dont les aliments sont enrichis de Cu ou de compostes d'ordures ménagères (**Jourdan et al, 2005**).
- ❖ **Pollution due aux retombés atmosphériques** : Principalement issue de l'activité industrielle et du trafic routier. En industrie les retombés correspondent à l'émission atmosphérique des ETM par les combustions de charbon, les fonderies (Pb,Cu,Ni,Zn), les cimenteries (Ta,Cr,Pb), traitement de bois (Cu,Cr), pigments pour peintures et encres

(Cd,Pb,Zn,Cr), Les tanneries (Cr), les traitements de minerais et l'industrie métallurgique (**Perrono,1999; Tonneau, 2003; Bonnomet and Le goff,2004**). En transport les ETM proviennent essentiellement des huiles de carter, de l'usure, des pneus (Pb, Cd), de la combustion des moteurs à explosion à partir du Pb antidétonant ajouté à l'essence (**Robert, 1996; Tonneau, 2003**).

- ❖ **Stockage des déchets urbains ou industriels** : Les ETM sont régulièrement présents dans les décharges de déchets ménager, des études de lixiviats ont montré qu'il restait 99.9% du stock des ETM dans la décharge au bout de 30 ans. De même les ETM sont en concentration très importante sur les anciens sites.

I.3.5. Classification des métaux lourds

- ❖ **Les métaux essentiels** : sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001**).
- ❖ **Les métaux toxiques** : ont un effet toxique sur les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (**Adriano, 1986, Fergusson, 1980**).

I.3.5.1. Caractéristique des métaux lourds

I.3.5.1.1. Propriétés physico-chimique des métaux lourds

- transportables, changent de forme chimique mais ne se détruisent pas ;
- conductivité électrique élevée, qui explique leur utilisation dans de nombreuses industries ;
- présentent une certaine toxicité pour tous les organismes (microorganismes, plantes, animaux, homme). Ils n'ont aucune activité biologique et peuvent entraîner notamment des lésions neurologiques plus ou moins grave ;
- ils ont une particularité à s'accumuler dans la chaîne alimentaire.

I.3.5.1.2. Le Cadmium

A. Définition et propriétés

Le nom de Cadmium vient du latin *cadmia* (calamine), ancien nom donné au carbonate du znc. Le cadmium est un élément ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et très fusible (point de fusion à 320,9°) ; il possède un poids atomique de 112,40 et cristallise sous une forme hexagonale. Dans la nature, le cadmium est un métal blanc argenté, ses propriétés physico-chimiques présentent beaucoup de similitudes avec celles du zinc et du calcium (Copaux et al, 1925).

Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes, et ne semble pas biologiquement bénéfique au métabolisme cellulaire. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus (Chiffolleau et al, 1999).

B. Comportement dans l'eau

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimique (minérale ou organique). Un ensemble de variables physicochimiques du milieu (salinité, pH, caractéristique sédimentologique, concentration en chlorure ...) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement aquatique (Chiffolleau, 2001).

C. Toxicité

a. Devenir dans l'organisme

L'absorption digestive du cadmium est faible (environ 5 à 10%). Après passage par la barrière intestinale, le cadmium se trouve dans le sang ou il est rapidement distribué dans le foie et les reins et dans une moindre mesure dans le pancréas et la rate (Ricoux et al, 2005). Le cadmium est un toxique cumulatif dont la demi-vie biologique est très longue estimée de 20 à 30 ans chez l'homme. Son excrétion est très lente presque exclusivement par voie urinaire (Ricoux et al, 2005).

b. Toxicité aiguë

Les effets aigus n'apparaissent qu'après ingestion d'au moins long de cadmium. Les symptômes observés sont des gastro-entérites avec des vomissements, des diarrhées, des myalgies et des crampes épigastriques (**Pillet, 2001**). L'insuffisance rénale est la conséquence des troubles hémodynamiques et d'un effet toxique direct sur les tubules rénaux. En cas d'intoxication massive, on observe un collapsus cardiovasculaire, une acidose métabolique intense et une coagulation de consommation entraînant la mort en quelques heures (**Pillet, 2001**).

c. Toxicité chronique**❖ Effets systémiques**

Les effets toxiques du cadmium sont nombreux, mais les principales atteintes de l'organisme suite à une exposition prolongée au cadmium sont, chez l'animal comme chez l'homme des atteintes de la fonction rénale (**Joris, 2005**). Après 60 à 75 jours d'exposition à 50 mg/kg, il se produit une dégénérescence des cellules des tubules proximaux se traduisant par une perte anormale de protéines de faible poids moléculaire dans les urines (protéinurie) (**Joris, 2005**).

L'endémie Itai-Itai illustre bien la contamination de l'homme par ce métal se traduisait par une atteinte rénale très importante associée avec une ostéoporose et des symptômes d'ostéomalacie (**Joris, 2005**).

❖ Effets cancérogènes

Le cadmium est aussi considéré comme un agent tératogène et carcinogène, il a été classé dans la catégorie « cancérogène pour l'homme » par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), mais cette classification a été basée sur l'exposition par inhalation (**Waalkes, 2000**).

I.3.5.1.3. Le plomb

A. Définition et propriétés

Le plomb est un métal ubiquitaire de couleur bleu gris qui présente un poids atomique de 207,2 et une densité égale à 11,3. Il fond à 327° et bout à 1525°. C'est le 36^{ème} élément de la croûte terrestre en termes d'abondance, il ne possède ni odeur ni saveur particulières (**Baize, 1997**).

Le plomb métallique ne se dissout pas dans l'eau et ne brûle pas (**EPA, 1999**). Selon les auteurs, la concentration moyenne en Pb dans la croûte terrestre varierait entre 13 et 16µg/g, et leur concentration dans les eaux de surface non contaminées ne dépasse pas 10 µg/l (**Baize, 1997**).

B. Comportement dans l'eau

Le plomb existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, colloïdale et le plomb particulaire. Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer sont les carbonates $PbCO_3$ ou les chlorures Pb,Cb,etc. Il présente une forte affinité pour la matière particulaire. La fraction adsorbée sur les particules en suspension augmente avec le pH et diminue lorsque la chlorinité augmente. De même que pour le mercure, le plomb peut être méthylé par les bactéries dans les sédiments (**Cossa et al, 1993**).

C. Toxicité

a. Devenir dans l'organisme

Le plomb existe principalement sous forme inorganique. L'ingestion est la voie d'exposition principale du plomb. Après absorption, le plomb passe facilement dans l'organisme, après quelques semaines 90 % du plomb conservé dans l'organisme est stocké dans les os ou dans les dents ou il peut rester des dizaines d'années s'il n'est pas remobilisé (grossesse, lactation ... etc) de même certaines pathologies (ostéoporose, fracture) pourraient entraîner une mobilisation intense du plomb osseux (**Plante et al, 1998**).

Le plomb sanguin représente 2 % de la quantité présente dans l'organisme. Sa demi-vie biologique chez l'adulte est de 20 à 30 jours. Le plomb qui n'est pas stocké est éliminé par les urines ou les fèces (**Links et al, 2001**).

b. Toxicité aiguë

L'intoxication aiguë au plomb se manifeste différemment selon qu'elle survient chez l'enfant ou chez l'adulte. Chez l'enfant, l'intoxication aiguë au plomb est caractérisée par l'anorexie, les vomissements, l'irritabilité et les troubles de comportements (**Lapreche et al, 2004**), alors que chez l'adulte elle se manifeste cliniquement par un goût métallique, des douleurs abdominales (coliques) et la constipation. Ces symptômes se manifestent généralement lorsque la plombémie atteint 30 à 50 µg/dl (1,44 à 2,4mol/l) (**Casas, 2005**).

c. Toxicité chronique**❖ Effets systémiques**

Le plomb est un toxique cumulatif dont l'intoxication à long terme est le saturnisme. Il modifie le fonctionnement cellulaire en perturbant différents processus physiologiques. Il peut ainsi provoquer l'anémie sanguine et des effets rénaux (insuffisance rénale). Il possède des effets sur le système nerveux central (retard de développement, irritabilité, troubles du sommeil, perte de mémoire, ...) et à long terme sur la fertilité (**Bisson et al, 2003**). Les effets du plomb sont généralement amplifiés chez le fœtus et l'enfant (anomalies congénitales, déficits neurocomportementaux durables) (**Belliles, 1994**).

❖ Effets cancérigènes

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le plomb et ses dérivés inorganiques dans la catégorie 2B (potentiellement cancérigènes pour l'homme). Sa cancérogénicité a été démontrée chez l'animale mais insuffisamment démontré chez l'homme.

I.3.5.1.4. Le Chrome

A. Définition et propriétés

Le chrome est un élément chimique de la famille des métaux de transition. C'est un métal dur de couleur bleu blanc. Il est soluble dans HCl et H₂SO₄ mais pas dans HNO₃, H₃PO₄ ou HClO₄ grâce à la formation de couches protectrices. Il résiste à l'oxydation de l'air. Il est fréquemment utilisé dans les alliages, le plaquage de chrome, et dans les céramiques. Il est présent en petite quantité dans la nature et se concentre préférentiellement dans les roches basiques, à la différence des roches siliceuses. Sa solubilité est faible vis-à-vis des phénomènes de lessivage du sol. Le chrome pur est assez peu employé dans l'industrie, mis à part pour la fabrication des aciers spéciaux (dopage pour l'obtention de caractéristiques mécaniques supérieures). En revanche, ses dérivés sont très utilisés notamment dans les industries chimiques avec les dichromates. Ses sels s'emploient comme colorants (vert de chrome, rouge de chrome, etc.).

Le chrome est un élément étranger à l'eau et sa présence est liée aux rejets des ateliers de galvanoplastie. Dès lors, comme le chrome est amphotère, il peut exister dans l'eau sous plusieurs formes : l'état du cation se retrouve dans les eaux naturelles à pH acide

B. Comportement dans l'eau

La spéciation du chrome, VI ou III, dépend principalement des concentrations en chrome total, des ligands disponibles dans la matrice et du pH. Parmi les composés solides du chrome, seul l'oxyde chromique [Cr₂O₃, chrome III] est stable en solution aqueuse. Les hydroxydes de chrome [Cr(OH)₂ + et Cr(OH)₃, chrome III] et les oxydes de chrome [CrO₂ et CrO₃, chrome VI] ne sont pas stables aux températures et concentrations environnementales (**Beverkog et Puigdomenech, 1997**).

Dans l'eau, le chrome III se trouve sous forme de cation qui forme des complexes très stables avec des ligands organiques ou inorganiques chargés négativement, ou des précipités hydroxydes. Au-dessus de pH 6, le chrome III peut précipiter sous forme d'hydroxyde de chrome amorphe [Cr(OH)₃(s)]. Le chrome III dans le milieu aquatique est peu mobile en raison de la faible solubilité des hydroxydes [Cr(OH)₃ et (Cr,Fe)(OH)₃] et de leur forte adsorption sur les solides. Le

chrome III atteint son minimum de solubilité dans la gamme de pH de 7,5 à 8,5 (**Sharma et al., 2008**).

C. Les effets toxiques du chrome

Les effets toxiques connus du chrome chez l'homme sont attribuables surtout au chrome hexavalent. Une seule dose orale de 10 mg de chrome hexavalent par kilogramme de poids corporel entraîne, chez l'homme, une nécrose du foie, une néphrite et la mort. Une dose plus faible produit une irritation et une ulcération de la muqueuse gastro-intestinale et, occasionnellement, une encéphalite ainsi qu'un grossissement du foie (**Dauids et al., 1951**). On n'a recueilli aucune preuve de malformations congénitales (teratogénicité) ou de stérilité causées par l'exposition aux composés du chrome (**O'Heany, 1986**). Les effets cancérogène et mutagène du chrome sont les suivants :

❖ Pouvoir cancérogène

Le chrome hexavalent peut inhiber l'activité enzymatique de la benzopyrène-hydroxylase. On a déjà soutenu que des composés capables d'une telle inhibition ont un pouvoir cancérogène (**Chrétien et al., 1974**).

Chez l'homme, l'exposition à des sels de chrome hexavalent pendant des périodes allant de 2 à 26 ans serait une cause de cancer de l'appareil digestif. Des concentrations élevées de chrome (et de zinc) dans le sol ont été reliées à de fortes incidences régionales de cancer de l'estomac (**Stocks, 1972**). On croit que le chromate de plomb a causé la mort par le cancer de cinq sujets exposés à une intoxication au travail (**Finklea, 1976**). En utilisant des données sur l'exposition au chrome par inhalation, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé "le chrome et certains composés du chrome" dans le Groupe I: preuves suffisantes de leur pouvoir cancérogène chez l'homme et les animaux (**CIRC, 1982**). Cependant, selon un rapport récent de l'U.S. Environmental Protection Agency, il n'existe pas suffisamment de données pour conclure que l'ingestion de chrome a un effet cancérogène (**U.S. EPA, 1985**).

❖ **Pouvoir mutagène**

Le chrome hexavalent traverse facilement la membrane cellulaire, en partie par transport actif; dès qu'il est à l'intérieur de la cellule, il est partiellement réduit à l'état trivalent, qui produit des effets toxiques pour le génome (**Bianchi et al., 1985**). De même peut-il y constituer des complexes étroitement liés à l'ADN, ce qui explique son potentiel mutagène (**U.S. EPA, 1985**). Les composés des chromes trivalent et hexavalent favorisent l'incorporation de nucléotides non complémentaires dans l'ADN, le chrome hexavalent étant actif à des doses plus faibles (**Raffeto et al., 1977 ; Majone et al., 1979**)

Matériels et méthodes

II.1. Présentation de la zone d'étude

II.1. 1. Situation géographique

La vallée de la Soummam se situe à environ 230 km à l'Est d'Alger et appartient administrativement à la wilaya de Bejaia. Troisième fleuve d'Algérie, situé à la charnière de la Basse et de la Haute Kabylie, l'oued Soummam est formé de la confluence de l'oued Sahel qui descend des montagnes de Djurdjura et du plateau de Bouira, et de l'oued Boussellem qui descend du plateau Sétifien. Il se jette dans la mer Méditerranée à Béjaia après un cours de 80 km environ orienté Sud- Ouest – Nord-est. La basse Soummam, c'est-à-dire la partie du bassin comprise entre Sidi Aïch et l'embouchure.

Du fait de l'allongement de la vallée du Sud-Ouest au Nord-est, il devient plus convenable de fournir les coordonnées géographiques des deux extrémités du territoire, notamment l'amont et l'aval de l'oued Soummam, de la confluence de l'oued Boussellem et l'oued Sahel (amont) à l'embouchure (aval) :

- A l'amont (Akbou) : Longitude : 4° 32' 45'' Est ; Latitude : 36° 47' 17'' Nord.
- A l'aval (embouchure) : Longitude : 05° 04' 41'' Est ; Latitude : 36° 43' 36'' Nord.
- Au centre : Longitude : 5° 00' 00'' Est ; Latitude : 36° 42' 16'' (**Moali.a , 2009**).

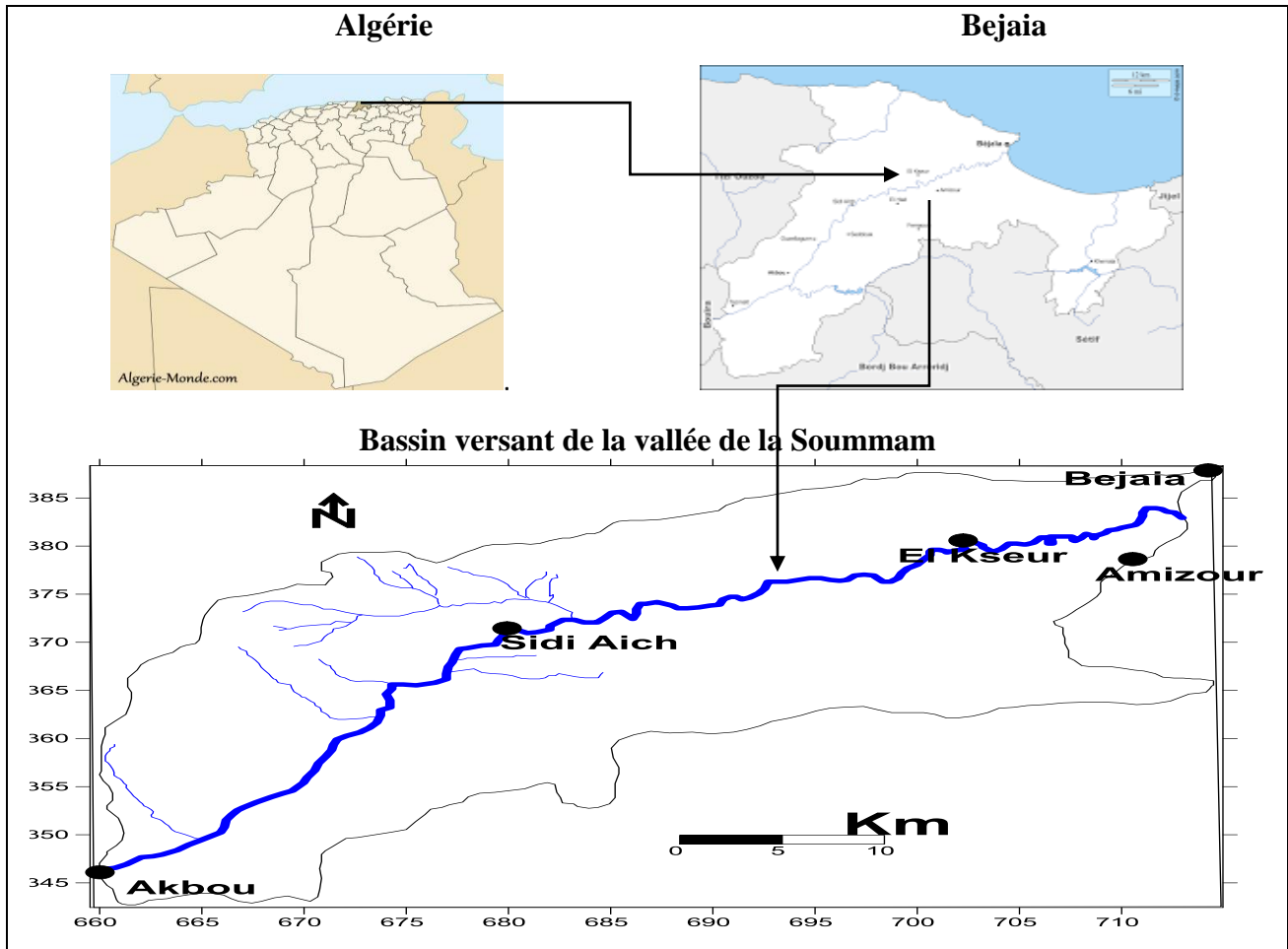


Figure 3: Situation de la vallée Soummam

II.1.2. Les caractéristiques morphométriques du Bassin

II.1.2.1 Caractéristique géométriques :

➤ La superficie et périmètre

Le bassin versant d'Akbou possède une superficie plane de 950Km^2 et un périmètre de 240km.

➤ La forme

L'indice de compacité de Gravelius (**KG**): il renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau qui est déterminé par la formule suivante:

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A: C'est la surface du Bassin en Km²,

P: Son périmètre en km

$$KG = \frac{0,28 \times 240}{\sqrt{950}} = 2,18$$

$$KG = 2,18$$

Sachant que :

$0 < \mathbf{KG} < 1$ Bassin parfaitement circulaire.

$0 < \mathbf{KG} < 1,128$ Bassin carré.

$1,128 < \mathbf{KG} < 3$ Bassin allongé.

Nous pouvons donc conclure que le bassin versant d'Akbou présente une forme allongée.

➤ Le rectangle équivalent

La notion rectangle équivalente ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer les bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Le rectangle équivalent se définit comme le rectangle qui a la même surface et même périmètre que le bassin versant dont les paramètres sont :

Longueur (L) :

$$L = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG}\right)^2} \right]$$

$$L = 103,78 \text{ Km}$$

La largeur (l):

$$l = \frac{KG\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG}\right)^2} \right]$$

$$l = 16,19\text{Km}$$

A: C'est la surface du Bassin en Km²

KG: L'indice de Gravelius.

II.1.3.les caractéristiques physiques

II.1.3.1. Population

La population de la vallée de la Soummam est dense (150 à 300 habitants au km²) et la majorité est regroupée dans les villages de la montagne. Le nombre des habitants des communes qui sont en relation avec l'oued Soummam est de 490423 habitants.

II.1.3.2. Réseau hydrographique

La vallée de l'oued Soummam est drainée par un réseau hydrographique dense, composé de nombreux cours d'eau permanents et intermittents dont l'oued Soummam représente le collecteur principal. Les principaux affluents de l'oued Soummam comme ceci :

En rive gauche on a : Oued Imoula, Oued Ighzer Amokrane, Oued Remila, Oued El Kseur, Oued Ghir (**HAMENNI .N , 2011**).

En rive droite on a : Oued Seddouk , Oued Amassine

II.1.3.3 Le couvert végétal

Le couvert végétal est un paramètre physique qui influe sur le cycle d'eau au niveau du bassin versant (**M.IchalalaneMd.Amokrane et M.Lacene Hakim, 2005**).

- ❖ Il est très dense et varié sur les hauts reliefs, représenté par les vastes forêts de chênes lièges et de pins d'Alep.
- ❖ Il est moins dense sur l'étage intermédiaire représenté essentiellement par les vastes maquis d'olivier lentisque.
- ❖ Il est très dense sur l'étage inférieur représenté par les champs de cultures composés : d'oliveraies, maraichères diverses, qui sont largement développés dans la plaine.

II.1.3.4. Géologie

La série stratigraphique de ces formations, en partant de la plus ancienne à la plus récente est la suivante :

➤ Le Trias :

Il se manifeste sous forme de masses plus ou moins étendues remplissant de grandes cassures (Djebel Gueldamane), on le rencontre également le long des contacts de nappes (Région Nord d'Akbou), mais aussi sous forme d'épointements locaux (Sidi Aïch).

➤ Le Jurassique :

Il s'agit des écaillés chevauchant au Sud (le chaînon d'Ighil Ali) au Sud-Est (l'écaillé de Sidi Yahia et l'anticlinal faillé de Djebel Guemldamane) et à l'Est (les crêtes de l'Azrou Chtoug qui appartiennent au massif du Djebel Trouna et le croissant de Timezrit). Il affleure également à la limite Nord du bassin, dans les massifs de l'Arbalou, de Toudja et du Gouraya.

L'anticlinal Jurassique de Djebel Arbalou et le synclinal tectonique du Gouraya, dont la lithologie est marquée par la présence de masses calcaires et dolomitiques, sont susceptibles de constituer d'immenses réservoirs aquifères.

A cet égard, la circulation des eaux souterraines est d'une part à porosité de fracture due aux jeux de la grande faille bordière, et d'autre part, fissura le résultant des phénomènes karstiques particulièrement développés, qui sont à l'origine des grandes fissures ouvertes et des centaines de cavités. L'élargissement des joints de calcaires est accéléré par la corrosion.

De ce fait, de nombreuses résurgences apparaissent à la faveur de ces failles. L'apparition des eaux de source dans le bassin n'est pas régulière et dépend de l'intensité des précipitations, elles sont soumises à de fortes fluctuations au cours de l'année et la plupart tarissent en été. Les calcaires liasiques fissurés du flanc Sud-Est de la chaîne du Djurdjura.

Le massif de Chellata, massif de l'Akfadou, le pic de L'alla Khadîdja dont la perméabilité est assurée par les nombreuses et larges fissures alimentant plusieurs sources : Tala T'raline, Tala Tiffit, Timiliouine, AnsoLanak...etc., plus en aval le débit des sources décroît.

➤ **Le Crétacé :**

Le Crétacé parautochtone qui affleure en rive droite depuis l’Oued d’EI Mehrir jusqu’au Djebel Gueldamane, également entre l’Oued de Seddouk et Sidi Aïch et en rive gauche à l’Ouest du village d’Ighram.

