

CHAPITRE VI :
CARTOGRAPHIE DE LA POLLUTION

VI. I. Introduction

Pour cartographie la pollution métallique dans la plaine de l'Oued Zied, l'utilisation des indices de la qualité des eaux et son impact sur l'homme et l'environnement, est une approche très pratique. Cette dernière permet de faire la synthèse de données complexes de l'eau et faciliter la présentation des résultats de traitement de ces données sous forme de cartes de répartition sectorielle.

Dans ce cadre, deux méthodes sont utilisées : La première concerne l'impact direct de la décharge de Berka Zega sur les eaux ; elle se base sur l'indice de la pollution des eaux par la décharge (LWPI). La deuxième, réalisée pour l'ensemble de la plaine, consiste à l'évaluation détaillée de risque de la charge métallique (EDR) sur la santé des consommateurs de l'eau souterraine pour calculer l'indice de risque (IR).

VI. 2. Indice de pollution des eaux par la décharge (LWPI)

VI. 2. 1. Présentation de l'indice

L'indice de la qualité de l'eau (WQI : de l'Anglais Water Quality Index) est utilisé pour déterminer l'influence d'une décharge sur la qualité de l'eau. La nouvelle formulation de cet indice est l'indice de pollution des eaux par la décharge (LWPI de l'Anglais Landfill Water Pollution Index) (Gibrilla A., et al., 2011, Alobaidy AHMJ., et al., 2010). LWPI est calculé suivant l'équation ci-dessous (Talalaj IA., 2014) :

$$LWPI = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i * S_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Où, - w_i est le poids du ième polluant du lixiviat,

- n est le nombre de polluants analysés dans le lixiviat,

- S_i est le poids du sous-indice du ième polluant du lixiviat. S_i est donné par

l'Équation ci-dessous :

$$S_i = \frac{C_{pi}}{C_{bi}}$$

C_{pi} est la concentration du ième paramètre dans chaque échantillon d'eau polluée et C_{bi} est la concentration du ième paramètre de l'échantillon en amont des eaux polluées (Last S., et al., 1984). Pour le pH, S_i est calculé en plaçant au dénominateur la valeur la plus petite du pH :

$$S_i = \frac{C_p}{C_b} \quad \text{si } C_b < C_p$$

$$S_i = \frac{C_b}{C_p} \quad \text{si } C_p < C_b$$

Les valeurs des poids W_i des éléments métalliques d'une décharge ont été calculées pour huit (8) paramètres selon le Ministère de la Régulation de l'Environnement concernant les décharges en Pologne (Regulation of Minister of Environment concerning landfill 2013) (Sawyer C., et al., 1967). La régulation des valeurs du poids pour analyser ces paramètres résulte des travaux et des analyses pris en considération par plusieurs auteurs (OMS., 2004, Richards LA., 1954). Le poids (de) trois (3) est affecté aux ETM parce qu'il n'y a pas fréquemment des problèmes de pollution métallique des eaux dus aux décharges (OMS., 2004, Suarez D., 2006). Le poids 2 est affecté au pH car les faibles valeurs du pH peuvent provenir d'autres sources de pollution et non de la décharge (effluents domestiques, les engrais, les cours d'eau etc.). L'interprétation des valeurs de LWPI est donnée dans le Tableau 39.

Tableau 39 : Classes de la qualité de l'eau selon les valeurs de l'indice de pollution des eaux par les décharges (LWPI). (Last S., et al., 1993)

LWPI	Interpretation
$LWPI \leq 0,77$	Eau non polluée
$0,77 < LWPI \leq 1,53$	Eau modérément polluée, subissant un faible impact de la décharge
$1,53 < LWPI \leq 3,83$	Eau polluée avec un impact visible de la décharge
$LWPI > 3,83$	Eau fortement polluée, fort impact de la décharge

VI. 2. 2. Résultats obtenus

L'indice de pollution des eaux par la décharge LWPI a été déterminé dans les puits proches de la décharge et dans la plaine de l'Oued Zied (Tab.39, 40). Les points d'eau qui se situent aux alentours de l'ancienne décharge affichent des valeurs LWPI entre ($1,53 < LWPI \leq 3,83$) ce qui représente un nombre de 14 échantillons et un pourcentage élevé des points analysés 70%. Ces valeurs suggèrent que les eaux sont polluées et subissent un impact significatif des lixiviats (Christensen TH., et al., 2001).

Tableau 40 : Classification de la qualité de l'eau selon les valeurs de l'indice de pollution des eaux par la décharge de Berka Zerga (LWPI). (Last S., et al., 1993)

LWPI	$LWPI \leq 0,77$	$0,77 < LWPI \leq 1,53$	$1,53 < LWPI \leq 3,83$	$LWPI > 3,83$
Interprétation	Eau non polluée	Eau modérément polluée, subissant un faible impact de la décharge	Eau polluée avec un impact visible de la décharge	Eau fortement polluée, fort impact de la décharge
Points	1	5	14	0
Pourcentage %	5%	25%	70%	0%

L'atténuation de l'influence du lixiviat sur les eaux des puits au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la décharge est remarquée, ce qui représente un pourcentage de 30%. Les valeurs de LWPI obtenues pour les eaux de la plaine de l'Oued Zied montre que les eaux collectées à ces puits sont modérément polluées et subissent un faible impact de la décharge ($0,66 < LWPI \leq 1,53$). On note un pourcentage nul des eaux fortement polluée par les lixiviat.

La figure 107 montre la distribution spatiale des valeurs du LWPI basée sur les échantillons des eaux des puits de la plaine ainsi que les eaux de l'Oued Zied. Les résultats de l'indice démontrent que la décharge de Berka Zerga influence significativement la contamination métallique des eaux des puits échantillonnés et que cette influence s'atténue progressivement en s'éloignant de la décharge. Concernant les eaux de l'Oued Zied (P16) on remarque que malgré l'éloignement de ce point par rapport au site de la décharge, nous avons obtenu une