➤ **Le quaternaire :**

Il tapisse le fond de la vallée creusée par l’Oued de la Soummam et ses affluents. Il comprend les importants cônes de déjections des affluents de rive gauche : Oued Béni Mellikeuch, Ighzer Illoula, et ceux de la rive droite : Oued Seddouk et Ighzer Oukri. La couverture alluviale de la vallée de la Soummam paraît largement épaisse. Déposée sous forme de terrasses Mio-plio-quaternaires superposées l’une sur l’autre, elle constitue, de par sa lithologie formée essentiellement d’alluvions grossières : sables, galets, graviers du Miocène, Sus-jacentes à un substratum marneux miocène, argileux oligocène et même parfois crétacé plus ou moins profond, et de par sa porosité d’interstice un réservoir considérable.

D’ailleurs, l’approvisionnement en eau potable, industrielle et d’irrigation est en partie basée sur l’exploitation de cet aquifère à travers les nombreux ouvrages hydrauliques qui y ont été implantés forages d’exploitation, puits, sondages de reconnaissance (Fig 4).

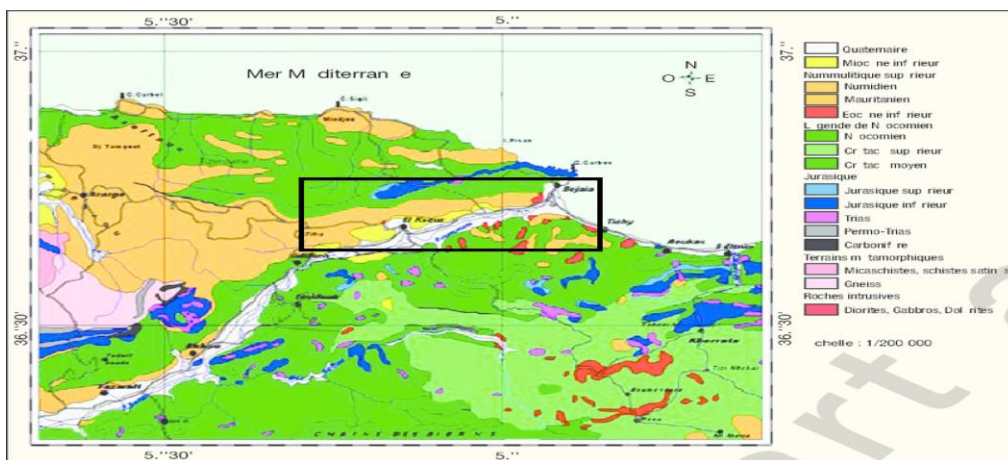


Figure 4: carte géologique de la région d’étude (extrait de la carte géologique nord Constantine de (1/500 000))

II.1.3.5. La pédologie

Les données pédologiques disponibles concernent uniquement la vallée de la Soummam. A ce niveau, Huit (8) classes de sol ont été décrits par Energoproject (1963) ; sont :

Sols minéraux bruts, sols peu évolués, Vertisols, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, sols à sesquioxydes de fer, sols fersialitiques (Moali.a , 2009).

II.2. Climatologie de la zone

II.2.1. Climatologie de la station de Bejaia

Pour avoir une idée sommaire sur le climat a basse vallée Soummam on a eu recours à exploiter les données de station climatique de Béjaia .

A / Précipitation :

D’après la carte pluviométrique d’Algérie établie par l’A.N.R.H en 1993 (Fig 5), la lame d’eau a la région de Bejaia atteinde de 600 mm jusqu’à ‘a 900 mm

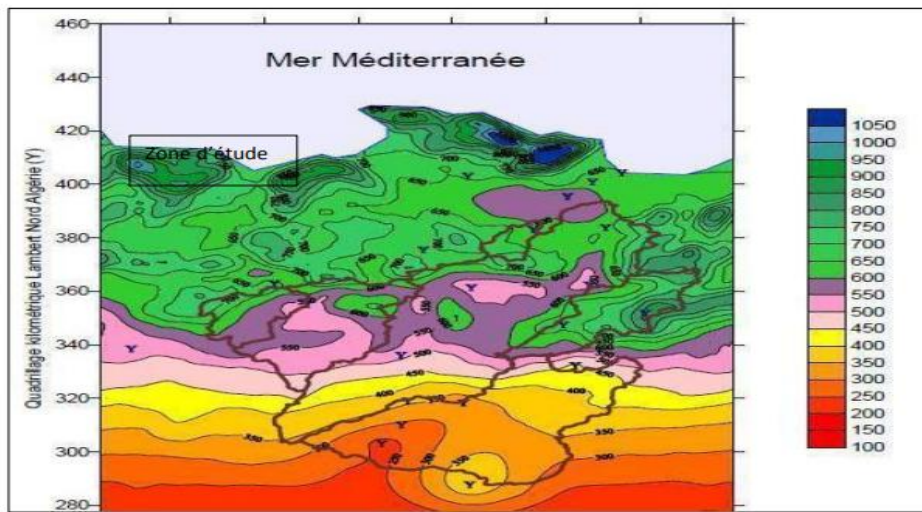


Figure 5: Carte des précipitations annuelles moyennes de l’Est algérien A.N.R.H, 1993.

➤ **Pluviométrie moyenne interannuelle :**

La station de Béjaia reçoit en moyenne 738 mm/an ainsi Le mois de décembre est le plus pluvieux et le mois d’avril le plus arrosé, Le mois celui est plus sec est le mois de d’Aout.

Tableau 1: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm en (2008-2018).

mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mas	avr	mei	jui	juill	aout
P(mm)	52	64	82	143	121	72	56	78	42	12	9	8

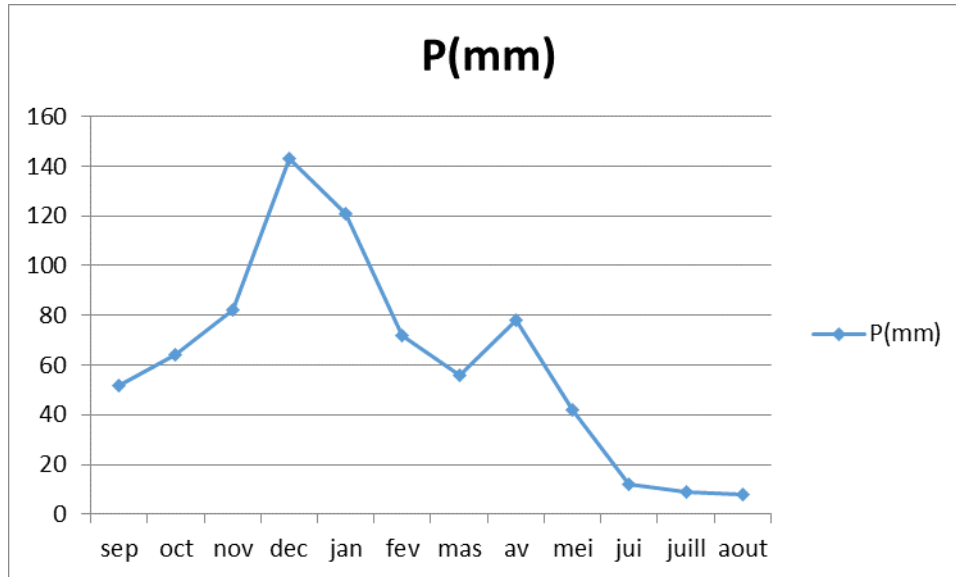


Figure 6: Variation mensuelle des précipitations en (2008-2018).

B / Température de l’air :

L’étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est déterminante pour évaluer le bilan hydrologique à l’échelle d’un bassin versant.

Les valeurs moyennes de la température mensuelles de l’air, de la région Bejaia de l’année (2008/2018), sont représentées dans le tableau suivant : (tableau II)

Sur la station de Bejaia Nous constate que le mois janvier est plus froid et le mois d’août est plus chaud

Tableau 2: Moyennes mensuelles et interannuelles température en 2008-2018.

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mas	Avr	mei	jui	juill	aout
T°C	23.4	19.9	15.3	12.4	11.6	12.0	13.6	14.9	18.3	22.2	25.0	26.3

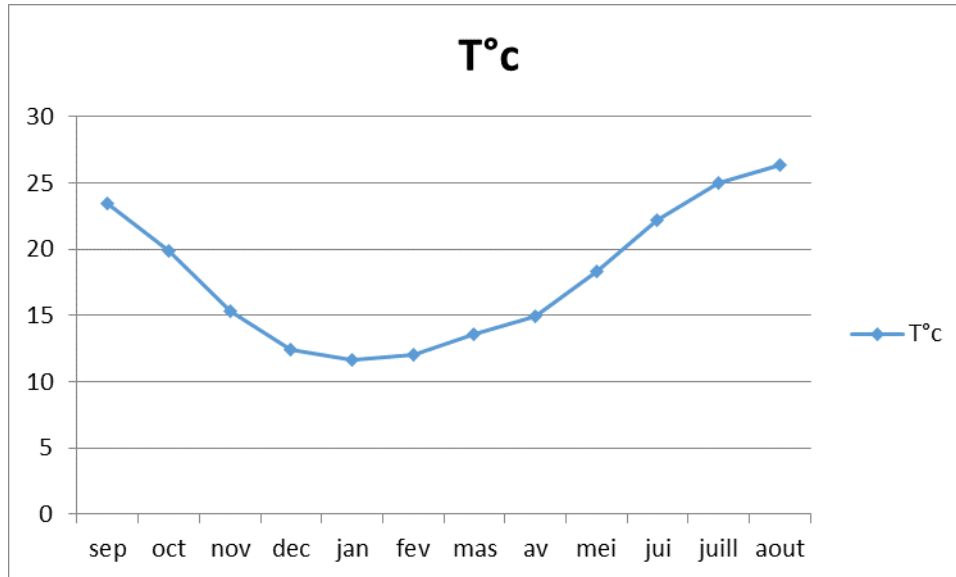


Figure 7: Variation mensuelle des températures en 2008-2018.

C /Le vent :

Les vents sont caractérisés par leurs directions, leurs vitesses et leurs intensités :

- ❖ Les vents de direction ouest/nord-ouest sont responsables de la pluviométrie ;
- ❖ Les vents de directions Sud-Nord engendrent une forte évapotranspiration et une sécheresse abaissant l'humidité

II.2.2 Climatologie de la station de AKBOU

Les conditions climatiques dans le bassin versant de la Soummam ne sont pas uniformes, à Bejaia et dans la basse vallée de la Soummam, le climat est essentiellement méditerranéen généralement humide avec de légers changements de température.

A /Les précipitations

Les précipitations constituent la principale entrée des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants : Ce sont des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) ou bien solide (neige, grésil, grêle). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

La pluviosité de la région d'Akbou relativement faible allant de 400 à 600 mm : Les étés sont secs, avec seulement 30% des précipitations annuelles pendant la période allant d'Avril à Septembre.

Le tableau nous donne la répartition moyenne annuelle de la pluviométrie effectuée au niveau de la station d'AKBOU

Tableau 3: Répartition de la pluviométrie dans la station (2008- 2018) (ONM)

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mas	Av	Mei	Jui	Juill	Août
P(mm)	27.9	38.7	54.6	77.6	76.6	59.6	50.3	39.8	38.1	13.6	4	7.2

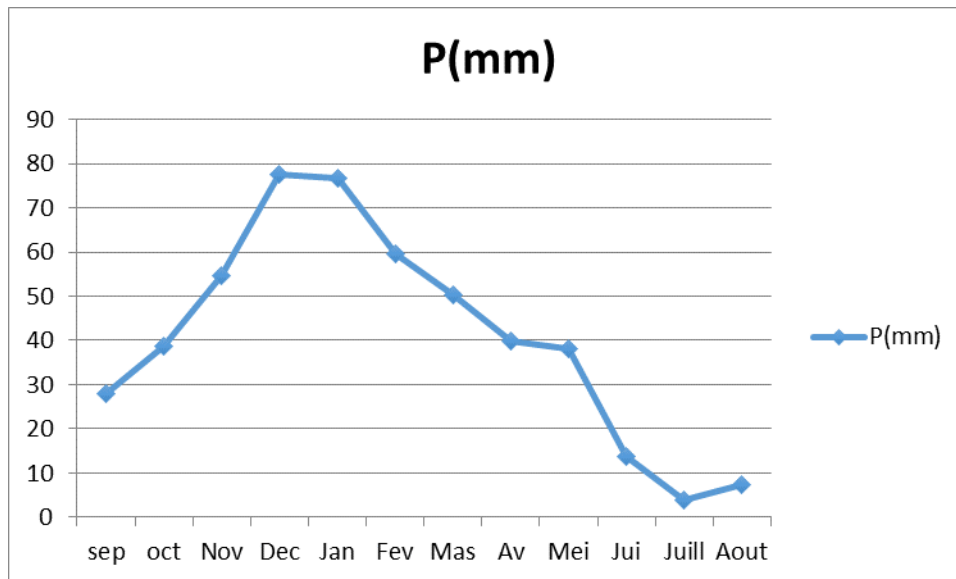


Figure 8: Variation mensuelle des précipitations en (2008-2018).

B /La température

La température est un facteur clé qui a une influence sur la croissance et la survie des végétaux ainsi le fonctionnement du système racinaire. Elle contrôle les phénomènes métaboliques et conditionne la répartition des espèces et des communautés dans la biosphère.

Les valeurs moyennes de la température mensuelles de l'air, de la région Akbou de l'année (2008/2018), sont représentées dans le tableau suivant : (Tab IV)

Tableau 4: les température moyennes à travers la station d'Akbou (2008 – 2018) (ONM)

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mas	Av	Mei	Jui	Juill	Août
T°moyen	25.9	20.6	15.5	11.2	11	12	14.5	17.2	19.9	24.1	27.7	28.2

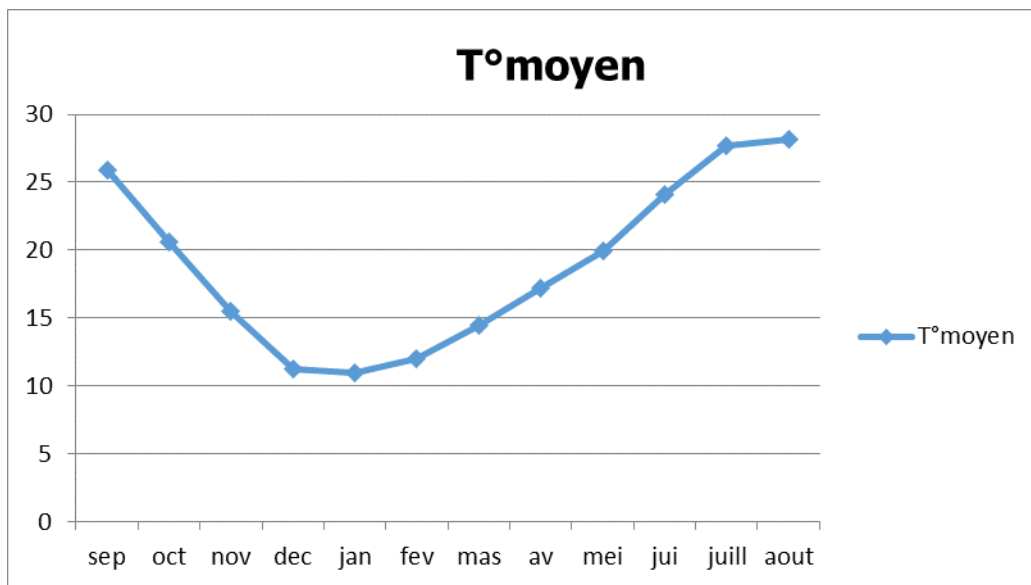


Figure 9: Variation mensuelle des températures en 2008-2018.

C / vent

Les vents dominants sont ceux qui pénètrent le long de la vallée à partir du littoral, ils sont humides et frais en hiver ; du Sud souffle le siroco (surtout en été) avec une vitesse comprise entre 05 et 10 m/s. Ils sont importants en hiver avec une vitesse supérieure à 16 m/s. Tous les vents dominants en hivers proviennent du côté Est Nord-Est, à la limite de la commune d'Ouzellaguen et celle de Chellata.

- **La gelée** : La gelée fait son apparition, généralement du mois de Décembre au mois de Mars, la moyenne annuelle de journées de gelée est de 25 jours.
- **Le sirocco** : Pendant la période d'été, tous les vents dominants chauds proviennent du côté Ouest et Sud-Ouest. Le sirocco survient parfois entre la mi-Juillet et Aout. La moyenne annuelle de journée de sirocco (période 1990/2000) est de 4 jours.

II.3. Le bassin versant

II.3.1. Définitions du bassin versant

Le bassin versant est l'ensemble des territoires superficiels et souterrains qui se drainent vers le même exutoire (Fig 10).

On distingue habituellement :

- Le bassin fonctionnel : portion de l'espace géographique dont les eaux se drainent vers un même cours d'eau.
- Le bassin topographique : portion de l'espace géographique dont les pentes convergent vers un même cours d'eau. Il peut être identique au bassin fonctionnel ou différent selon la géologie ou la perméabilité du terrain.

Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable, la division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage effective des eaux souterraines. Le bassin versant est alors différent du bassin versant délimité strictement par la topographie. Il est appelé dans ce cas bassin versant réel

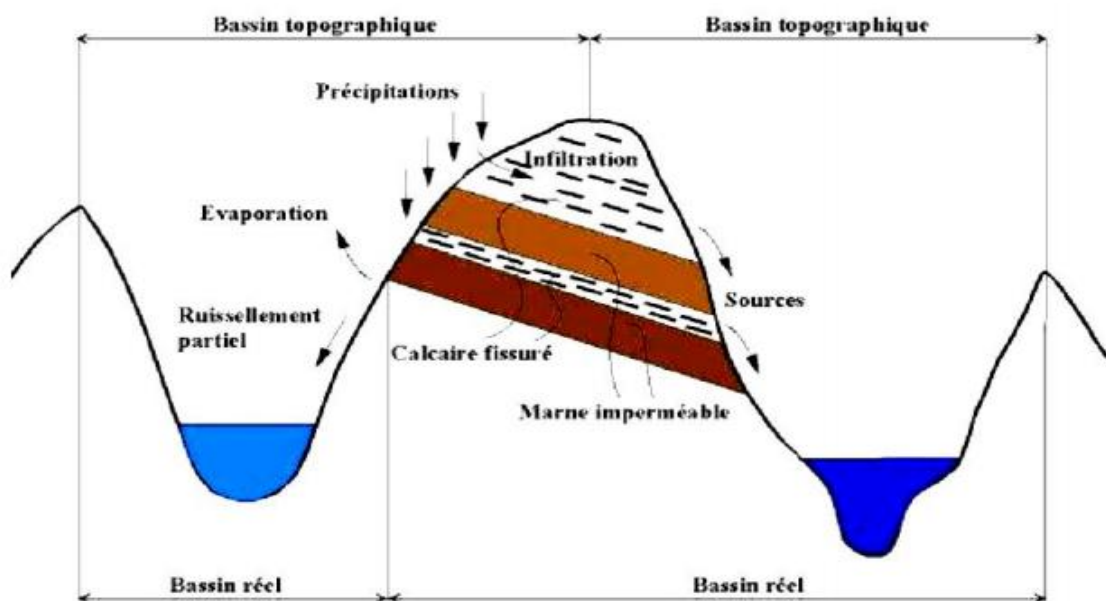


Figure 10: Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique.

II.3.2. Description du bassin versant de la vallée de la Soummam

La basse vallée de oued Soummam se situe à la partie aval de oued Soummam Bejaia – Sidi Aiche (Fig 11) , il est situé dans la partie Nord- East de l'Algérie sa position exacte est définie par l'espace se trouvant entre les méridiens 5.09° East et 4.57° ouest et les parallèles 36.76° nord et 36.48° Sud, il est limité par les chaînes montagneuses du Djurdjura et ses contreforts qui s'étendent jusqu' à la mer au Nord, que s'arrêtent a quelque kilomètre de la mer la basse vallée le plus abrupt, est souvent border de terrasse alluviales fertiles (Mouni. L , 2009).

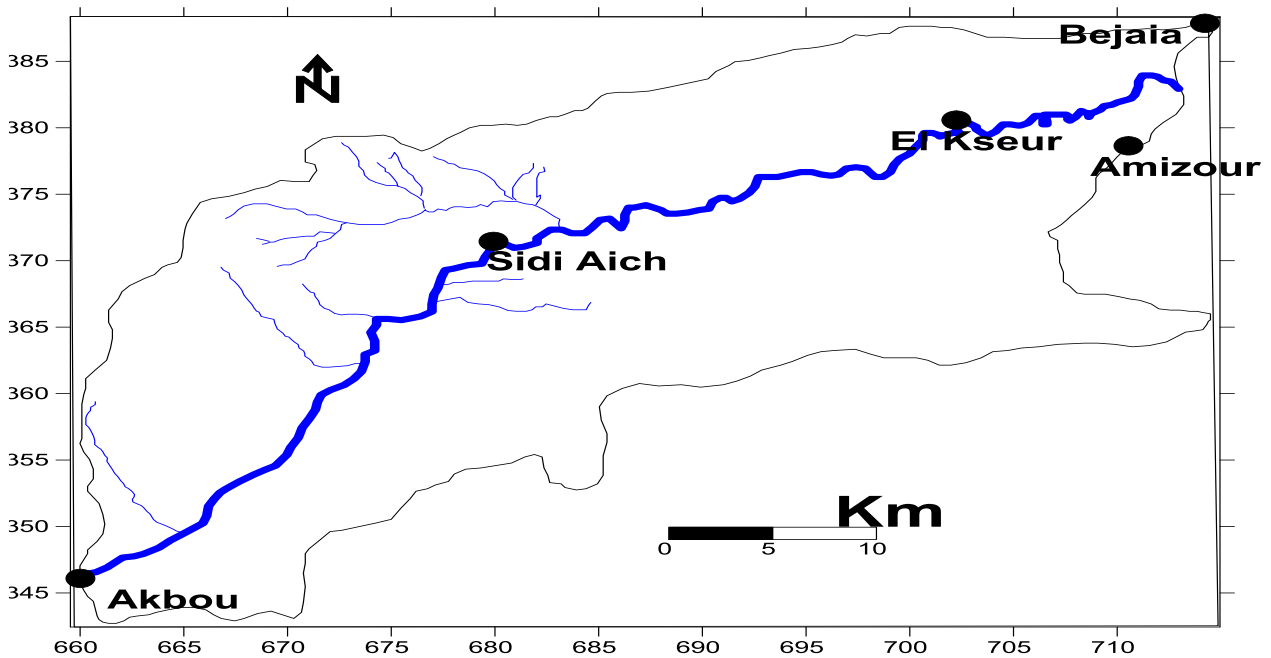


Figure 11: la carte du bassin versant de la région d'étude

II.4. Echantillonnage

Pour évaluer les risques des métaux lourds (Pb, Cr, Cd) sur la santé humaine dans le bassin versant de la basse Soummam, plusieurs prélèvements ont été réalisés dans différentes zones. A l'arrivée aux sites les paramètres physicochimiques (Température, pH, TDS, conductivité,) sont enregistrés à l'aide d'un instrument de mesure multi paramètre de terrain (modèle HANNA 9828). L'utilisation de cet appareil consiste à faire prolonger la sonde appropriée dans l'eau, après calibrage puis attendre quelques secondes jusqu'à la stabilisation de l'affichage sur l'écran avant de relever le résultat de la mesure.

Les échantillons de l'eau sont obtenus au niveau des puits (les eaux souterraines), à travers de 20 sites ciblés, et au niveau des oueds (les eaux de surface) 10 sites ciblés. Puis ils sont transportés au laboratoire des analyses de spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

II.5. Présentation de logiciel utilisée (logiciel Surfer)

Le logiciel Surfer, conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données que nous aurons récoltées sur le terrain via GPS.

Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel nous permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x , y , z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vecto et bien d'autres... Les possibilités d'utilisation sont nombreuses (**Alami, 2011**).

Les opérations prises en considération sont les suivantes :

1. Mettre en forme notre fichier Excel,
2. Afficher nos données sous Surfer et connaître les outils à disposition ;
3. Créer une grille x , y , z
4. Créer différents types de cartes et les superposer
5. Mettre en forme nos cartes
6. Réaliser des profils de plage
7. Réaliser des calculs de volume
8. Calculer des longueurs et des surfaces
9. Créer des zones de blank
10. Calculer des volumes par rapport à une zone choisie de la plage.

II.6. Analyse des éléments métalliques par la spectrophotométrie

Les éléments traces métalliques ont été analysés au spectromètre d'absorption atomique en mode four (SAA) (Fig 12), Les éléments analysés sont le Plomb (Pb), le Chrome (Cr) et le Cadmium (Cd).

La spectrométrie d'absorption atomique est une technique qui s'est largement développée ces dernières années mais dont le phénomène de base était connu depuis très longtemps. Les séduisantes possibilités de la méthode et en particulier sa rapidité, l'ont fait adapter au dosage d'un certain nombre d'éléments rencontrés dans les eaux.

Pour un atome à l'état libre, le passage de l'état fondamental à l'état excité est conditionné à la fourniture d'un quantum d'énergie correspondant la différence d'énergie entre le niveau excité E_n et le niveau fondamental E_0 .



Figure 12: spectromètre d'absorption atomique (SAA)

II.7. Matériels utilisés

Le matériel suivant a été nécessaire pour la réalisation de ce travail :

- Un GPS.
- Un multi-paramètre.
- Flacon.

- Glacière.
- Tube à essai.
- Un entonnoir.
- Papier filtre.
- Filtre seringue.



GPS



Flacon



Multi paramètre



Glacière



Tube a essaie



Entonnoir



Filtre seringue

II.8. Evaluation de risque pour la santé humaine

Pour l'estimation des risques potentiels pour la santé humaine des polluants ont principalement été séparées en substances cancérigènes et non cancérigènes (USEPA, 2016). Pour les contaminants cancérigènes, les concentrations d'exposition observées ont été comparées aux seuils pour cancérigène n'a été appliquée que pour quantifier l'ampleur des risques pour la sante des polluants cancérigènes, mais ne quantifie pas l'ampleur du risque pour la santé des polluants non cancérigènes (USEPA 2016). Les effets des risques non cancérigènes sont généralement

fondés sur le quotient de danger cible, un paramètre utilisé pour déterminer la dose d'exposition au polluant appelée dose de référence. Si le quotient est inférieur à 1, il ne sera pas évident.

L'évaluation des risques pour la santé humaine a été définie comme le processus d'estimations de la probabilité de l'occurrence d'un événement et l'ampleur probable des effets sur la santé. L'exposition humaine aux métaux pourrait se produire par trois voies principales, soit l'ingestion directe, l'inhalation et l'absorption cutanée par la peau. L'ingestion, l'inhalation et l'absorption cutanée sont des voies d'exposition courantes dans l'eau. Les expressions numériques pour l'évaluation des risques sont données par l'équation 1, 2 et 3 (USEPA, 2016).

Dose d'exposition par ingestion d'eau

Equation 1
$$Expo_{ingestion} = \frac{C_{Eau} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Equation 2
$$Expo_{dermique} = \frac{C_{Eau} \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

Equation 3
$$Expo_{inhalation} = \frac{C_{Eau} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$$

Remarque : Les débits de dose absorbés par voie cutanée peuvent être calculés par le coefficient de perméabilité K_p , propre à la substance chimique donnée.

$\log K_p = 0.71 * \log K_{ow} - 0.0061 * MW - 2.72$
--

Paramètre des équations	
I	Dose d'exposition mg/Kg (poids du corps humain)
C _{eau}	Concentration d'élément chimique dans l'eau
Exposition ingestion/dermique/inhalation	Kg/j
EF	Fréquence d'exposition (365 jours/an)
ED	Durée d'exposition — 30 jours
IR	Taux d'ingestions = 2.2 l/jour
BW	Poids moyen du Corps Humain (Kg)
AT	Temps moyen d'exposition (jours)- 25550 jours
CF	Facteur de conversion unitaire ~ 0.00011/cm ³
ET	Temps d'expositions = 0.58 heures/jour
InhR	taux d'inhalation
PEF	Facteur d'émission de particules
K _p = 0.35	$\log K_p = 0.71 * \log K_{ow} - 0.0061 * MW - 2.72$ K _{ow} - Octanol/ eau Coefficient de partition MW" Poids moléculaire $K_{ow} = C_{op} \times C_w$ K _p = cm /h
SA	Zone de peau exposée = 18 cm ²

Tableau 5: valeurs limites cas des eaux souterraines (USEPA, 2016)

Paramètres	Valeurs limites eau de souterraines	
Expo	Dose d'exposition à calculer	
C _{eau}	Concentration en éléments chimiques dans la solution	
CR	2 l/jour	
EF	365 jours/An	
ED	70 Ans pour un Adulte	6 Ans pour un enfant
BW	70 Kg poids moyens pour adulte	30 Kg pour un enfant

InhR	1.56 m ³ h ⁻¹ pour un adulte	1.2 m ³ h ⁻¹ pour un enfant
PEF	1.36×10 ⁹ m ³ kg ⁻¹	
AT	ED x 365/an	

Tableau 6: Valeurs limites des eaux de surface (USEPA, 2016)

Paramètres	Valeurs limites eau de surface	
Expo	Dose d'exposition à calculer	
C _{eau}	Concentration en éléments chimique dans l'eau	
CR	1.2 l/jour	
EF	365 jours/An	
ED	70 Ans pour un Adulte	6 Ans pour un enfant
BW	70 Kg poids moyens pour adulte	30 Kg pour un enfant
InhR	1.56 m ³ h ⁻¹ pour un adulte	1.2 m ³ h ⁻¹ pour un enfant
PEF	1.36×10 ⁹ m ³ kg ⁻¹	
AT	ED x 365/an	

Risque non cancérigène

$$HQ = \frac{exp}{Rfd}$$

$$HI = \sum H Q$$

Tableau 7: référence facteur de dose (USEPA, 2016)

Eléments chimiques	RfD _{Ingestion}	RfD _{Dermique}	RfD _{Inhalation}
Cd	0.5	0.2	0.5
Cr	0.5	0.3	3
Pb	1.4	0.42	14

Résultats et discussion

Tableau 8: teneurs moyennes en élément chimique et traces métalliques dans les eaux souterraines et les eaux de surfaces

N	X	Y	pH	T°C	Cond μS/ m	TDS mg/l	Pb μg / l	Cd μg / l	Cr μg / l
Eaux souterraines									
P1	662	346.5	7.1	14	667	435	9.56	5.8	7.80
P2	668	351	7.4	13	598	371	8.24	1.23	1.75
P3	663	358	7.3	13.4	535	335	3.46	1.35	1.21
P4	668	361.5	7.6	13.3	578	359	2.50	0.98	1.28
P5	674	360	7.7	13.5	789	490	7.87	4.56	2.13
P6	678.5	365	7.6	14.5	694	433	3.59	0.47	0.78
P7	675	370	7.7	14	703	438	7.38	5.21	3.54
P8	682	367.5	7.3	14.2	736	469	7.29	4.98	3.47
P9	682.5	372.5	7.5	13.8	856	535	8.17	6.61	3.42
P10	685	376.5	7.4	12.6	706	442	4.19	2.69	1.36
P11	688	380	7.7	14.5	812	513	3.38	1.94	0.78
P12	694	372.5	7.6	14.7	634	401	4.58	2.17	0.83
P13	695	375	7.9	13.9	732	460	9.35	4.12	2.49
P14	703	372.5	7.8	15	691	443	10.67	4.26	2.15
P15	702	317.5	7.8	14.7	1024	642	11.62	5.25	2.54
P16	703.5	382.5	7.5	14.8	1135	715	4.47	2.33	0.75
P17	706	378	7.4	13.9	1236	783	12.34	5.71	2.59
P18	711	380	7.4	12.8	1362	854	7.48	4.23	1.41
P19	708.5	383	7.3	13.5	1423	983	11.98	7.32	2.95
P20	713	383	7.1	13.9	1500	958	12.47	6.78	4.23
Eaux de surface									
S1	662.5	347.5	6.5	13.3	1223	775	14.56	6.67	3.70
S2	663.5	352	6.7	13.5	1257	780	12.45	8.59	7.89
S3	671	351	6.9	13.7	1324	822	13.35	6.78	5.67
S4	678	362.5	7.1	14	1389	864	9.54	7.87	6.68
S5	677.5	368	7.1	14.2	1398	870	10.45	6.45	5.46
S6	685.5	372.5	6.9	14.4	1402	874	67.89	7.24	3.78
S7	692	375	6.7	14.2	1467	920	55.35	10.12	6.83
S8	697	377	6.2	14.6	1506	945	103.20	15.67	7.81
S9	702	379.5	6.2	13.5	1738	1085	121.15	46.34	26.78
S10	712	382.5	5.6	13.7	1836	1143	134.57	57.34	28.67

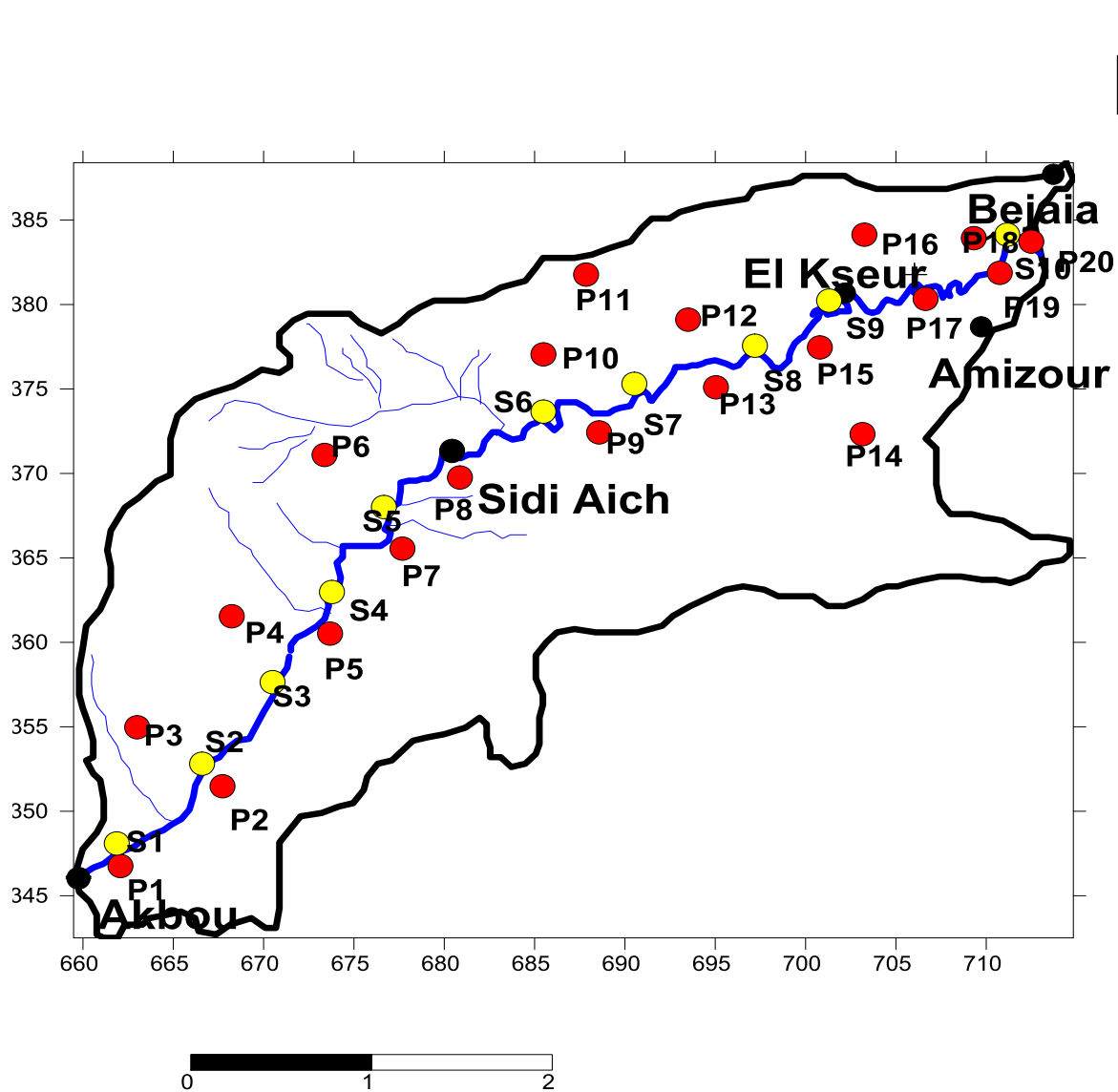


Figure 13: Les points de prélèvements dans les eaux de souterraines (puits) et surfaces (stations).

Les paramètres physico-chimiques mesurés (TDS, conductivité, température, pH) influent sur la concentration des éléments métallique, les valeurs obtenues se défèrent pour chaque station de prélèvement dont :

- **Le PH**

Dans les eaux souterraines La valeur maximale est 7,9 et la valeur minimale est 7,1 et dans les eaux surfaces La valeur maximale est 7,1 et la valeur minimale est 5,6.

- **La température**

Dans les eaux souterraines La valeur maximale est 15 C° et la valeur minimale est 12,6 C° et dans les eaux surfaces La valeur maximale est 14,6 C° et la valeur minimale est 13,3 C°.

- **La conductivité**

Dans les eaux souterraines La valeur maximale est 1500 $\mu\text{S/m}$ et la valeur minimale est 535 $\mu\text{S/m}$ et dans les eaux surfaces La valeur maximale est 1836 $\mu\text{S/m}$ et la valeur minimale est 1223 $\mu\text{S/m}$.

- **Le TDS**

Dans les eaux souterraines La valeur maximale est 983mg/l et la valeur minimale est 335 mg/l et dans les eaux surfaces La valeur maximale est 1143 mg/l et la valeur minimale est 775 mg/l.

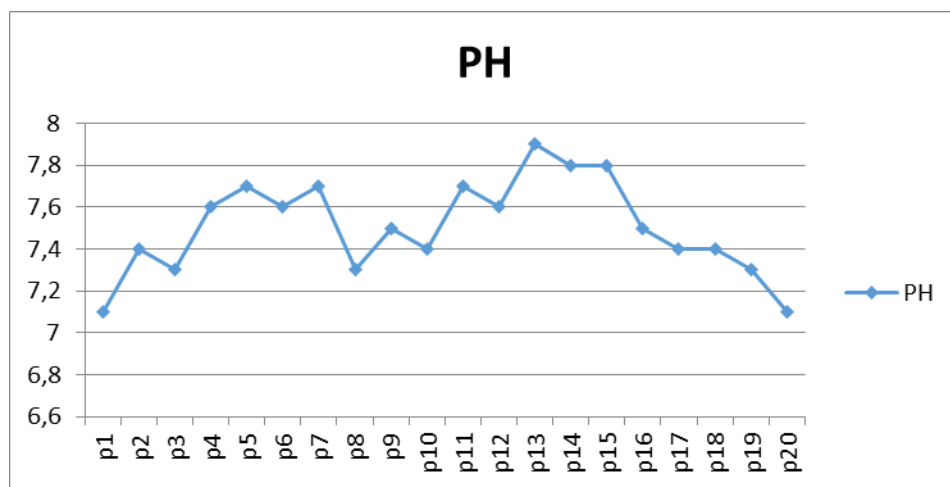


Figure 14: graphe de PH des sites des prélèvements des eaux souterraines.

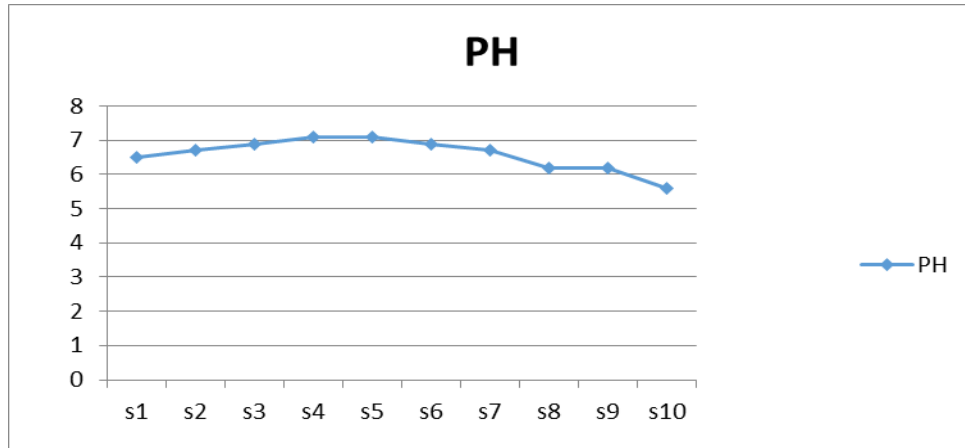


Figure 15: graphe de PH des sites des prélèvements des eaux surfaces.

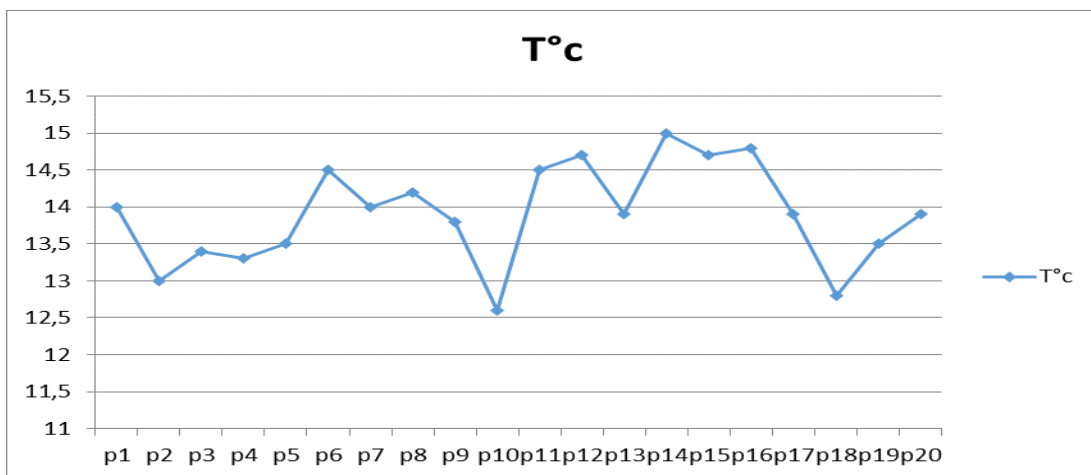


Figure 16: graphe des Températures des sites des prélèvements des eaux souterraines.

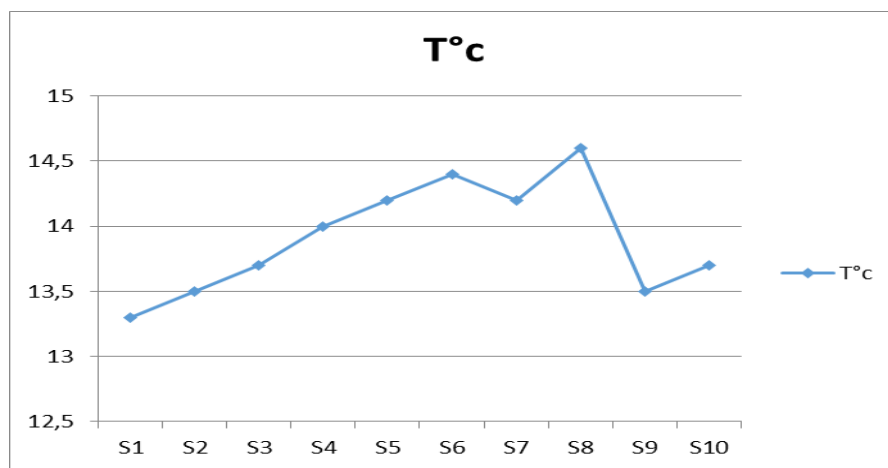


Figure 17: graphe des températures des sites des prélèvements des eaux surfaces.

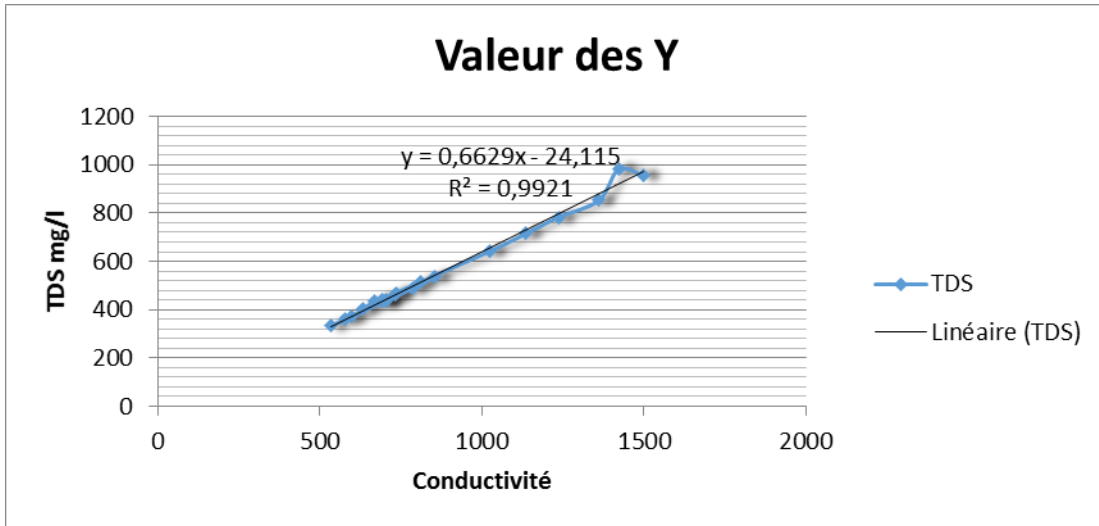


Figure 18: Graphe de relation de conductivité et TDS des eaux souterraines.

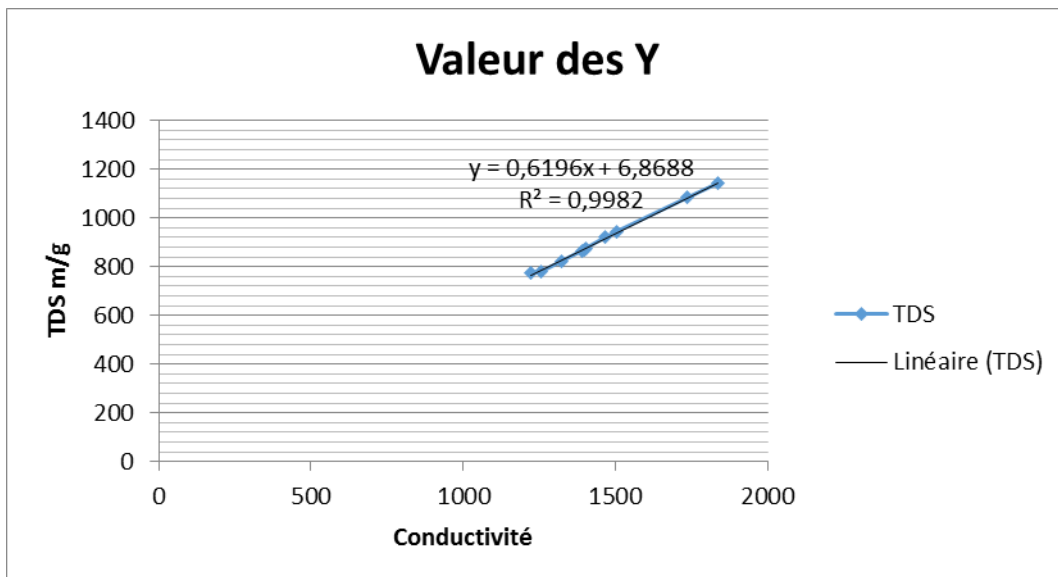


Figure 19: Graphe de relation de conductivité et TDS des eaux surfaces

D'après les 2 graphes (Fig19 et Fig18) on déduit que la relation entre la conductivité et le TDS est proportionnelle dans les eaux souterraines et de surfaces, plus que la concentration de conductivité augmente plus que le totale de TDS augmente.

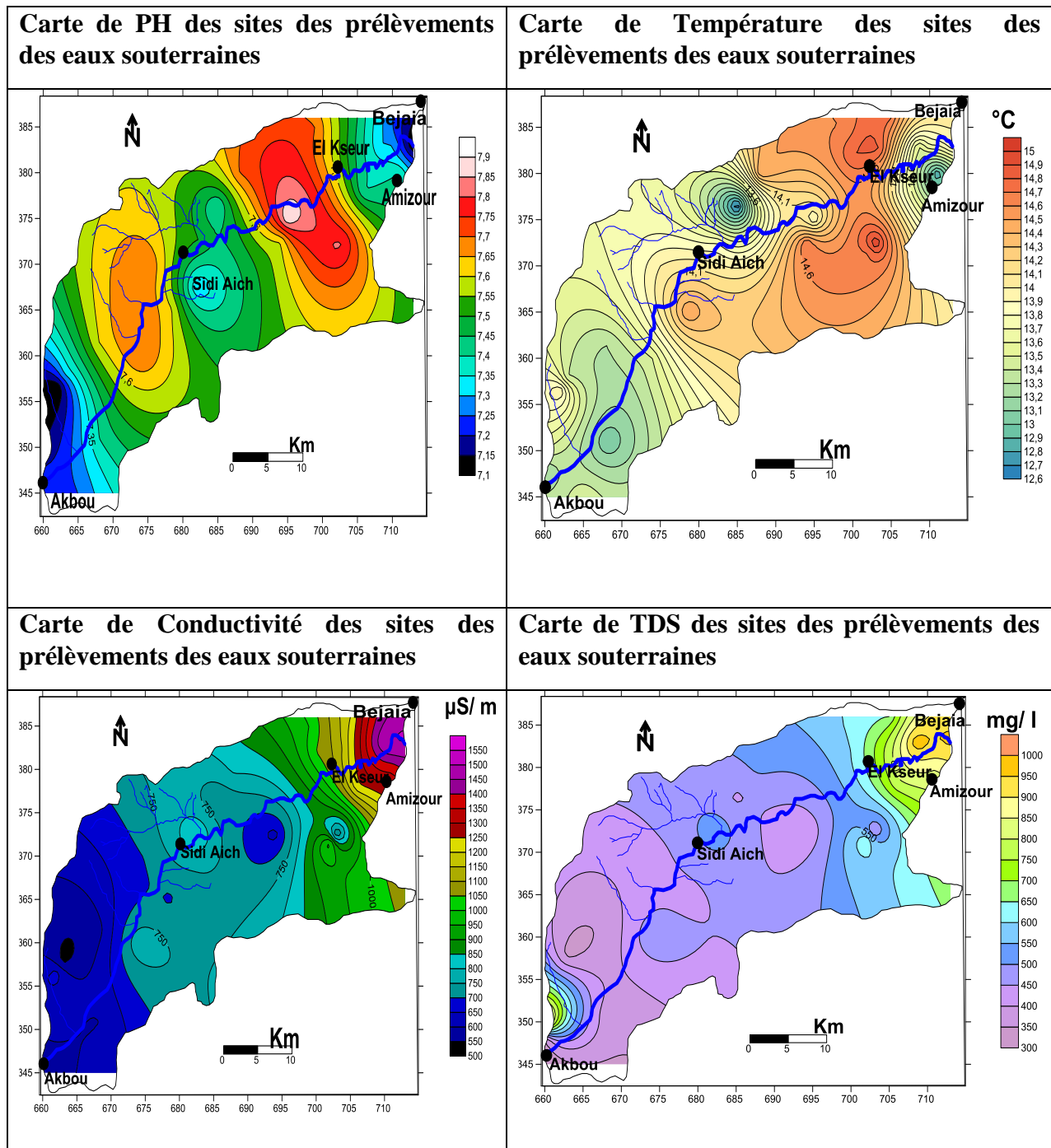


Figure 20: carte des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux souterraines.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de PH est de 7,9 au niveau d'oued Soummam entre la région el Kseur et Sidi Aich et la valeur minimale est de 7,1 au niveau de la région d'Akbou
- La valeur maximale de la Température est de 15 au niveau de la région d'El Kseur la valeur minimale est de 12,6 au niveau de la région d'Akbou, Sidi Aich, Amizour et Bejaia

- La valeur maximale de la conductivité est de 1550 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est de 500 au niveau d'Akbou
- La valeur maximale de TDS est de 1000 au niveau Bejaia et la valeur minimale est de 300 entre Akbou et Sidi Aich

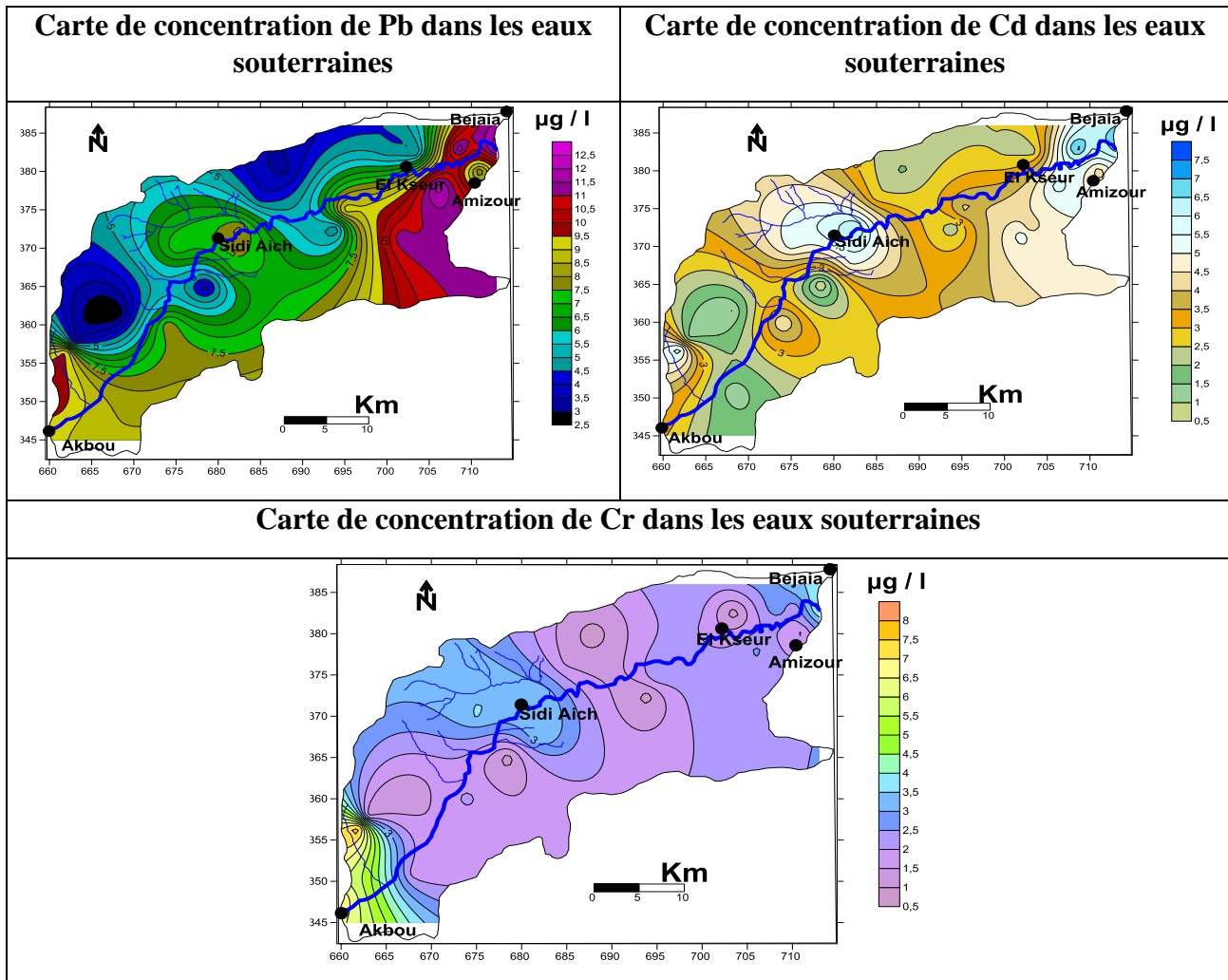


Figure 21: carte des métaux lourds (Pb,Cd,Cr) dans les eaux souterraines.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Plomb est de 12,5 au niveau de la région d'Amizour et Bejaia et la valeur minimale est e 2,5 au niveau de la région d'Akbou,
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium est de 7,5 au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est e 0,5 au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Chrome est de 8 au niveau de la région d'Akbou et la valeur minimale est e 0,5 au niveau de la région de Sidi Aich, El Kseur et Amizour

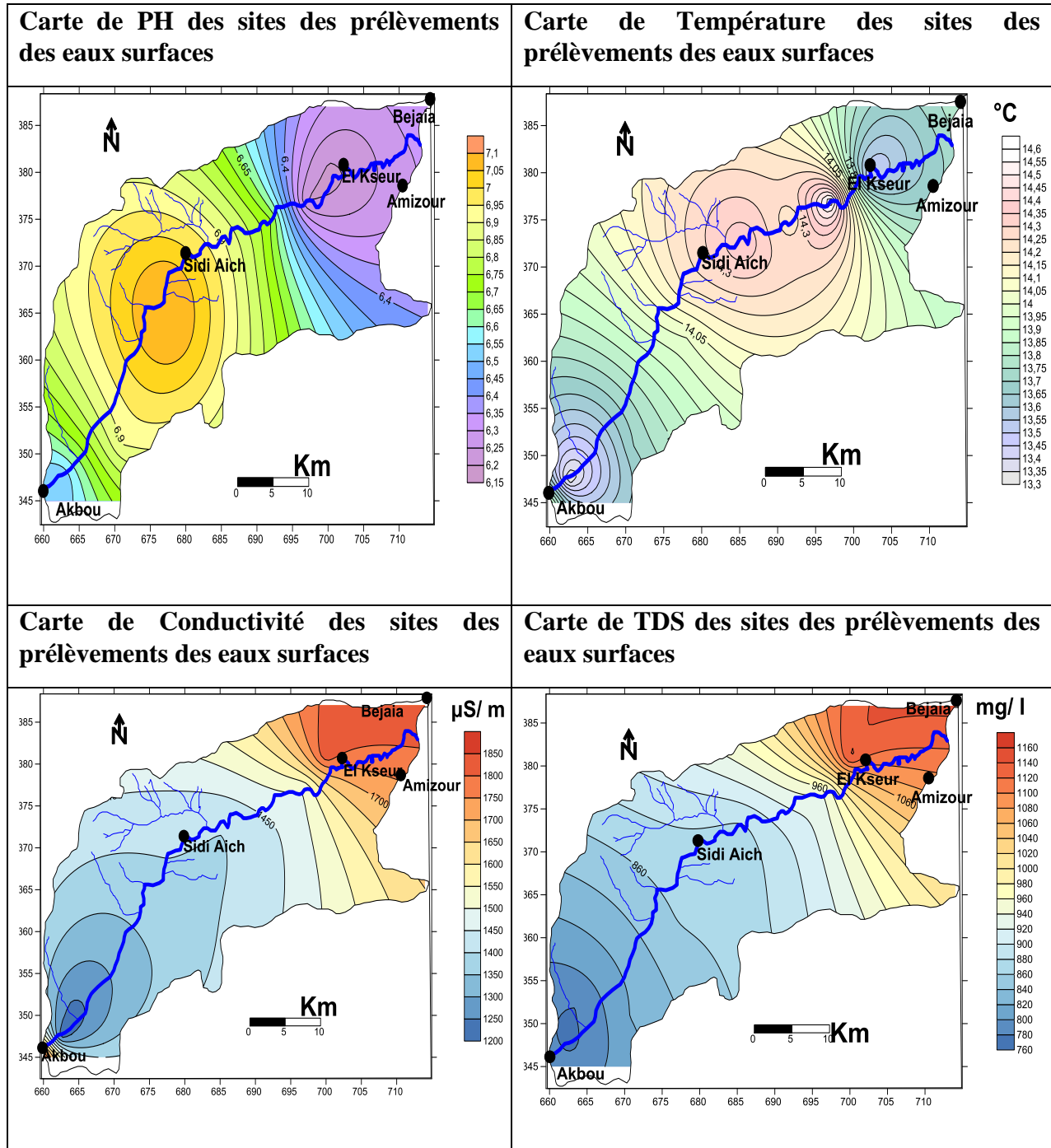


Figure 22: carte des paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux surfaces.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de PH est de 7,1 au niveau d'oued Soummam dans la région de Sidi Aich et la valeur minimale est de 6,15 au niveau de la région d'El Kseur, Amizour et Bejaia
- La valeur maximale de la Température est de 14,6 au niveau de la région d'El Kseur et la valeur minimale est de 13,3 au niveau de la région d'Akbou

- La valeur maximale de la conductivité est de 1850 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est de 1200 au niveau d'Akbou
- La valeur maximale de TDS est de 1160 mg/l au niveau Bejaia, El Kseur et Amizour et la valeur minimale est de 760 au niveau d'Akbou

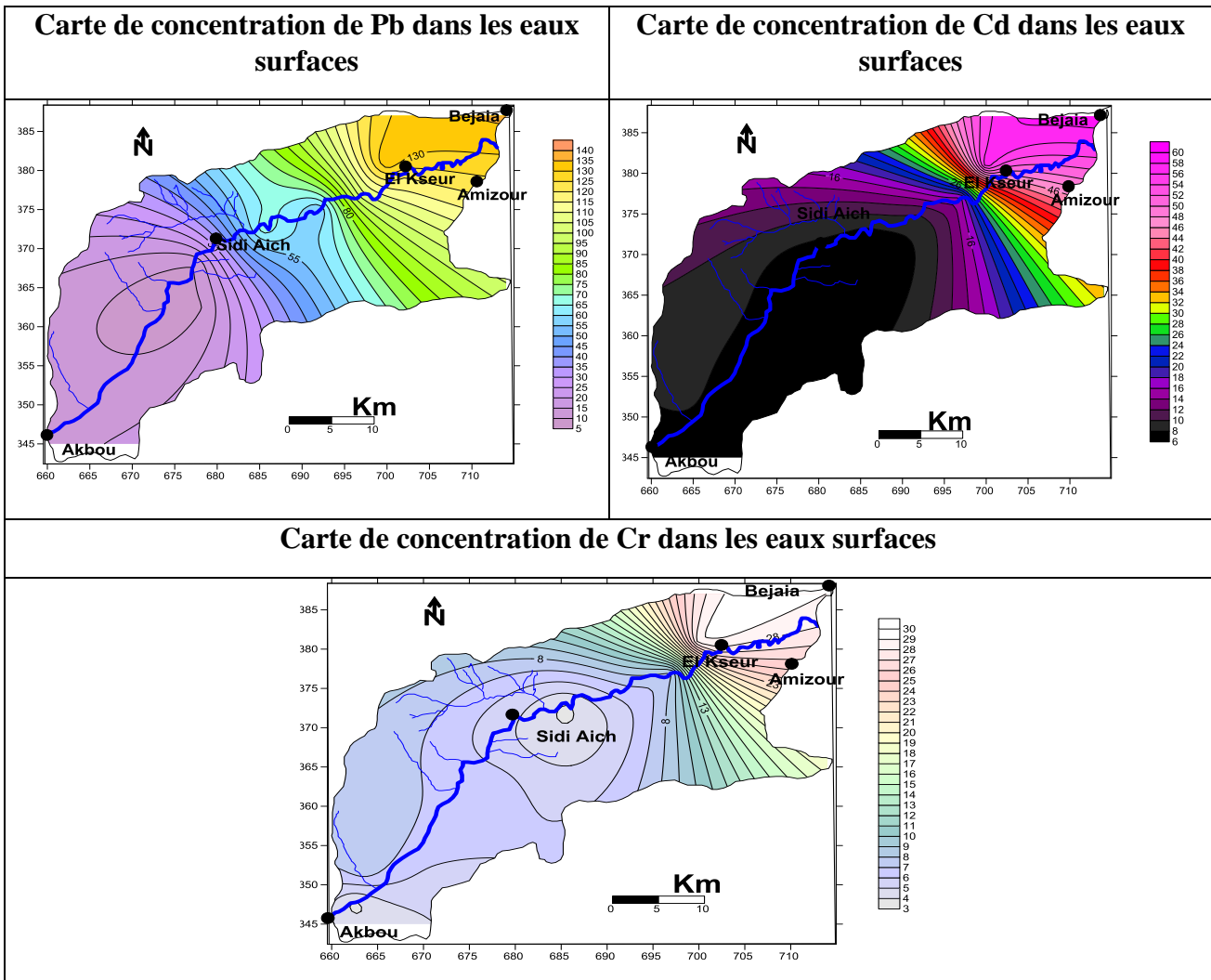


Figure 23: carte des métaux lourds (Pb,Cd,Cr) dans les eaux surfaces.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Plomb est de 140 au niveau de la région d'Amizour, El Kseur et Bejaia et la valeur minimale est 5 au niveau de la région d'Akbou et Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium est de 60 au niveau de la région de Bejaia, El Kseur et Amizour et la valeur minimale est e 6 au niveau de la région d'Akbou et Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Chrome est de 30 au niveau de la région d'Akbou et El Kseur et la valeur minimale est e 3 au niveau de la région de Sidi Aiche et Akbou

III.1. Variations des valeurs d'exposition par voie ingestion, inhalation et dermique dans les populations exposées

Dans le tableau précédent on remarque que y'a des variations des valeurs de l'exposition par voie cutané et par voie d'ingestion soit par l'adulte ou l'enfant

Pour le Cd

➤ Exposition par voie d'ingestion

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,29 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $8,45 \times 10^{-2}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,42 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,90 \times 10^{-2}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,80$ kg/jour et la valeur minimale est de $4,92 \times 10^{-1}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $4,20$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,42 \times 10^{-1}$ kg/jour

➤ Exposition par voie cutané

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,01 \times 10^{-5}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,04 \times 10^{-6}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,19 \times 10^{-5}$ kg/jour et la valeur minimale est de $5,72 \times 10^{-6}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $2,41 \times 10^{-4}$ kg/jour et la valeur minimale est de $8,17 \times 10^{-5}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,04 \times 10^{-4}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,58 \times 10^{-5}$ kg/jour

➤ Exposition par voie d'inhalation

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,16 \times 10^{-11}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,31 \times 10^{-12}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,12 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $8,01 \times 10^{-12}$ kg/jour

- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,48 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,61 \times 10^{-11}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,13 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,78 \times 10^{-10}$ kg/jour

Pour le Pb**➤ Exposition par voie d'ingestion**

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $0,78 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $3,91 \times 10^{-1}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,83 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,14 \times 10^{-1}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $4,22 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $4,57 \times 10^{-1}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $9,86 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,79 \times 10^{-1}$ kg/jour

➤ Exposition par voie cutané

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,30 \times 10^{-5}$ kg/jour et la valeur minimale est de $6,50 \times 10^{-5}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de 1×10^{-4} kg/jour et la valeur minimale est de $9,95 \times 10^{-5}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $2,82 \times 10^{-4}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,60 \times 10^{-5}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,25 \times 10^{-3}$ kg/jour et la valeur minimale est de $8,26 \times 10^{-4}$ kg/jour

➤ Exposition par voie d'inhalation

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,01 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,08 \times 10^{-11}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,25 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,81 \times 10^{-11}$ kg/jour

- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,15 \times 10^{-9}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,93 \times 10^{-11}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,15 \times 10^{-9}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,44 \times 10^{-10}$ kg/jour

Pour le Cr**➤ Exposition par voie d'ingestion**

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,09 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,27 \times 10^{-2}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,03 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,97 \times 10^{-2}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,16 \times 10^{-1}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,01 \times 10^{-1}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $2,10$ kg/jour et la valeur minimale est de $5,78 \times 10^{-1}$ kg/jour

➤ Exposition par voie cutané

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,11 \times 10^{-5}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,13 \times 10^{-6}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,1 \times 10^{-5}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,50 \times 10^{-5}$ kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,39 \times 10^{-4}$ kg/jour et la valeur minimale est de $4,11 \times 10^{-5}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $3,26 \times 10^{-4}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,61 \times 10^{-5}$ kg/jour

➤ Exposition par voie d'inhalation

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,21 \times 10^{-11}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,88 \times 10^{-12}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,33 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,21 \times 10^{-11}$ kg/jour

- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $2,54 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $7,49 \times 10^{-11}$ kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,16 \times 10^{-10}$ kg/jour et la valeur minimale est de $9,31 \times 10^{-11}$ kg/jour

III.2. La variation des valeurs HQ par voie cutané, voie inhalation et voie ingestion soit chez l'adulte ou l'enfant

On a dans le tableau précédent les valeurs des HQ d'un métal varia d'une valeur à l'autres.

Pour le Cd

➤ HQ d'Exposition par voie d'ingestion

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,21 \times 10^{-1}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $8,48 \times 10^{-2}$ µg/kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,43 \times 10^{-1}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $7,2 \times 10^{-2}$ µg/kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $3,60$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $9,84 \times 10^{-1}$ µg/kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $8,40$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $9,94 \times 10^{-1}$ µg/kg/jour

➤ HQ d'Exposition par voie cutané

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,1 \times 10^{-4}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de 7×10^{-5} µg/kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,18 \times 10^{-4}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $8,2 \times 10^{-5}$ µg/kg/jour
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,20 \times 10^{-3}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $4,08 \times 10^{-4}$ µg/kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $2,82 \times 10^{-3}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $9,50 \times 10^{-4}$ µg/kg/jour

➤ HQ d'Exposition par voie d'inhalation

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,08 \times 10^{-10}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $8,92 \times 10^{-12}$ µg/kg/jour et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,45 \times 10^{-10}$ µg/kg/jour et la valeur minimale est de $9,16 \times 10^{-11}$ µg/kg/jour

- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,08 \times 10^{-9} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,8 \times 10^{-10} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,58 \times 10^{-9} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $5,34 \times 10^{-10} \mu\text{g/kg/jour}$

Pour le Cr

➤ HQ d'Exposition par voie d'ingestion

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,1 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,86 \times 10^{-2} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,14 \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $6,2 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,80 \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,78 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $4,20 \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,78 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$

➤ HQ d'Exposition par voie cutané

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,35 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $7,33 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,01 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,7 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/jour}$
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,16 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,50 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,08 \times 10^{-3} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $3,20 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$

➤ HQ d'Exposition par voie d'inhalation

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,08 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,33 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,21 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,93 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,17 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,06 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,52 \times 10^{-10} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $4,46 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$

Pour le Pb

➤ HQ d'Exposition par voie d'ingestion

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $935 \times 10^{-2} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,30 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $6,52 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$

- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de 3,01 $\mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $2,99 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de 7,04 $\mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $7,57 \times 10^{-1} \mu\text{g/kg/jour}$

➤ **HQ d'Exposition par voie cutané**

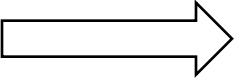
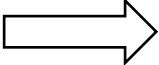
- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,02 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,76 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,78 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/jour}$
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $1,28 \times 10^{-3} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,42 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,60 \times 10^{-3} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $4,21 \times 10^{-4} \mu\text{g/kg/jour}$

➤ **HQ d'Exposition par voie d'inhalation**

- Dans les eaux souterraines la valeur maximale chez l'adulte est de $1,69 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,42 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,92 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$
- Dans les eaux surfaces la valeur maximale chez l'adulte est de $3,75 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $9,85 \times 10^{-12} \mu\text{g/kg/jour}$ et chez l'enfant la valeur maximale est de $1,25 \times 10^{-10} \mu\text{g/kg/jour}$ et la valeur minimale est de $8,21 \times 10^{-11} \mu\text{g/kg/jour}$

III.3. Comparaison entre les valeurs de dose HQ des eaux souterraine et eaux surface de la vallée de la Soummam et les valeurs limites de HQ

On a HQ :

- $HQ \geq 1$  le métal à risque cancérrogène.
- $HQ < (X \times 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} \dots 10^{-n})$  le métal à risque non cancérrogène.

Après avoir comparé les résultats obtenus de calcul de HQ avec les normes aux valeurs cancérrogène et non cancérrogène je trouve que :

- La contamination dans les eaux souterraines : $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Cr}$
- La contamination dans les eaux surfaces : $\text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$

Résultats

- A risque non cancérigène : **RNC**
- A risque cancérigène : **RC**

Tableau 9: Résultats final de calcul des HQ risque non cancérigène et cancérigène par les métaux lourds.

Voie d'exposition	Voie ingestion		Voie cutané		Voie inhalation	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Cr	RC	RC	RNC	RNC	RNC	RNC
Cd	RC	RC	RNC	RNC	RNC	RNC
Pb	RC	RC	RNC	RNC	RNC	RNC

Dans le tableau on remarque que les métaux lourds ont un risque cancérigène que par voie d'ingestion soit pour l'adulte ou pour l'enfant et qu'ils ont un risque non cancérigène par voie cutané et d'inhalation soit pour adulte ou enfant

III.4. Variations des valeurs HI

On remarque que dans :

➤ **Le cas de Cadmium :**

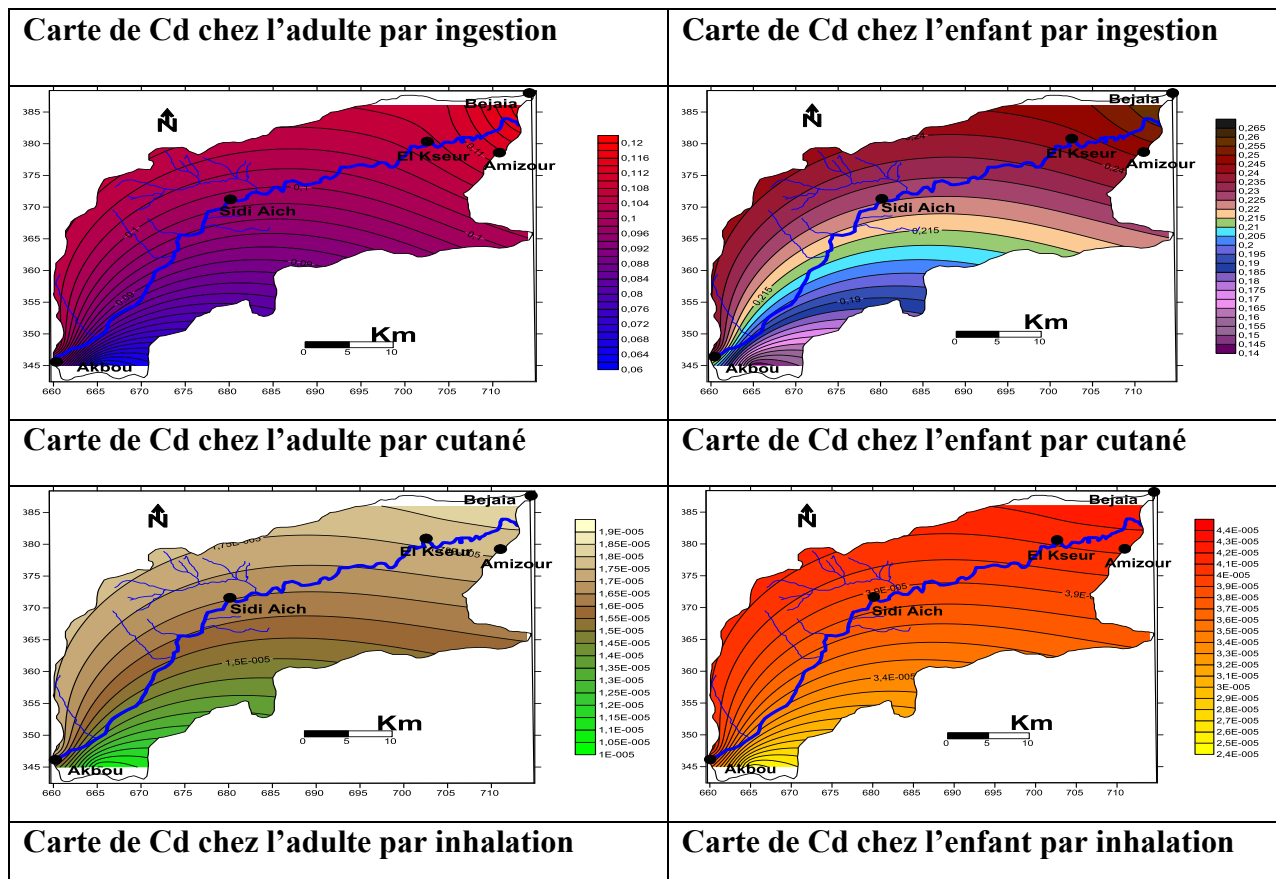
- La valeur de l'indice de référence HI la plus élevée dans les eaux souterraines est celle par voie d'ingestion qui est de 10,4078 µg/kg/jour chez les enfants et 4,885 µg/kg/jour chez les adultes,
- Et dans les eaux surfaces est toujours celle par voie d'ingestion qui est de 25,32 µg/kg/jour chez les enfants et 10,85 µg/kg/jour chez les adultes.

➤ **Le cas de Chrome :**

- La valeur de l'indice de référence HI la plus élevée dans les eaux souterraines est celle par voie d'ingestion qui est de 6,94 µg/kg/jour chez les enfants et 2,98 µg/kg/jour chez les adultes,

- Et dans les eaux surfaces est toujours celle par voie d’ingestion qui est de 20,1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les enfants et 7,51 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les adultes.
- **Le cas de Plomb :**
- La valeur de l’indice de référence HI la plus élevée dans les eaux souterraines est celle par voie d’ingestion qui est de 6,22 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les enfants et 3,37 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les adultes,
- Et dans les eaux surfaces est toujours celle par voie d’ingestion qui est de 28,37 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les enfants et 12,13 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$ chez les adultes.

III.5. Interprétation des cartes



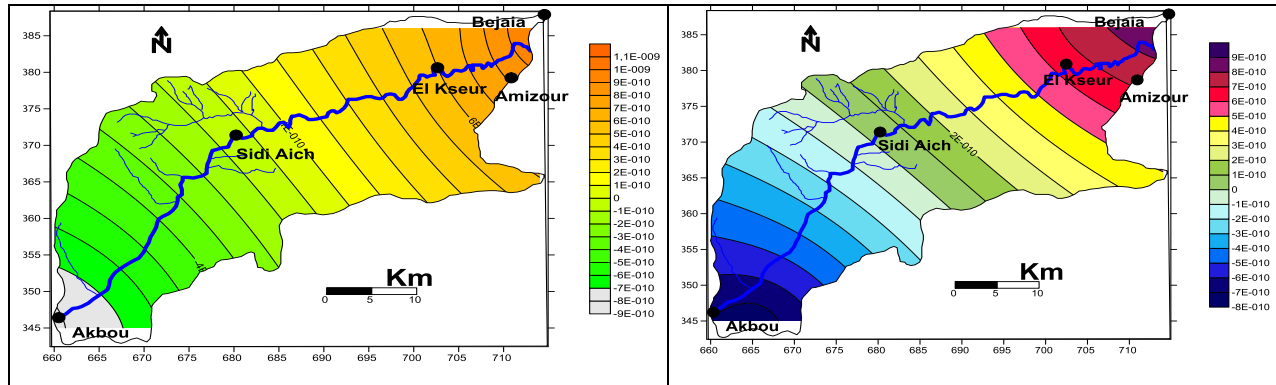


Figure 24: cartes des risques cas de Cd pour les eaux souterraines.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par ingestion est de 0,12 au niveau d'Oued Soummam d'Akbou jusqu'à Bejaia de coté nord et la valeur minimale est 0,06 au niveau de la région d'Akbou et Sidi Aich dans le coté sud
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'enfant par ingestion est de 0,265 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 0,14 au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par cutané est de 1.9×10^{-5} au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 1×10^{-5} au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'enfant par cutané est de 4.4×10^{-5} au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 2.4×10^{-5} au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par inhalation est de $1,1 \times 10^{-9}$ au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -9×10^{-10} au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'enfant par inhalation est de 9×10^{-10} au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -8×10^{-10} au niveau de la région Akbou

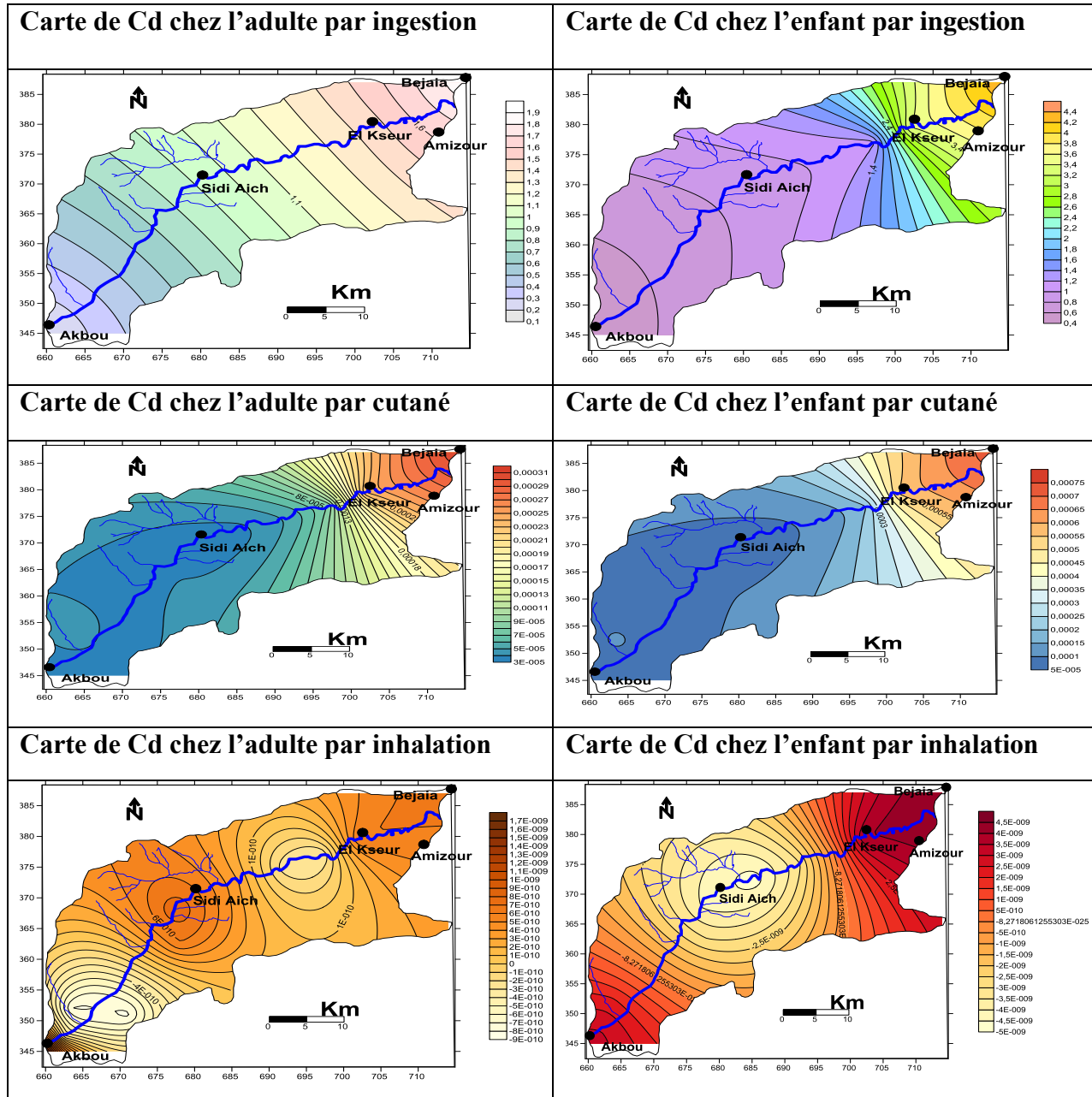
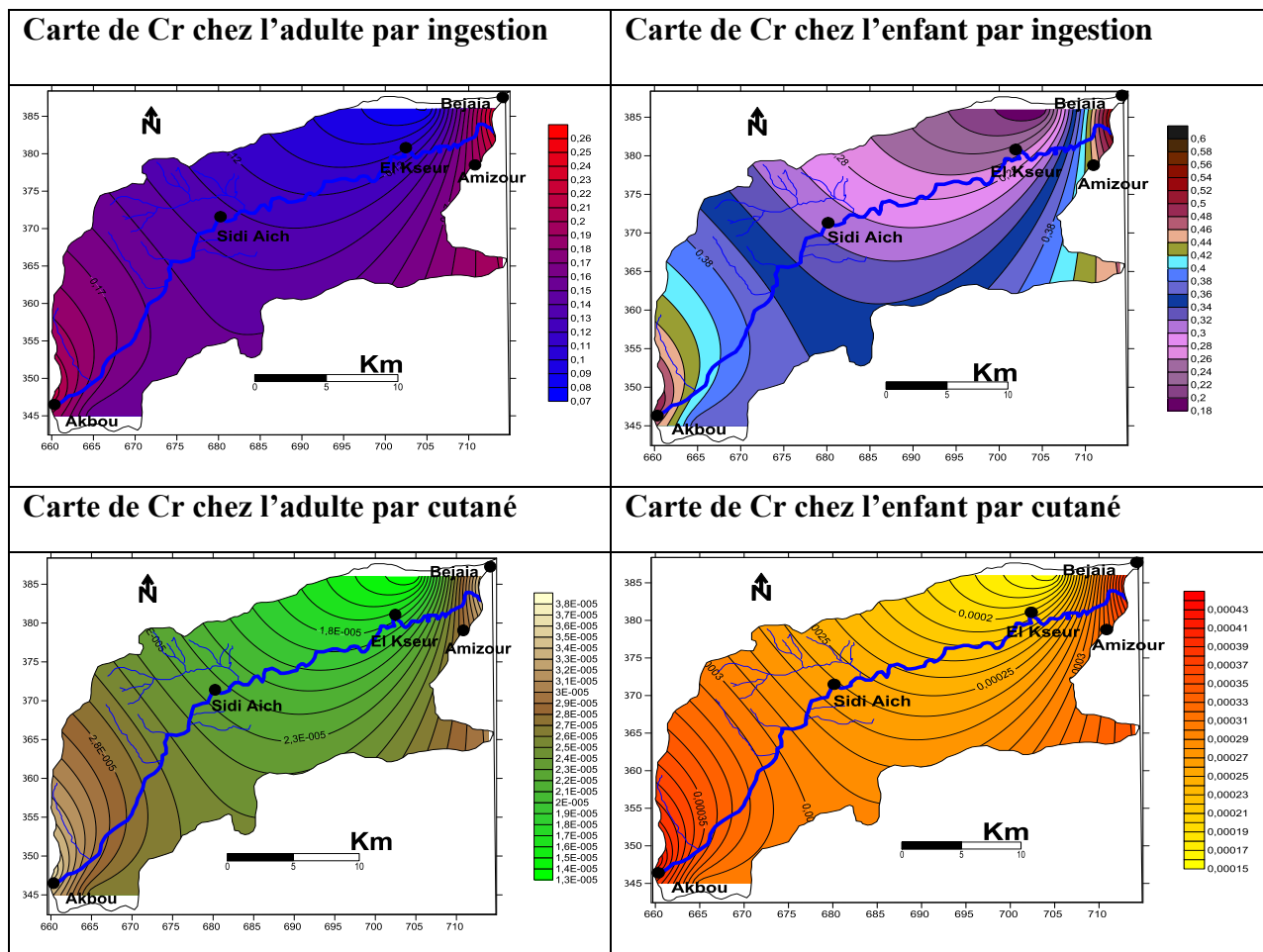


Figure 25: cartes des risques cas de Cd pour les eaux surfaces.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par ingestion est de 1,9 au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0,1 au niveau de la région d'Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'enfant par ingestion est de 4,4 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 0,4 au niveau de la région d'Akbou

- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par voie cutané est de $3,1 \times 10^{-4}$ au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est $1,1 \times 10^{-5}$ au niveau de la région d'Akbou
Jusqu'à Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par voie cutané est de $7,5 \times 10^{-4}$ au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 5×10^{-5} au niveau de la région d'Akbou jusqu'à Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'adulte par inhalation est de $1,7 \times 10^{-9}$ au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -9×10^{-10} au niveau de la région d'Akbou et El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Cadmium chez l'enfant par inhalation est de $4,5 \times 10^{-9}$ au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -5×10^{-9} au niveau de la région de Sidi Aich



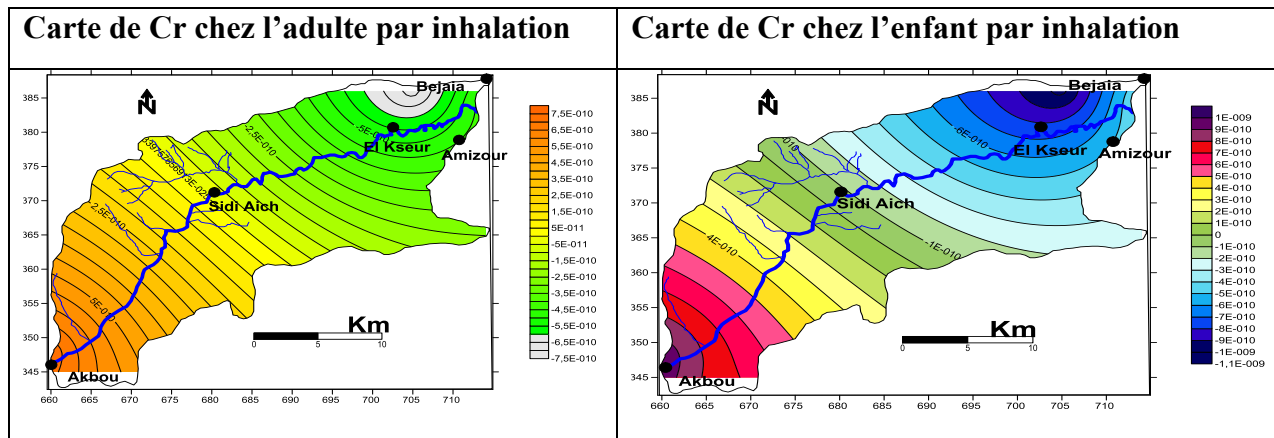


Figure 26: cartes des risques cas de Cr pour les eaux souterraines.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par ingestion est de 0,26 au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0,07 au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'enfant par ingestion est de 0,6 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 0,18 au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par voie cutané est de $3,8 \times 10^{-5}$ au niveau de la région d'Akbou et la valeur minimale est $1,3 \times 10^{-5}$ au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par voie cutané est de $4,3 \times 10^{-4}$ au niveau de la région d'Akbou et la valeur minimale est $1,5 \times 10^{-4}$ au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'Adulte par inhalation est de $7,5 \times 10^{-10}$ au niveau d'Akbou et la valeur minimale est $-7,5 \times 10^{-10}$ au niveau de la région de Bejaia
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'enfant par inhalation est de 1×10^{-9} au niveau d'Akbou et la valeur minimale est $-1,1 \times 10^{-9}$ au niveau de la région de Bejaia

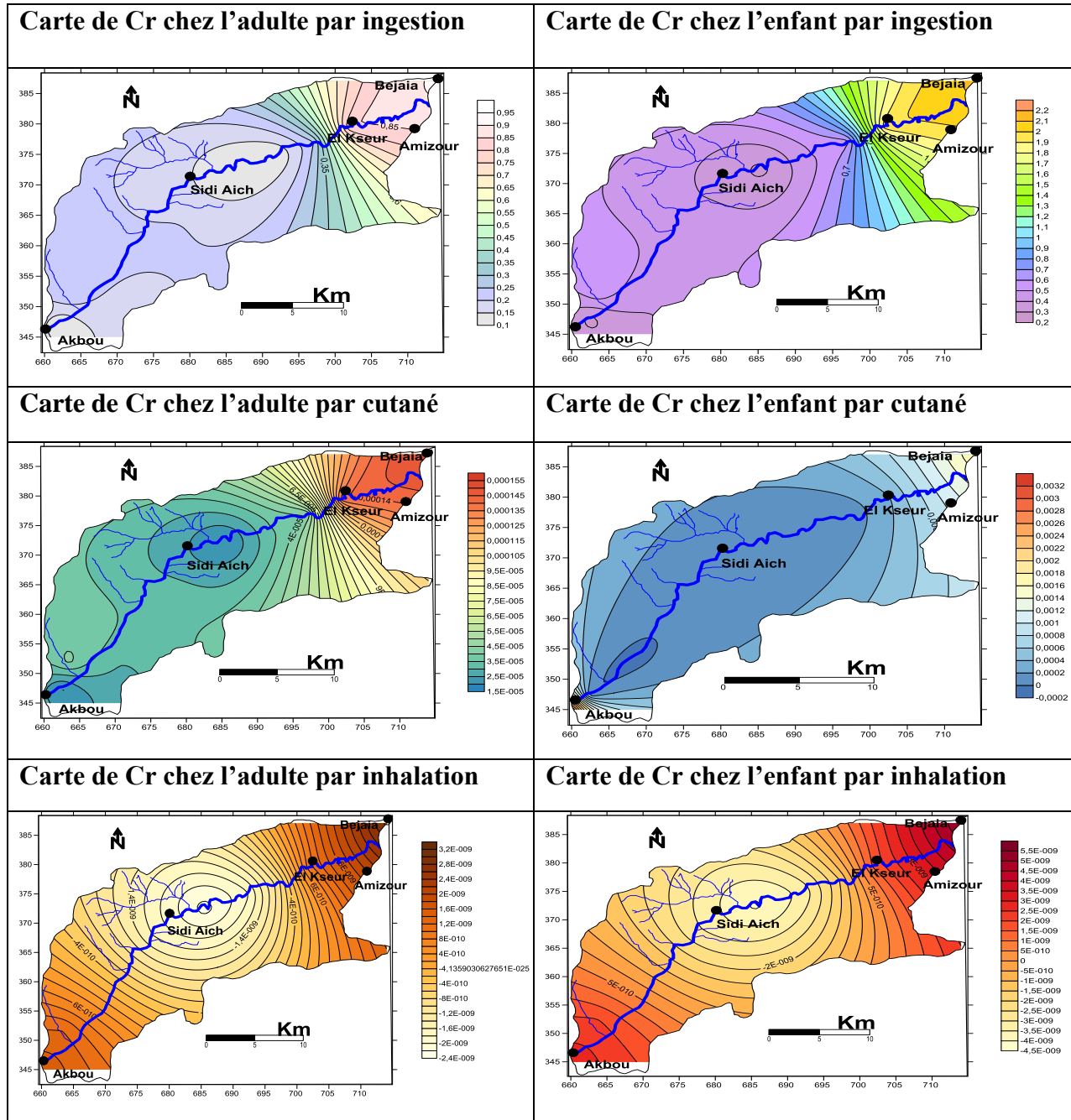
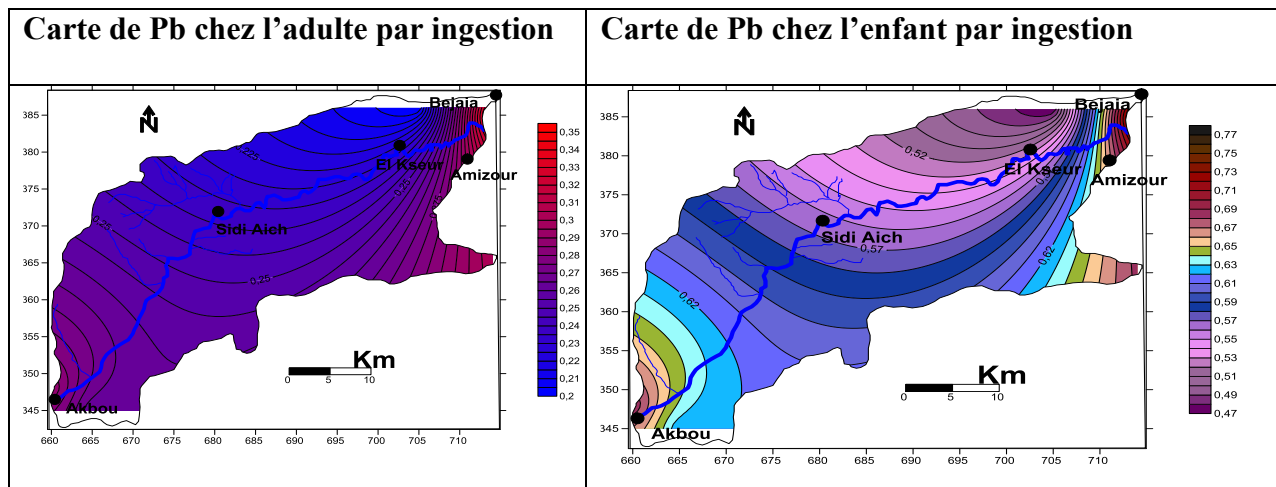


Figure 27: cartes des risques cas de Cr pour les eaux surfaces.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par ingestion est de 0,95 au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0,1 au niveau de la région de Sidi Aich et Akbou

- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'enfant par ingestion est de 2.2 au niveau de Bejaia et la valeur minimale est 0,2 au niveau de la région Sidi Aich et Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par voie cutané est de 1.55×10^{-4} au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est $1,5 \times 10^{-5}$ au niveau de la région de Sidi Aich et Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par voie cutané est de 3.2×10^{-3} au niveau de la région d'Akbou et la valeur minimale est 2×10^{-4} au niveau de la région de Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'adulte par inhalation est de 3.2×10^{-9} au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -2.4×10^{-10} au niveau de la région de Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Chrome chez l'enfant par inhalation est de 5.5×10^{-9} au niveau de Bejaia et la valeur minimale est -4.5×10^{-9} au niveau de la région de Sidi Aich



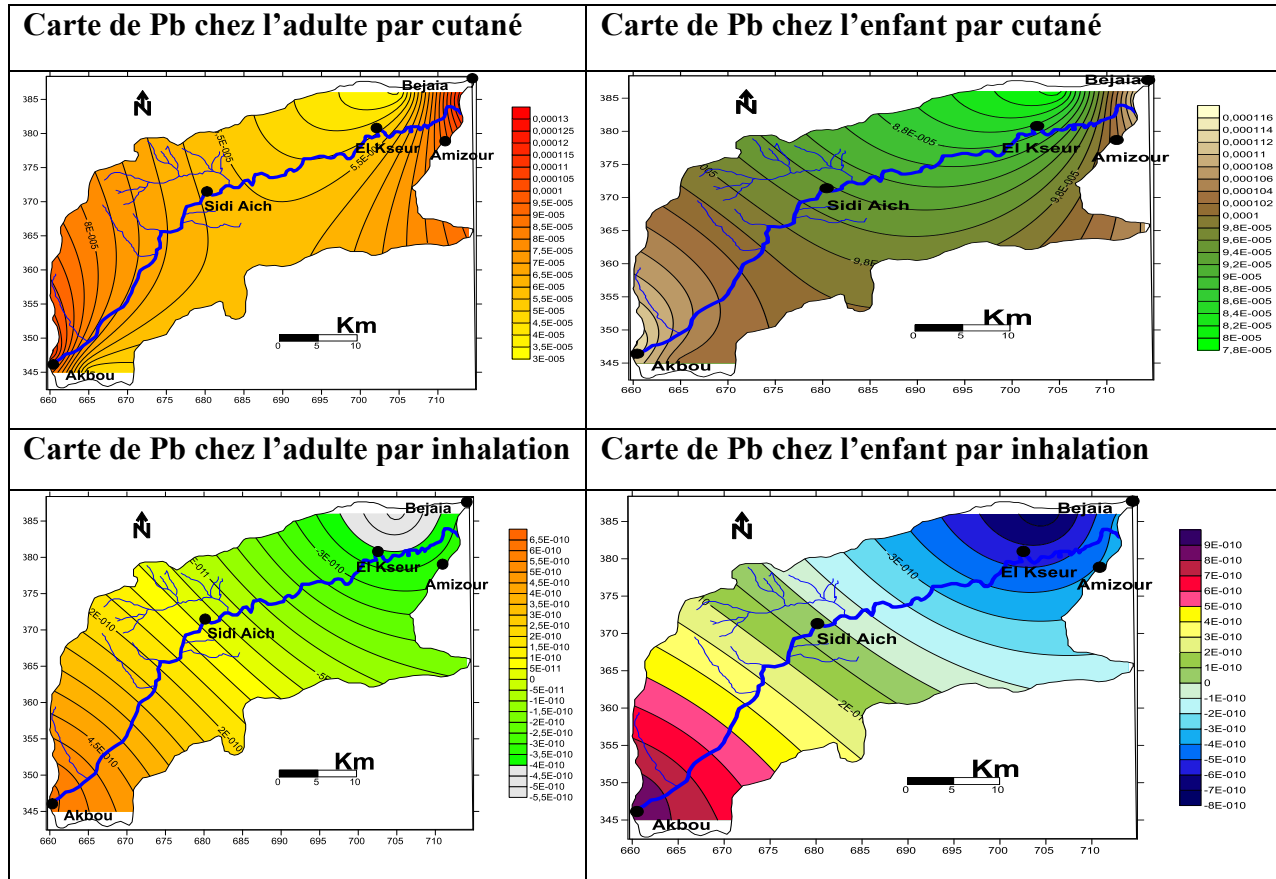


Figure 28: cartes des risques cas de Pb pour les eaux souterraines.

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par ingestion est de 0.35 au niveau de la région d'El Kseur et la valeur minimale est 0,2 au niveau de la région de Bejaia
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par ingestion est de 0.77 au niveau Bejaia et la valeur minimale est 0,47 au niveau de la région El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par voie cutané est de 1.3×10^{-4} au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 3×10^{-5} au niveau de la région de Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par voie cutané est de 1.16×10^{-4} au niveau de la région d'Akbou et la valeur minimale est 7.8×10^{-5} au niveau de la région d'El Kseur

- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par inhalation est de 6.5×10^{-10} au niveau d'Akbou et la valeur minimale est -5.5×10^{-10} au niveau de la région d'El Kseur
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par inhalation est de 9×10^{-10} au niveau d'Akbou et la valeur minimale est -8×10^{-10} au niveau de la région d'El Kseur

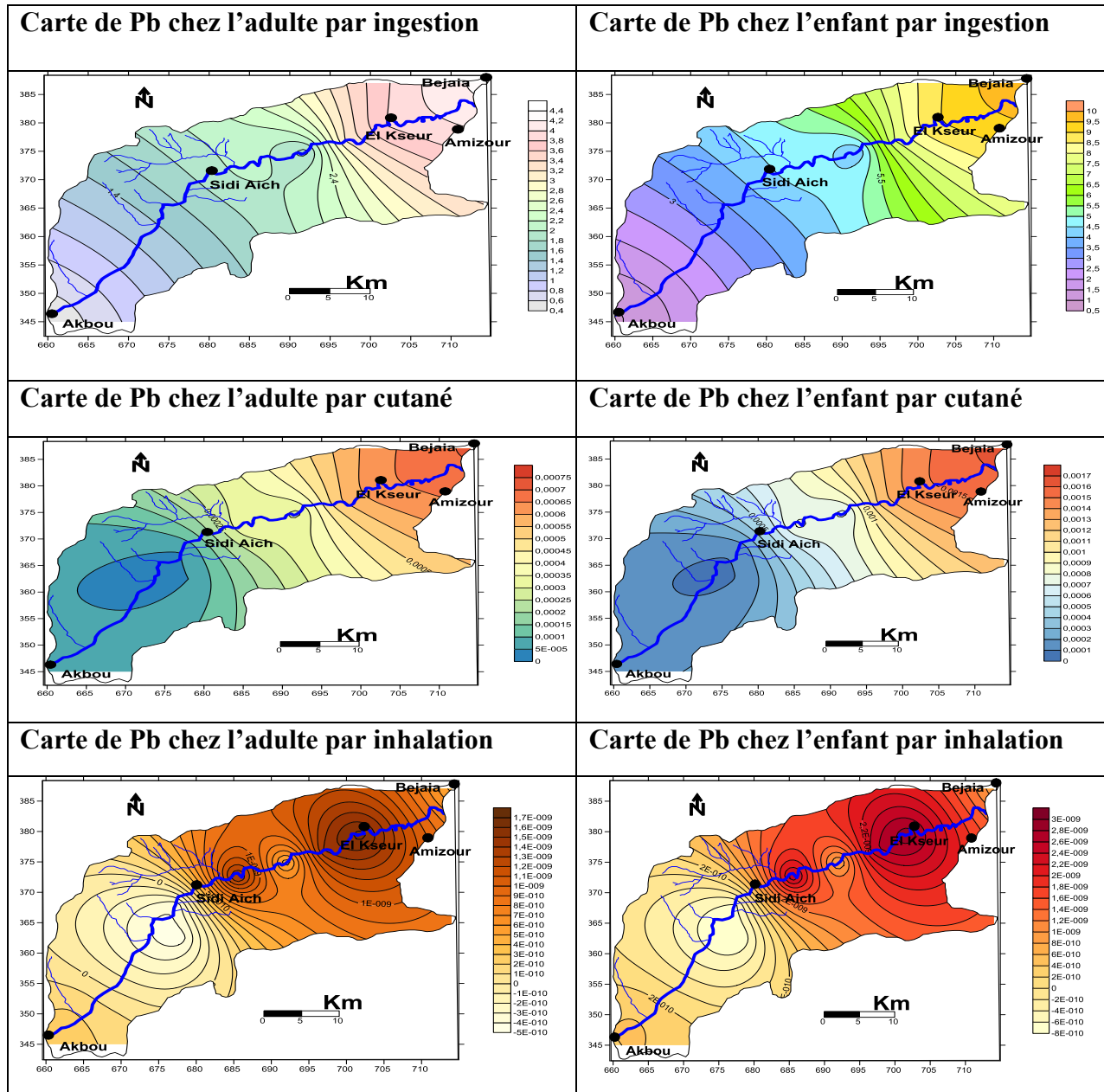


Figure 29: cartes des risques cas de Pb pour les eaux surfaces

D'après les cartes on remarque que pour :

- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par ingestion est de 4.4 au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0,4 au niveau de la région d'Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par ingestion est de 10 au niveau Bejaia et la valeur minimale est 0,5 au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par voie cutané est de 7.5×10^{-4} au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0 au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par voie cutané est de 1.7×10^{-3} au niveau de la région de Bejaia et la valeur minimale est 0 au niveau de la région Akbou
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'adulte par inhalation est de 1.7×10^{-9} au niveau d'El Kseur et la valeur minimale est -5×10^{-10} au niveau de la région de Sidi Aich
- La valeur maximale de la concentration de Plomb chez l'enfant par inhalation est de 3×10^{-9} au niveau d'El Kseur et la valeur minimale est -8×10^{-10} au niveau de la région de Sidi Aich

III.6. Discussion des résultats et risque au cancer

Les eaux souterraines ou de la surface contiennent un mélange complexe de métaux lourds. Ces métaux sont issus de processus géologiques, donc naturels ou proviennent de l'activité humaine (trafic routier, des unités industrielles, les décharges publiques, les pesticides...). Cette dernière source est souvent dominante.

La toxicité de ces métaux lourds est déterminée par le mode d'absorption (inhalation, ingestion, contact cutané) et par l'espèce chimique des métaux (métal natif, forme ionisée, sel, composés anorganiques ou organiques). L'accumulation du toxique dans l'organisme peut entraîner des phénomènes de bioamplification majorant encore sa pathogénicité en augmentant le risque d'apparition du cancer, lors de l'assimilation digestive.

A propos de notre étude, on a effectué le dosage des métaux lourds pour confirmer l'existence de ces éléments et leur risque cancérigène sur la santé humaine dans le bassin versant de la basse Soummam.

Ainsi, les résultats obtenus ont montré de fortes variations entre l'exposition par voie ingestion, inhalation et voie cutané selon population exposée (adultes, enfants) la plupart des personnes exposées via l'ingestion ont eu un cancer dans leurs vie suite a cette exposition. Ce qui confirme la relation entre ces métaux lourds qui se trouve dans les eaux souterraines ou de surface et le risque d'apparition du cancer.

III.7. D'autre risque sur la santé qui peuvent être provoqués par les métaux lourds

L'exposition d'une manière permanente à des métaux ou composés métalliques sous plusieurs formes (fumée, particules ou poussières) est à l'origine de pathologies graves tel que des atteintes respiratoires aigües ou chroniques.

Le cadmium, le plomb et le mercure, des métaux lourds, sont des polluants atmosphériques communs, émis principalement du fait d'activités industrielles. Même une faible charge atmosphérique contribue à une accumulation dans les sols, où ils subsistent dans l'environnement et s'accumulent dans la chaîne alimentaire tant sur les terres que dans l'eau. Les métaux lourds sont à mettre en rapport, à différents degrés, avec toute une série d'états pathologiques comme les lésions rénales et osseuses, les problèmes de développement et les troubles neurocomportementaux, une tension artérielle élevée, voire, potentiellement, des cancers du poumon.

Enfin, les effets cutanés allergiques sont notables avec des métaux comme le nickel, le chrome

III.8. Source de pollution de bassin versant de la basse soummam

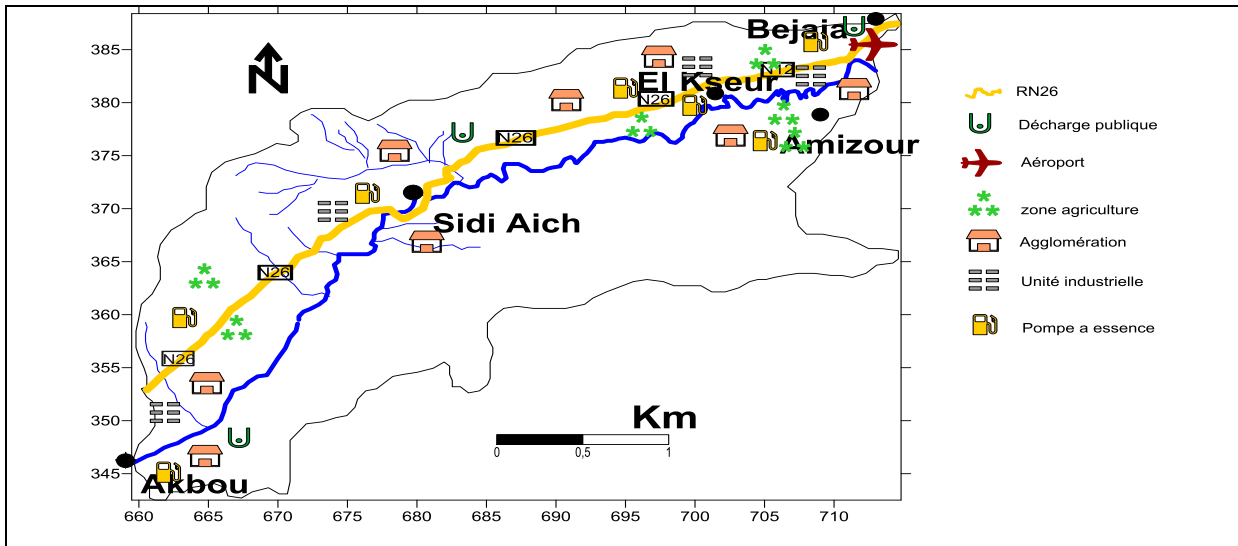


Figure 30: Carte représente les sources de pollution de la basse Soummam.

Les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface sont complexes. Par conséquent, la pollution des eaux souterraines, également appelée contamination des eaux souterraines, n'est pas aussi facilement classée que la pollution des eaux de surface. De par leur nature même, les aquifères souterrains sont susceptibles d'être contaminés par des sources qui peuvent ne pas affecter directement les plans d'eau de surface. La distinction entre source ponctuelle et source non ponctuelle peut ne pas être pertinente dans certaines situations.

L'analyse de la contamination des eaux souterraines peut se concentrer sur les caractéristiques du sol et la géologie du site, l'hydrogéologie, l'hydrologie et la nature des contaminants. Les causes de la pollution des eaux souterraines sont les suivantes: naturelles (géogéniques), les systèmes d'assainissement, les eaux usées, les engrais et les pesticides, les fuites commerciales et industrielles, la fracturation hydraulique, le lixiviat des décharges.

Conclusion générale

Cette étude a permis la contribution à l'étude des risques des métaux lourds (Pb, Cr, Cd) sur la santé humaine des eaux souterraines dans le bassin versant de la basse Soummam.

Dans les paramètres physico-chimiques on a la valeur maximale de pH est de 7,9 et la valeur minimale est de 7,1 dans les eaux souterraines et pour les eaux de surfaces 7,1 et 5,6 successivement par contre la valeur maximale et minimale de température dans les eaux souterraines est de 15 et 12,6 C° successivement mais dans les eaux de surface est de 14,6 et 13,3, pour la conductivité on a la valeur maximale dans les eaux souterraines 1500 µS/m et la minimale est de 535 µS/m et pour les eaux de surfaces la valeur maximale est de 1836 µS/m et la minimale est de 1223 µS/m, en fin la valeur maximale de TDS dans les eaux de souterraines est de 983 mg/l et la minimale est de 335 mg/l et pour les eaux de surfaces la valeur maximale et minimale est de 1143 mg/l et 775 mg/l successivement.

Les résultats obtenus ont montré que l'exposition par les Trois métaux lourds Pb, Cr, Cd chez l'adulte ou l'enfant est toujours par voie ingestion par contre les deux voies cutanée et inhalation n'y a pas vraiment de contamination. La comparaison entre les valeurs obtenues des calculs HQ et les valeurs limites réglementaires de métal analysé on constate que dans les eaux souterraines $Cd > Pb > Cr$ qui veut dire que le Cadmium a un risque cancérigène considérable par rapport aux autres métaux lourds, et dans les eaux de surfaces $Pb > Cd > Cr$ qui veut dire que le Plomb a un risque cancérigène considérable par rapport aux autres métaux lourds.

En final, une fois les résultats obtenus des calculs de HQ ont été projetés sur des cartes on constate que la contamination par les ETM est localisée au niveau de l'oued Soummam de Akbou jusqu'à Bejaia la cause probablement de cette distribution de la contamination est donc l'emplacement de plusieurs entreprises ainsi que le trafic routier.

Recommandations :

Pour protéger et sauvegarder la bonne qualité des eaux souterraines et eaux de surfaces de la région de la basse Soummam, nous recommandons ce qui suit :

- Le renforcement des capacités de surveillance et de contrôle de la qualité des eaux.
- La révision du code des eaux et de l'environnement à la lumière de nouvelles données internationales.

- Un cadre et des outils juridiques adéquats sont indispensables pour une gestion et une protection de la ressource en eau.
- La mise en place d'un plan directeur de lutte contre l'érosion, la sécheresse et les inondations sur le moyen terme.
- Contrôler les rejets solides, liquides et gazeux.
- Évaluations des métaux lourds issus des déchets solides dans l'environnement (eau et sol).
- Éviter les rejets à ciel ouvert.
- Éliminer et interdire les décharges publiques dans le voisinage des oueds.
- Établir un périmètre de protection pour les points d'eaux.
- Assainissement des eaux usées vers des bassins de décantation.
- Un contrôle et analyses chimiques des eaux de surface et souterraines.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abrahams, P.W.**, 2002. Soils: their implications to human health. The Science of the Total Environment 291, 1-32.
- **Adriano, D.C.**, 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- **Agarwal, A.** 2000. La gestion intégrée des ressources en eau; TAC Background Papers N°4. Stockholm (Se), Global Water Partnership ,24 .
- **Aïssa, Mouali.** fiche descriptive Ramsar de la vallée de Oued Soummam, [en ligne]. Adresse URL : <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/DZ1898RIS.pdf>
- **Alami,S.** (2011)-tutoriel d'utilisation de surfer 09 stratégie, caribsat-Action 6
- **Anctil, F. Rousselle, J et Lauzon, N.** (2013). Hydrologie : cheminements de l'eau. 2ème édition. Ed. Presses internationales polytechnique Canada. 2-3p.
- **Andreassian , V ., Margat, J .** « Allons-nous manquer d'eau? », Édition Le Pommier, Paris, 2005, p 8
- **B. Remini** / Larhyss Journal, 8 (2010), 27-46
- **Baize D.,** 1997. Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France) : Références et stratégies d'interprétation. INRA Editions. Paris. 408 p.
- **Beverkog B et Puigdomenech I** (1997) Revised Pourbaix diagrams for Chromium at 25-300 °C. Corrosion Science 39, 43-57.
- **Blifert, C; Perraud,R.** 2001. Chimie de l'environnement air, eau, sol, déchets. De boeck édition. P 369-389.

- **Bonnomet, V;** Le Goff, F. 2004. Devenir et comportement des métaux dans l'eau: biodisponibilité et modèle BLM. Rapport technique du ministère de l'écologie et du développement durable, Direction de l'eau pp 8-25
- **Brun, A., Lasserre, F.** (2012). Gestion de l'eau : Approche territoriale et institutionnelle.
- **Chalgou, T. Naili, A.** (2017). Etude physico-chimique et microbiologique de la floculationcoagulation et de l'adoucissement de l'eau du puits de forage d'Ibourassen (CEVITAL). Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université de Bejaia. 2-3-4p.
- **Chrétien J. et Thieblemont M.,** 1974. Un mécanisme intermédiaire dans la carcinogénèse pulmonaire. *Nouv. Presse Med.*, 3: 1347.
- CIRC (Centre international de recherche sur le cancer). 1982. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk Chem. Man, Suppl. 4: 91.
- « cycle de l'eau », disponible sur http://www.unice.fr/LEML/Francour_internet/Fichers_en_ligne/Cours_2_Energie_Cycle_eau.pdf
- **Dauids H.W. et Lieber M.,** 1951. Underground water contamination by chromium wastes. *Water Sewage Works*, 98: 528
- **Environmental Protection Agency** - Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA) Fiche plomb. , 1999. Monographies des polluants. p 234-254
- **Faurie C., Ferra C., Médori P., Dévaux J., et Hemptine J.L.,** 2006. Ecologie approche scientifique et pratique. 5ème édition, Tec and Doc. Londre, Paris, Newyork, p406.
- **Fergusson J. E.,** 1980. Heavy metals pollution by traffic in Choustchurch, New Zealand : Lead and cadmium content of dust, soil, and plants. *New Zetland journal of science*.vol 23, p2830

- **Finklea, J.F. 1976.** Lead chromate — an update. Lettre du 8 octobre 1976 envoyée par le U.S. Department of Health, Education and Welfare/National Institute for Occupational Safety
- GERARDM. 2000 - les effets des métaux lourds sur l'environnement et la sante. Rapport : 365 p.
- Haddad. 2006. Analyse et contrôle de la qualité des eaux de consommation distribuer au niveau de Bejaia. mémoire de diplôme d'étude universitaire appliquée en écologie ,F,S,N,O .université de Bejaia.
- **HAMENNI N.** (2011) : étude des ressources en eau du bassin versant de la Soummam par l'utilisation du SIG.
- **Hamoudi.** 1999. analyse bactériologique de l'eau de consommation et études des principales maladies la transmission hydrique dans la wilaya de Bejaia. mémoire de diplôme d'étude universitaire appliquée en écologie. Bejaia, F, S,N,O Université de Bejaia.
- **Harte J., Holdren C., Schneider R., Shirley C.,** 1991. Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards. University of California Press, Oxford, England, p. 478.
- **Jourdan, B; Piantone, P; Guyonnet, D.** 2005. Atténuation des métaux à l'aval de sites de stockage de déchets. Synthèse bibliographique. Rapport BRGM/RP-54417-fr.
- **Kabata-Pendias, A. and Pendias, H.,** 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, London.
- **M.Ichalalane.Md.Amokrane et M.Lacene Hakim,** Mémoire de fin d'étude « Contribution a l'évaluation du potentiel hydrique de la basse Soummam », Université de Bejaia, 2005.
- **Majone F. et Rensi D.,** 1979. Mitotic alterations, chromosome aberrations and sister chromatid exchanges induced by hexavalent and trivalent chromium on mammalian cells in vitro. Caryologia, 32: 379.

- **Marget j**, « Les Ressources en Eau : Conception, évaluation, cartographie, comptabilité ». Manuels et méthodes n°28, Edition BRGM, 1996, p 8. septembre 2001, p 46.
- Mémoire de magister en hydraulique agricole. ENSA. Alger.153 pages.
- **Miquel, G.** 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques P94-272
- **MOUNI, Loufti.** << Étude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie) >>, sécheresse, vol.20, n° 4, 2009, p.360 – 366.
- **O'Heany J.M.**, 1986. Summary of health effects of chromium. Health Studies Service, Special Studies and Services Branch, Ontario Ministry of Labour.
- **Perrono,P.** 1999. les micropolluants métalliques des boues des stations d'épurations urbaines et l'épandage agricole. Mem D.U.E.S.S. D.E.P, Univ Picardie, Amiens.
- **Raffetto G.** et coll., 1977. Direct interaction with cellular targets as the mechanism for chromium carcinogenesis. Tumori, 63: 503.
- **Robert, M.** 1996. Le sol interface dans l'environnement ressource pour le développement. Masson, Paris Milan Barcelone, pp 152-168
- **Roche, D-A. Miquel, J et Gaume, E.** (2012). Hydrologie quantitative : processus, modèles et aide à la décision. Ed. Springer-Verlag France. 7p.
- **Sharma SK, Petrusevski B et Amy G** (2008) Chromium removal from water: A review. Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA 57, 541-553.
- **Stocks P., N.B.E.C.C., 1972.** Annu. Rep., 35: 95 (1957). Cité dans Williams, D.R. Metals, ligands, and cancer. Chem. Rev., 72: 203.
- **Tonneau, J.** 2003. D'un bout à l'autre de la chaîne. Printemps des sciences, 10 p
- **U.S. Environmental Protection Agency.** 1985. Health effects criteria document for chromium. Criteria and Standards Division, Office of Drinking Water, Washington.

Références bibliographiques

- **USEPA (2016)** United States Environmental Protection Agency,EPA/540/1-89/002
- **WHO., 1992.** World Health Organization: our planet, our health. Genève. 282p.

Annexes

Tableau : Des résultats Dose journalière d'exposition par voie d'ingestion, cutané et inhalation chez les adultes et les enfants par les métaux lourds (Pb,Cd,Cr)

Unité	kg/jour					
Equation exposition ingestion/dermique/inhalation	Expo ingestion = $\frac{C_{Eau} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$ Equation 1					
	Expo dermique = $\frac{C_{Eau} \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$ Equation 2					
	Expo Inhalation = $\frac{C_{Eau} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$ Equation 3					
ETM	Cd					
Voie d'exposition	Ingestion		Cutané		Inhalation	
Type de population Exposée	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Nature de l'eau Contaminée	Eaux souterraines (les puits)					
P1	1,82 x 10 ⁻¹	4,25 x 10 ⁻¹	3,02 x 10 ⁻⁵	7,06 x 10 ⁻⁵	5,51 x 10 ⁻¹¹	9,89 x 10 ⁻¹¹
P2	3,86 x 10 ⁻²	9,02 x 10 ⁻²	6,42 x 10 ⁻⁶	1,49 x 10 ⁻⁵	1,16 x 10 ⁻¹¹	2,09 x 10 ⁻¹¹
P3	4,24 x 10 ⁻²	9,90 x 10 ⁻²	7,04 x 10 ⁻⁶	1,64 x 10 ⁻⁵	1,28 x 10 ⁻¹¹	2,30 x 10 ⁻¹¹
P4	3,08 x 10 ⁻²	7,18 x 10 ⁻²	5,11 x 10 ⁻⁶	1,19 x 10 ⁻⁵	9,31 x 10 ⁻¹²	1,67 x 10 ⁻¹¹
P5	1,43 x 10 ⁻¹	3,34 x 10 ⁻¹	2,38 x 10 ⁻⁵	5,55 x 10 ⁻⁵	4,33 x 10 ⁻¹¹	7,77 x 10 ⁻¹¹
P6	1,47 x 10 ⁻²	3,44 x 10 ⁻²	2,45 x 10 ⁻⁶	5,72 x 10 ⁻⁶	4,46 x 10 ⁻¹²	8,01 x 10 ⁻¹²
P7	1,63 x 10 ⁻¹	3,82 x 10 ⁻¹	2,71 x 10 ⁻⁵	6,34 x 10 ⁻⁵	4,95 x 10 ⁻¹¹	8,88 x 10 ⁻¹¹
P8	1,56 x 10 ⁻¹	3,56 x 10 ⁻¹	2,59 x 10 ⁻⁵	6,06 x 10 ⁻⁵	4,73 x 10 ⁻¹¹	8,49 x 10 ⁻¹¹
P9	2,07 x 10 ⁻¹	4,84 x 10 ⁻¹	3,45 x 10 ⁻⁵	8,05 x 10 ⁻⁵	6,28 x 10 ⁻¹¹	1,12 x 10 ⁻¹⁰
P10	8,45 x 10 ⁻²	1,97 x 10 ⁻¹	1,40 x 10 ⁻⁵	3,27 x 10 ⁻⁵	2,55 x 10 ⁻¹¹	4,58 x 10 ⁻¹¹
P11	6,09 x 10 ⁻²	1,42 x 10 ⁻¹	1,01 x 10 ⁻⁵	2,36 x 10 ⁻⁵	1,84 x 10 ⁻¹¹	3,30 x 10 ⁻¹¹
P12	6,82 x 10 ⁻²	1,59 x 10 ⁻¹	1,13 x 10 ⁻⁵	2,64 x 10 ⁻⁵	2,06 x 10 ⁻¹¹	3,70 x 10 ⁻¹¹
P13	1,29 x 10 ⁻¹	3,02 x 10 ⁻¹	2,15 x 10 ⁻⁵	5,01 x 10 ⁻⁵	3,91 x 10 ⁻¹¹	7,02 x 10 ⁻¹¹
P14	1,33 x 10 ⁻¹	3,12 x 10 ⁻¹	2,22 x 10 ⁻⁵	5,18 x 10 ⁻⁵	4,04 x 10 ⁻¹¹	7,26 x 10 ⁻¹¹
P15	1,65 x 10 ⁻¹	3,85 x 10 ⁻¹	2,74 x 10 ⁻⁵	6,39 x 10 ⁻⁵	4,98 x 10 ⁻¹¹	8,95 x 10 ⁻¹¹
P16	7,32 x 10 ⁻²	1,70 x 10 ⁻¹	1,21 x 10 ⁻⁵	2,83 x 10 ⁻⁵	2,21 x 10 ⁻¹¹	3,97 x 10 ⁻¹¹
P17	1,79 x 10 ⁻¹	4,18 x 10 ⁻¹	2,98 x 10 ⁻⁵	6,95 x 10 ⁻⁵	5,42 x 10 ⁻¹¹	9,74 x 10 ⁻¹¹
P18	1,32 x 10 ⁻¹	3,10 x 10 ⁻¹	2,20 x 10 ⁻⁵	5,15 x 10 ⁻⁵	4,02 x 10 ⁻¹¹	7,21 x 10 ⁻¹¹
P19	2,30 x 10 ⁻¹	5,36 x 10 ⁻¹	3,82 x 10 ⁻⁵	8,91 x 10 ⁻⁵	6,95 x 10 ⁻¹¹	1,24 x 10 ⁻¹⁰
P20	2,13 x 10 ⁻¹	4,97 x 10 ⁻¹	3,53 x 10 ⁻⁵	8,25 x 10 ⁻⁵	6,44 x 10 ⁻¹¹	1,15 x 10 ⁻¹⁰
Eaux de surfaces (les oueds)						
S1	2,09 x 10 ⁻¹	4,89 x 10 ⁻¹	3,48 x 10 ⁻⁵	8,12 x 10 ⁻⁵	6,33 x 10 ⁻¹¹	1,13 x 10 ⁻¹⁰
S2	2,69 x 10 ⁻¹	6,29 x 10 ⁻¹	4,48 x 10 ⁻⁵	1,04 x 10 ⁻⁴	8,16 x 10 ⁻¹¹	1,46 x 10 ⁻¹⁰
S3	2,13 x 10 ⁻¹	4,97 x 10 ⁻¹	3,53 x 10 ⁻⁵	8,25 x 10 ⁻⁵	6,44 x 10 ⁻¹¹	1,15 x 10 ⁻¹⁰
S4	2,47 x 10 ⁻¹	5,77 x 10 ⁻¹	4,10 x 10 ⁻⁵	9,58 x 10 ⁻⁵	7,47 x 10 ⁻¹¹	1,34 x 10 ⁻¹⁰
S5	2,02 x 10 ⁻¹	4,73 x 10 ⁻¹	3,36 x 10 ⁻⁵	7,85 x 10 ⁻⁵	6,13 x 10 ⁻¹¹	1,10 x 10 ⁻¹⁰
S6	2,27 x 10 ⁻¹	5,30 x 10 ⁻¹	3,77 x 10 ⁻⁵	8,81 x 10 ⁻⁵	6,88 x 10 ⁻¹¹	1,23 x 10 ⁻¹⁰
S7	3,18 x 10 ⁻¹	7,42x 10 ⁻¹	5,28 x 10 ⁻⁵	1,23 x 10 ⁻⁴	9,61 x 10 ⁻¹¹	1,72 x 10 ⁻¹⁰
S8	4,92 x 10 ⁻¹	1,14	8,17 x 10 ⁻⁵	1,90 x 10 ⁻⁴	1,48 x 10 ⁻¹⁰	2,67 x 10 ⁻¹⁰
S9	1,45	3,39	2,41 x 10 ⁻⁴	5,64 x 10 ⁻⁴	4,40 x 10 ⁻¹⁰	7,90 x 10 ⁻¹⁰
S10	1,80	4,20	2,99 x 10 ⁻⁴	6,98 x 10 ⁻⁴	5,44 x 10 ⁻¹⁰	9,78 x 10 ⁻¹⁰

Unité	kg/jour						
Equation exposition ingestion/ dermique/inhalation	$\text{Expo}_{\text{ingestion}} = \frac{C_{\text{Eau}} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$						Equation 1
	$\text{Expo}_{\text{dermique}} = \frac{C_{\text{Eau}} \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$						Equation 2
	$\text{Expo}_{\text{Inhalation}} = \frac{C_{\text{Eau}} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$						Equation 3
ETM	Pb						
Voie d'exposition	Ingestion		Cutané		Inhalation		
Type de population Exposée	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	
Nature de l'eau Contaminée	Eaux souterraines (les puits)						
P1	$3,00 \times 10^{-1}$	$7,01 \times 10^{-1}$	$4,99 \times 10^{-5}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$9,08 \times 10^{-11}$	$1,63 \times 10^{-10}$	
P2	$2,58 \times 10^{-1}$	$6,04 \times 10^{-1}$	$4,30 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$7,83 \times 10^{-11}$	$1,40 \times 10^{-10}$	
P3	$1,08 \times 10^{-1}$	$2,53 \times 10^{-1}$	$1,80 \times 10^{-5}$	$4,21 \times 10^{-5}$	$3,28 \times 10^{-11}$	$5,90 \times 10^{-11}$	
P4	$0,78 \times 10^{-1}$	$1,83 \times 10^{-1}$	$1,30 \times 10^{-5}$	$3,04 \times 10^{-5}$	$2,37 \times 10^{-11}$	$4,26 \times 10^{-11}$	
P5	$2,47 \times 10^{-1}$	$5,77 \times 10^{-1}$	$4,10 \times 10^{-5}$	$9,58 \times 10^{-5}$	$4,47 \times 10^{-11}$	$1,34 \times 10^{-10}$	
P6	$1,12 \times 10^{-1}$	$2,63 \times 10^{-1}$	$1,87 \times 10^{-5}$	$4,37 \times 10^{-5}$	$3,41 \times 10^{-11}$	$6,12 \times 10^{-11}$	
P7	$2,31 \times 10^{-1}$	$5,41 \times 10^{-1}$	$3,85 \times 10^{-5}$	$8,98 \times 10^{-5}$	$7,01 \times 10^{-11}$	$1,25 \times 10^{-10}$	
P8	$2,29 \times 10^{-1}$	$5,34 \times 10^{-1}$	$3,80 \times 10^{-5}$	$8,87 \times 10^{-5}$	$6,92 \times 10^{-11}$	$1,24 \times 10^{-10}$	
P9	$2,56 \times 10^{-1}$	$5,99 \times 10^{-1}$	$4,26 \times 10^{-5}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$7,76 \times 10^{-11}$	$1,39 \times 10^{-10}$	
P10	$1,31 \times 10^{-1}$	$3,07 \times 10^{-1}$	$2,18 \times 10^{-5}$	$5,10 \times 10^{-5}$	$3,98 \times 10^{-11}$	$7,14 \times 10^{-11}$	
P11	$1,06 \times 10^{-1}$	$2,47 \times 10^{-1}$	$1,76 \times 10^{-5}$	$4,11 \times 10^{-5}$	$3,21 \times 10^{-11}$	$5,76 \times 10^{-11}$	
P12	$1,43 \times 10^{-1}$	$3,35 \times 10^{-1}$	$2,39 \times 10^{-5}$	$5,57 \times 10^{-5}$	$4,35 \times 10^{-11}$	$7,81 \times 10^{-11}$	
P13	$2,93 \times 10^{-1}$	$6,85 \times 10^{-1}$	$4,88 \times 10^{-5}$	$1,13 \times 10^{-4}$	$8,88 \times 10^{-11}$	$1,59 \times 10^{-10}$	
P14	$3,35 \times 10^{-1}$	$7,82 \times 10^{-1}$	$5,56 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-10}$	$1,82 \times 10^{-10}$	
P15	$3,65 \times 10^{-1}$	$8,52 \times 10^{-1}$	$6,06 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-10}$	$1,98 \times 10^{-10}$	
P16	$1,40 \times 10^{-1}$	$3,27 \times 10^{-1}$	$2,33 \times 10^{-5}$	$5,44 \times 10^{-5}$	$4,24 \times 10^{-11}$	$7,62 \times 10^{-11}$	
P17	$3,87 \times 10^{-1}$	$9,04 \times 10^{-1}$	$6,44 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-4}$	$1,17 \times 10^{-10}$	$2,10 \times 10^{-10}$	
P18	$2,35 \times 10^{-1}$	$5,48 \times 10^{-1}$	$3,90 \times 10^{-5}$	$9,11 \times 10^{-5}$	$7,10 \times 10^{-11}$	$1,27 \times 10^{-10}$	
P19	$3,76 \times 10^{-1}$	$8,87 \times 10^{-1}$	$6,25 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$1,13 \times 10^{-10}$	$2,04 \times 10^{-10}$	
P20	$3,91 \times 10^{-1}$	$9,14 \times 10^{-1}$	$6,50 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-10}$	$2,12 \times 10^{-10}$	
Eaux de surfaces (les oueds)							
S1	$4,57 \times 10^{-1}$	1,06	$7,60 \times 10^{-5}$	$1,77 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-10}$	$2,48 \times 10^{-10}$	
S2	$3,91 \times 10^{-1}$	$9,13 \times 10^{-1}$	$6,49 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-10}$	$2,12 \times 10^{-10}$	
S3	$4,19 \times 10^{-1}$	$9,79 \times 10^{-1}$	$6,96 \times 10^{-5}$	$1,62 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-10}$	$2,27 \times 10^{-10}$	
S4	$2,99 \times 10^{-1}$	$6,99 \times 10^{-1}$	$4,97 \times 10^{-5}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$9,06 \times 10^{-11}$	$1,62 \times 10^{-10}$	
S5	$3,28 \times 10^{-1}$	$7,66 \times 10^{-1}$	$5,45 \times 10^{-5}$	$1,27 \times 10^{-4}$	$9,93 \times 10^{-11}$	$1,78 \times 10^{-10}$	
S6	2,13	4,97	$3,54 \times 10^{-4}$	$8,26 \times 10^{-4}$	$6,45 \times 10^{-10}$	$1,15 \times 10^{-9}$	
S7	1,73	4,05	$2,88 \times 10^{-4}$	$6,74 \times 10^{-4}$	$5,26 \times 10^{-10}$	$9,44 \times 10^{-10}$	
S8	3,24	7,56	$5,38 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-3}$	$9,80 \times 10^{-10}$	$1,76 \times 10^{-9}$	
S9	3,80	8,88	$6,32 \times 10^{-4}$	$1,47 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-9}$	$2,06 \times 10^{-9}$	
S10	4,22	9,86	$7,02 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-9}$	$2,29 \times 10^{-9}$	

Unité	kg/jour						
Equation exposition ingestion/ dermique/inhalation	$\text{Expo ingestion} = \frac{C_{Eau} \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$						Equation 1
	$\text{Expo dermique} = \frac{C_{Eau} \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$						Equation 2
	$\text{Expo Inhalation} = \frac{C_{Eau} \times InhR \times ET \times EF \times ED}{PEF \times BW \times AT}$						Equation 3
ETM	Cr						
Voie d'exposition	Ingestion		Cutané		Inhalation		
Type de population exposée	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	
Nature de l'eau contaminée	Eaux souterraines (les puits)						
P1	2,45 x 10 ⁻¹	5,72 x 10 ⁻¹	4,07 x 10 ⁻⁵	9,50 x 10 ⁻⁵	7,41 x 10 ⁻¹¹	1,33 x 10 ⁻¹⁰	
P2	5,50 x 10 ⁻²	1,28 x 10 ⁻¹	9,13 x 10 ⁻⁶	2,13 x 10 ⁻⁵	1,66 x 10 ⁻¹¹	2,98 x 10 ⁻¹¹	
P3	3,80 x 10 ⁻²	8,87 x 10 ⁻²	6,31 x 10 ⁻⁶	1,47 x 10 ⁻⁵	1,15 x 10 ⁻¹¹	2,06 x 10 ⁻¹¹	
P4	4,02 x 10 ⁻²	9,38 x 10 ⁻²	6,68 x 10 ⁻⁶	1,55 x 10 ⁻⁵	1,21 x 10 ⁻¹¹	2,18 x 10 ⁻¹¹	
P5	6,69 x 10 ⁻²	1,56 x 10 ⁻¹	1,11 x 10 ⁻⁵	2,59 x 10 ⁻⁵	2,02 x 10 ⁻¹¹	3,63 x 10 ⁻¹¹	
P6	2,45 x 10 ⁻²	5,72 x 10 ⁻²	4,07 x 10 ⁻⁶	9,50 x 10 ⁻⁶	7,41 x 10 ⁻¹²	1,33 x 10 ⁻¹¹	
P7	1,11 x 10 ⁻¹	2,59 x 10 ⁻¹	1,84 x 10 ⁻⁵	4,31 x 10 ⁻⁵	3,36 x 10 ⁻¹¹	6,03 x 10 ⁻¹¹	
P8	1,09 x 10 ⁻¹	2,54 x 10 ⁻¹	1,81 x 10 ⁻⁵	4,22 x 10 ⁻⁵	3,29 x 10 ⁻¹¹	5,91 x 10 ⁻¹¹	
P9	1,07 x 10 ⁻¹	2,50 x 10 ⁻¹	1,78 x 10 ⁻⁵	4,16 x 10 ⁻⁵	3,25 x 10 ⁻¹¹	5,83 x 10 ⁻¹¹	
P10	4,27 x 10 ⁻²	9,97 x 10 ⁻²	7,09 x 10 ⁻⁶	1,65 x 10 ⁻⁵	1,27 x 10 ⁻¹¹	2,32 x 10 ⁻¹¹	
P11	2,45 x 10 ⁻²	5,72 x 10 ⁻²	4,07 x 10 ⁻⁶	9,50 x 10 ⁻⁶	7,41 x 10 ⁻¹²	1,33 x 10 ⁻¹¹	
P12	2,60 x 10 ⁻²	6,08 x 10 ⁻²	4,33 x 10 ⁻⁶	1,01 x 10 ⁻⁵	7,88 x 10 ⁻¹²	1,41 x 10 ⁻¹¹	
P13	7,82 x 10 ⁻²	1,82 x 10 ⁻¹	1,29 x 10 ⁻⁵	3,03 x 10 ⁻⁵	2,36 x 10 ⁻¹¹	4,24 x 10 ⁻¹¹	
P14	6,75 x 10 ⁻²	1,57 x 10 ⁻¹	1,12 x 10 ⁻⁵	2,61 x 10 ⁻⁵	2,04 x 10 ⁻¹¹	3,66 x 10 ⁻¹¹	
P15	7,98 x 10 ⁻²	1,86 x 10 ⁻¹	1,32 x 10 ⁻⁵	3,09 x 10 ⁻⁵	2,41 x 10 ⁻¹¹	4,33 x 10 ⁻¹¹	
P16	2,35 x 10 ⁻²	5,50 x 10 ⁻²	3,91 x 10 ⁻⁶	9,13 x 10 ⁻⁵	7,12 x 10 ⁻¹²	1,27 x 10 ⁻¹¹	
P17	8,14 x 10 ⁻²	1,89 x 10 ⁻¹	1,35 x 10 ⁻⁵	3,15 x 10 ⁻⁵	2,46 x 10 ⁻¹¹	4,41 x 10 ⁻¹¹	
P18	4,43 x 10 ⁻²	1,03 x 10 ⁻¹	7,36 x 10 ⁻⁶	1,71 x 10 ⁻⁵	1,34 x 10 ⁻¹¹	2,40 x 10 ⁻¹¹	
P19	9,27 x 10 ⁻²	2,16 x 10 ⁻¹	1,53 x 10 ⁻⁵	3,59 x 10 ⁻⁵	2,80 x 10 ⁻¹¹	5,03 x 10 ⁻¹¹	
P20	1,32 x 10 ⁻¹	3,10 x 10 ⁻¹	2,20 x 10 ⁻⁵	5,15 x 10 ⁻⁵	4,02 x 10 ⁻¹¹	7,21 x 10 ⁻¹¹	
Eaux de surfaces (les oueds)							
S1	1,16 x 10 ⁻¹	2,71 x 10 ⁻¹	1,93 x 10 ⁻⁵	4,50 x 10 ⁻⁵	3,51 x 10 ⁻¹¹	6,31 x 10 ⁻¹¹	
S2	2,47 x 10 ⁻¹	5,78 x 10 ⁻¹	4,11 x 10 ⁻⁵	9,61 x 10 ⁻⁵	7,49 x 10 ⁻¹¹	1,34 x 10 ⁻¹⁰	
S3	1,78 x 10 ⁻¹	4,15 x 10 ⁻¹	2,95 x 10 ⁻⁵	6,90 x 10 ⁻⁵	5,38 x 10 ⁻¹¹	9,67 x 10 ⁻¹¹	
S4	2,09 x 10 ⁻¹	4,89 x 10 ⁻¹	3,48 x 10 ⁻⁵	8,13 x 10 ⁻⁵	6,34 x 10 ⁻¹¹	1,13 x 10 ⁻¹⁰	
S5	1,71 x 10 ⁻¹	4,00 x 10 ⁻¹	2,85 x 10 ⁻⁵	6,65 x 10 ⁻⁵	5,18 x 10 ⁻¹¹	9,31 x 10 ⁻¹¹	
S6	1,18 x 10 ⁻¹	2,77 x 10 ⁻¹	1,97 x 10 ⁻⁵	4,60 x 10 ⁻⁵	3,59 x 10 ⁻¹¹	6,44 x 10 ⁻¹¹	
S7	2,14 x 10 ⁻¹	5,00 x 10 ⁻¹	3,56 x 10 ⁻⁵	8,31 x 10 ⁻⁵	6,49 x 10 ⁻¹¹	1,16 x 10 ⁻¹⁰	
S8	2,45 x 10 ⁻¹	5,72 x 10 ⁻¹	4,07 x 10 ⁻⁵	9,51 x 10 ⁻⁵	7,42 x 10 ⁻¹¹	1,33 x 10 ⁻¹⁰	
S9	8,41 x 10 ⁻¹	1,96	1,39 x 10 ⁻⁴	3,26 x 10 ⁻⁴	2,54 x 10 ⁻¹⁰	4,56 x 10 ⁻¹⁰	
S10	9,01 x 10 ⁻¹	2,10	1,49 x 10 ⁻⁴	3,49 x 10 ⁻⁴	2,72 x 10 ⁻¹⁰	4,89 x 10 ⁻¹⁰	

Tableau : Dose de référence HQ (risque non cancerogène)

Unité		$\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$				
RISK NON CANCIREGENE $\text{HQ} = \frac{\text{exp}}{\text{Rfd}}$			HQ : dose de référence			
			Rfd : référence facteur de dose			
ETM	Cd					
Voie d'exposition	Ingestion		Cutané		Inhalation	
Type de population Exposée	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Nature de l'eau Contaminée	Eaux souterraines (les puits)					
P1	$3,64 \times 10^{-1}$	$8,5 \times 10^{-1}$	$1,51 \times 10^{-4}$	$3,53 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-10}$	$1,97 \times 10^{-10}$
P2	$7,72 \times 10^{-2}$	$1,80 \times 10^{-1}$	$3,21 \times 10^{-5}$	$7,45 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-11}$	$4,18 \times 10^{-11}$
P3	$8,48 \times 10^{-2}$	$1,98 \times 10^{-1}$	$3,52 \times 10^{-5}$	$8,2 \times 10^{-5}$	$2,56 \times 10^{-11}$	$4,6 \times 10^{-11}$
P4	$6,16 \times 10^{-2}$	$1,43 \times 10^{-1}$	$2,55 \times 10^{-5}$	$5,95 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-11}$	$3,34 \times 10^{-11}$
P5	$2,86 \times 10^{-1}$	$6,68 \times 10^{-1}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$2,77 \times 10^{-4}$	$8,66 \times 10^{-11}$	$1,55 \times 10^{-10}$
P6	$2,94 \times 10^{-2}$	$6,88 \times 10^{-2}$	$1,22 \times 10^{-5}$	$2,86 \times 10^{-5}$	$8,92 \times 10^{-12}$	$1,60 \times 10^{-11}$
P7	$3,26 \times 10^{-1}$	$7,64 \times 10^{-1}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$3,17 \times 10^{-4}$	$9,9 \times 10^{-11}$	$1,77 \times 10^{-10}$
P8	$3,12 \times 10^{-1}$	$7,12 \times 10^{-1}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$3,03 \times 10^{-4}$	$9,46 \times 10^{-11}$	$1,69 \times 10^{-10}$
P9	$4,14 \times 10^{-1}$	$9,68 \times 10^{-1}$	$1,72 \times 10^{-4}$	$4,02 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-10}$	$2,24 \times 10^{-10}$
P10	$1,69 \times 10^{-1}$	$3,94 \times 10^{-1}$	$7,00 \times 10^{-5}$	$1,63 \times 10^{-4}$	$5,1 \times 10^{-11}$	$9,16 \times 10^{-11}$
P11	$1,21 \times 10^{-1}$	$2,84 \times 10^{-1}$	$5,05 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$3,68 \times 10^{-11}$	$6,6 \times 10^{-11}$
P12	$1,36 \times 10^{-1}$	$3,18 \times 10^{-1}$	$5,65 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-4}$	$4,12 \times 10^{-11}$	$7,4 \times 10^{-11}$
P13	$2,58 \times 10^{-1}$	$6,04 \times 10^{-1}$	$1,07 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$7,82 \times 10^{-11}$	$1,40 \times 10^{-10}$
P14	$2,66 \times 10^{-1}$	$6,24 \times 10^{-1}$	$1,11 \times 10^{-4}$	$2,59 \times 10^{-4}$	$8,08 \times 10^{-11}$	$1,45 \times 10^{-10}$
P15	$3,3 \times 10^{-1}$	$7,7 \times 10^{-1}$	$1,37 \times 10^{-4}$	$3,19 \times 10^{-4}$	$9,96 \times 10^{-11}$	$1,79 \times 10^{-10}$
P16	$1,46 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^{-1}$	$6,05 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-4}$	$4,42 \times 10^{-11}$	$7,94 \times 10^{-11}$
P17	$3,58 \times 10^{-1}$	$8,36 \times 10^{-1}$	$1,49 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-10}$	$1,94 \times 10^{-10}$
P18	$2,64 \times 10^{-1}$	$6,20 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-4}$	$8,04 \times 10^{-11}$	$1,44 \times 10^{-10}$
P19	$4,6 \times 10^{-1}$	$7,2 \times 10^{-2}$	$1,91 \times 10^{-4}$	$4,45 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-10}$	$2,48 \times 10^{-10}$
P20	$4,26 \times 10^{-1}$	$9,94 \times 10^{-1}$	$1,76 \times 10^{-4}$	$4,12 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-10}$	$2,3 \times 10^{-10}$
HI($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$)	4,89	10,41	$2,03 \times 10^{-3}$	$3,87 \times 10^{-3}$	$1,48 \times 10^{-9}$	$2,65 \times 10^{-9}$
Eaux de surfaces (les oueds)						
S1	$4,18 \times 10^{-1}$	$9,78 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-4}$	$4,06 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-10}$	$2,26 \times 10^{-10}$
S2	$5,38 \times 10^{-1}$	1,25	$2,24 \times 10^{-4}$	$5,20 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-10}$	$2,92 \times 10^{-10}$
S3	$4,26 \times 10^{-1}$	$9,94 \times 10^{-1}$	$1,76 \times 10^{-4}$	$4,12 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-10}$	$2,30 \times 10^{-10}$
S4	$4,94 \times 10^{-1}$	1,15	$2,05 \times 10^{-4}$	$4,79 \times 10^{-4}$	$1,49 \times 10^{-10}$	$2,68 \times 10^{-10}$
S5	$4,04 \times 10^{-1}$	$9,46 \times 10^{-1}$	$1,68 \times 10^{-4}$	$3,92 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-10}$	$2,20 \times 10^{-10}$
S6	$4,54 \times 10^{-1}$	1,06	$1,88 \times 10^{-4}$	$4,40 \times 10^{-4}$	$1,37 \times 10^{-10}$	$2,46 \times 10^{-10}$
S7	$6,36 \times 10^{-1}$	1,48	$2,64 \times 10^{-4}$	$6,15 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-10}$	$3,44 \times 10^{-10}$
S8	$9,84 \times 10^{-1}$	2,28	$4,08 \times 10^{-4}$	$9,50 \times 10^{-4}$	$2,96 \times 10^{-10}$	$5,34 \times 10^{-10}$
S9	2,90	6,78	$1,20 \times 10^{-3}$	$2,82 \times 10^{-3}$	$8,8 \times 10^{-10}$	$1,58 \times 10^{-9}$
S10	3,60	8,40	$1,49 \times 10^{-3}$	$3,49 \times 10^{-3}$	$1,08 \times 10^{-9}$	$1,95 \times 10^{-9}$
HI($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$)	10,85	25,32	$4,50 \times 10^{-3}$	0,0105	$3,27 \times 10^{-3}$	$5,89 \times 10^{-3}$

Unité	kg/jour					
RISK NON CANCIREGENE			HQ : dose de référence			
HQ = $\frac{exp}{Rfd}$			Rfd : référence facteur de dose			
ETM	Cr					
Voie d'exposition	Ingestion		Cutané		Inhalation	
Type de population Exposée	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Nature de l'eau Contaminée	Eaux souterraines (les puits)					
P1	4,9 x 10 ⁻¹	1,14	1,35 x 10 ⁻⁴	3,16 x 10 ⁻⁴	2,47 x 10 ⁻¹¹	4,43 x 10 ⁻¹¹
P2	1,1 x 10 ⁻¹	2,56 x 10 ⁻¹	3,04 x 10 ⁻⁵	7,1 x 10 ⁻⁵	5,53 x 10 ⁻¹²	9,93 x 10 ⁻¹²
P3	7,6 x 10 ⁻²	1,77 x 10 ⁻¹	2,10 x 10 ⁻⁵	4,9 x 10 ⁻⁵	3,83 x 10 ⁻¹²	6,86 x 10 ⁻¹²
P4	8,04 x 10 ⁻²	1,87 x 10 ⁻¹	2,22 x 10 ⁻⁵	5,16 x 10 ⁻⁵	4,03 x 10 ⁻¹²	7,26 x 10 ⁻¹²
P5	1,33 x 10 ⁻¹	3,12 x 10 ⁻¹	3,70 x 10 ⁻⁵	8,63 x 10 ⁻⁵	6,73 x 10 ⁻¹²	1,21 x 10 ⁻¹¹
P6	4,9 x 10 ⁻²	1,14 x 10 ⁻¹	1,35 x 10 ⁻⁵	3,16 x 10 ⁻⁵	2,47 x 10 ⁻¹²	4,43 x 10 ⁻¹²
P7	2,22 x 10 ⁻¹	5,18 x 10 ⁻¹	6,13 x 10 ⁻⁵	1,43 x 10 ⁻⁴	1,12 x 10 ⁻¹¹	2,01 x 10 ⁻¹¹
P8	2,18 x 10 ⁻¹	5,08 x 10 ⁻¹	6,03 x 10 ⁻⁵	1,40 x 10 ⁻⁴	1,09 x 10 ⁻¹¹	1,97 x 10 ⁻¹¹
P9	2,14 x 10 ⁻¹	0,5	5,93 x 10 ⁻⁵	1,38 x 10 ⁻⁴	1,08 x 10 ⁻¹¹	1,94 x 10 ⁻¹¹
P10	8,54 x 10 ⁻²	1,99 x 10 ⁻¹	2,36 x 10 ⁻⁵	5,5 x 10 ⁻⁵	4,23 x 10 ⁻¹²	7,73 x 10 ⁻¹²
P11	4,9 x 10 ⁻²	1,14 x 10 ⁻¹	1,35 x 10 ⁻⁵	3,16 x 10 ⁻⁵	2,47 x 10 ⁻¹²	4,43 x 10 ⁻¹²
P12	5,2 x 10 ⁻²	1,21 x 10 ⁻¹	1,44 x 10 ⁻⁵	3,36 x 10 ⁻⁵	2,62 x 10 ⁻¹²	4,7 x 10 ⁻¹²
P13	1,56 x 10 ⁻¹	3,64 x 10 ⁻¹	4,3 x 10 ⁻⁵	1,01 x 10 ⁻⁴	7,86 x 10 ⁻¹²	1,41 x 10 ⁻¹¹
P14	1,35 x 10 ⁻¹	3,14 x 10 ⁻¹	3,73 x 10 ⁻⁵	8,7 x 10 ⁻⁵	6,8 x 10 ⁻¹²	1,22 x 10 ⁻¹¹
P15	1,59 x 10 ⁻¹	3,72 x 10 ⁻¹	4,4 x 10 ⁻⁵	1,03 x 10 ⁻⁴	8,03 x 10 ⁻¹²	1,44 x 10 ⁻¹¹
P16	4,7 x 10 ⁻²	1,1 x 10 ⁻¹	1,30 x 10 ⁻⁵	3,04 x 10 ⁻⁵	2,37 x 10 ⁻¹²	4,23 x 10 ⁻¹²
P17	1,62 x 10 ⁻¹	3,78 x 10 ⁻¹	4,5 x 10 ⁻⁵	1,05 x 10 ⁻⁴	8,2 x 10 ⁻¹²	1,47 x 10 ⁻¹¹
P18	8,86 x 10 ⁻²	2,06 x 10 ⁻¹	2,45 x 10 ⁻⁵	5,7 x 10 ⁻⁵	4,46 x 10 ⁻¹²	8,00 x 10 ⁻¹²
P19	1,85 x 10 ⁻¹	4,32 x 10 ⁻¹	5,1 x 10 ⁻⁵	1,19 x 10 ⁻⁴	9,33 x 10 ⁻¹²	1,67 x 10 ⁻¹¹
P20	2,64 x 10 ⁻¹	6,2 x 10 ⁻¹	7,33 x 10 ⁻⁵	1,71 x 10 ⁻⁴	1,34 x 10 ⁻¹¹	2,40 x 10 ⁻¹¹
HI(µg/kg/jour)	2,98	6,94	8,23×10 ⁻⁴	1,92×10 ⁻³	1,50×10 ⁻¹⁰	2,70×10 ⁻¹⁰
Eaux de surfaces (les oueds)						
S1	2,32 x 10 ⁻¹	5,42 x 10 ⁻¹	6,43 x 10 ⁻⁵	1,50 x 10 ⁻⁴	1,17 x 10 ⁻¹¹	2,10 x 10 ⁻¹¹
S2	4,94 x 10 ⁻¹	1,15	1,37 x 10 ⁻⁵	3,20 x 10 ⁻⁴	2,48 x 10 ⁻¹¹	4,46 x 10 ⁻¹¹
S3	3,56 x 10 ⁻¹	8,3 x 10 ⁻¹	9,83 x 10 ⁻⁵	2,30 x 10 ⁻⁴	1,79 x 10 ⁻¹¹	3,22 x 10 ⁻¹¹
S4	9,78 x 10 ⁻¹	9,78 x 10 ⁻¹	1,16 x 10 ⁻⁴	2,71 x 10 ⁻⁴	2,11 x 10 ⁻¹¹	3,76 x 10 ⁻¹¹
S5	8,00 x 10 ⁻¹	0,8	9,50 x 10 ⁻⁵	2,21 x 10 ⁻⁴	1,72 x 10 ⁻¹¹	3,10 x 10 ⁻¹¹
S6	5,54 x 10 ⁻¹	5,54	6,56 x 10 ⁻⁵	1,53 x 10 ⁻⁴	1,19 x 10 ⁻¹¹	2,14 x 10 ⁻¹¹
S7	1,00 x 10 ⁻¹	1	1,18 x 10 ⁻⁴	2,77 x 10 ⁻⁴	2,16 x 10 ⁻¹¹	3,86 x 10 ⁻¹¹
S8	4,90 x 10 ⁻¹	1,14	1,35 x 10 ⁻⁴	3,17 x 10 ⁻⁴	2,47 x 10 ⁻¹¹	4,43 x 10 ⁻¹¹
S9	1,68	3,92	4,63 x 10 ⁻⁴	1,08 x 10 ⁻³	8,46 x 10 ⁻¹¹	1,52 x 10 ⁻¹⁰
S10	1,80	4,20	4,96 x 10 ⁻⁴	1,16 x 10 ⁻³	9,06 x 10 ⁻¹¹	1,63 x 10 ⁻¹⁰
HI(µg/kg/jour)	7,51	20,1	1,66×10⁻³	4,15×10⁻³	3,26×10⁻¹⁰	5,86×10⁻¹⁰

Unité		$\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$					
RISK NON CANCIREGENE			HQ : dose de référence				
HQ = $\frac{exp}{Rfd}$			Rfd : référence facteur de dose				
ETM		Pb					
Voie d'exposition		Ingestion		Cutané		Inhalation	
Type de population Exposée		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
Nature de l'eau Contaminée		Eaux souterraines (les puits)					
P1	$2,14 \times 10^{-1}$	5×10^{-1}	$1,18 \times 10^{-4}$	$2,76 \times 10^{-4}$	$6,48 \times 10^{-12}$	$1,16 \times 10^{-11}$	
P2	$1,84 \times 10^{-1}$	$4,31 \times 10^{-1}$	$1,02 \times 10^{-4}$	$2,38 \times 10^{-4}$	$5,59 \times 10^{-12}$	$1,00 \times 10^{-11}$	
P3	$7,71 \times 10^{-2}$	$1,80 \times 10^{-1}$	$4,28 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$2,34 \times 10^{-12}$	$4,21 \times 10^{-12}$	
P4	$5,57 \times 10^{-2}$	$1,30 \times 10^{-1}$	$3,09 \times 10^{-5}$	$7,23 \times 10^{-5}$	$1,69 \times 10^{-12}$	$3,04 \times 10^{-12}$	
P5	$1,76 \times 10^{-1}$	$4,12 \times 10^{-1}$	$9,76 \times 10^{-5}$	$2,28 \times 10^{-4}$	$2,19 \times 10^{-12}$	$9,57 \times 10^{-12}$	
P6	8×10^{-2}	$1,87 \times 10^{-1}$	$4,45 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-4}$	$2,43 \times 10^{-12}$	$4,37 \times 10^{-12}$	
P7	$1,65 \times 10^{-1}$	$3,86 \times 10^{-1}$	$9,16 \times 10^{-5}$	$2,13 \times 10^{-4}$	$5,00 \times 10^{-12}$	$8,92 \times 10^{-12}$	
P8	$1,63 \times 10^{-1}$	$3,81 \times 10^{-1}$	$9,04 \times 10^{-5}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$4,94 \times 10^{-12}$	$8,85 \times 10^{-12}$	
P9	$1,82 \times 10^{-1}$	$4,27 \times 10^{-1}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$2,36 \times 10^{-4}$	$5,54 \times 10^{-12}$	$9,92 \times 10^{-12}$	
P10	$9,35 \times 10^{-2}$	$2,19 \times 10^{-1}$	$5,19 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$2,84 \times 10^{-12}$	$5,1 \times 10^{-12}$	
P11	$7,57 \times 10^{-2}$	$1,76 \times 10^{-1}$	$4,19 \times 10^{-5}$	$9,78 \times 10^{-5}$	$2,29 \times 10^{-12}$	$4,11 \times 10^{-12}$	
P12	$1,02 \times 10^{-1}$	$2,39 \times 10^{-1}$	$5,69 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-4}$	$3,10 \times 10^{-12}$	$5,57 \times 10^{-12}$	
P13	$2,09 \times 10^{-1}$	$4,89 \times 10^{-1}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$2,69 \times 10^{-4}$	$6,34 \times 10^{-12}$	$1,13 \times 10^{-11}$	
P14	$2,39 \times 10^{-1}$	$5,58 \times 10^{-1}$	$1,32 \times 10^{-4}$	$3,07 \times 10^{-4}$	$7,21 \times 10^{-12}$	$1,3 \times 10^{-11}$	
P15	$2,60 \times 10^{-1}$	$6,08 \times 10^{-1}$	$1,44 \times 10^{-4}$	$3,35 \times 10^{-4}$	$7,85 \times 10^{-12}$	$1,41 \times 10^{-11}$	
P16	1×10^{-1}	$2,33 \times 10^{-1}$	$5,54 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$3,02 \times 10^{-12}$	$5,44 \times 10^{-12}$	
P17	$2,76 \times 10^{-1}$	$6,45 \times 10^{-1}$	$1,53 \times 10^{-4}$	$3,57 \times 10^{-4}$	$8,35 \times 10^{-12}$	$1,5 \times 10^{-11}$	
P18	$1,67 \times 10^{-1}$	$3,91 \times 10^{-1}$	$9,28 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-4}$	$5,07 \times 10^{-12}$	$9,07 \times 10^{-12}$	
P19	$2,68 \times 10^{-1}$	$6,33 \times 10^{-1}$	$1,48 \times 10^{-4}$	$3,45 \times 10^{-4}$	$8,07 \times 10^{-12}$	$1,45 \times 10^{-11}$	
P20	$2,79 \times 10^{-1}$	$6,52 \times 10^{-1}$	$1,54 \times 10^{-4}$	$3,59 \times 10^{-4}$	$8,42 \times 10^{-12}$	$1,51 \times 10^{-11}$	
HI($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$)	3,37	6,22	$1,81 \times 10^{-3}$	$4,35 \times 10^{-3}$	$9,88 \times 10^{-11}$	$1,83 \times 10^{-10}$	
Eaux de surfaces (les oueds)							
S1	$3,26 \times 10^{-1}$	$7,57 \times 10^{-1}$	$1,80 \times 10^{-4}$	$4,21 \times 10^{-4}$	$9,85 \times 10^{-12}$	$1,77 \times 10^{-11}$	
S2	$2,79 \times 10^{-1}$	$6,52 \times 10^{-1}$	$1,54 \times 10^{-4}$	$3,59 \times 10^{-4}$	$8,42 \times 10^{-12}$	$1,51 \times 10^{-11}$	
S3	$2,99 \times 10^{-1}$	$6,99 \times 10^{-1}$	$1,65 \times 10^{-4}$	$3,85 \times 10^{-4}$	$9,00 \times 10^{-12}$	$1,62 \times 10^{-11}$	
S4	$2,13 \times 10^{-1}$	$4,99 \times 10^{-1}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$2,76 \times 10^{-4}$	$6,47 \times 10^{-12}$	$1,15 \times 10^{-11}$	
S5	$2,34 \times 10^{-1}$	$5,47 \times 10^{-1}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$3,02 \times 10^{-4}$	$7,09 \times 10^{-12}$	$1,27 \times 10^{-11}$	
S6	1,52	3,55	$8,42 \times 10^{-4}$	$1,96 \times 10^{-3}$	$4,60 \times 10^{-11}$	$8,21 \times 10^{-11}$	
S7	1,23	2,89	$6,85 \times 10^{-4}$	$1,60 \times 10^{-3}$	$3,75 \times 10^{-11}$	$6,74 \times 10^{-11}$	
S8	2,31	5,40	$1,28 \times 10^{-3}$	$2,97 \times 10^{-3}$	$7,00 \times 10^{-11}$	$1,25 \times 10^{-10}$	
S9	2,71	6,34	$1,50 \times 10^{-3}$	$3,50 \times 10^{-3}$	$8,21 \times 10^{-11}$	$1,47 \times 10^{-10}$	
S10	3,01	7,04	$1,67 \times 10^{-3}$	$3,88 \times 10^{-3}$	$9,07 \times 10^{-11}$	$1,63 \times 10^{-10}$	
HI($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jour}$)	12,13	28,37	$6,72 \times 10^{-3}$	0,015653	$3,67 \times 10^{-10}$	$6,58 \times 10^{-10}$	

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de la contribution à l'étude des risques des métaux lourds tels que le (Pb, Cd, Cr) sur la santé humaine des eaux souterraines dans le bassin versant de la basse Soummam par la détermination de la concentration de ces métaux lourds dans les eaux de souterraines et de surfaces (20 sites ciblés pour les eaux souterraines et 10 pour les eaux de surfaces)

Les résultats obtenus sur l'exposition d'ingestion, dermique et inhalation et le dosage de référence HQ et par l'indice de référence HI montre que la concentration dans les eaux de souterraine $Cd > Pb > Cr$ qui veut dire que le Cadmium a un risque cancérigène considérable par rapport aux autres métaux lourds et dans les eaux de surfaces $Pb > Cd > Cr$ qui veut dire que le Plomb a un risque cancérigène considérable par rapport aux autres métaux lourds. Ces résultats obtenus de dosage de références HQ seront projeté sur des cartes de risque pour chaque métal par différents expositions (ingestion, cutané, inhalation) et différents populations (Adulte et enfant)

Grâce à ces cartes on résulte que la contamination par les métaux lourds (Pb, Cd, Cr) se localise dans l'oued Soummam de Akbou jusqu'à Bejaia donc il est très vulnérable à la pollution cela est due à l'emplacement de plusieurs entreprises ainsi que trafic routier.

Mot clés : métaux lourds, santé, risque cancérigène, eaux souterraines, eaux surfaces, bassin versant de la basse Soummam, vulnérable, carte de risque.

Abstract

The main objective of this study is the contribution to the study of the risks of heavy metals such as the (Pb, Cd, Cr) on the human health of groundwater in the bass bassin of the bass soummam by the determination of the Concentration of heavy metal in the waters of underground and surfaces (20 targeted sites for groundwater and 10 for surface waters)

The results obtained on the ingestion, dermal and inhalation exposure and the HQ reference assay and by the reference index HI shows that the concentration in the groundwater $Cd > Pb > Cr$ which means that the cadmium has a Considerable carcinogen risk compared to other heavy metals and in the surface waters $Pb > Cd > Cr$ which means that lead has a considerable carcinogenic risk compared to other heavy metals. These results obtained from HQ reference assays will be projected on risk cards for each metal by various exposures (ingestion, skin, inhalation) and different populations (adult and child)

Thanks to these cards are the result that the contamination by heavy metals (Pb, Cd, Cr) is located in the wadi soummam of Akbou until Bejaia so it is more vulnerable to pollution this is due to the location of several companies as well as road traffic.

Keywords: heavy metals, health, carcinogenic risk, groundwater, surface water, bass watershed, vulnerable, risk card.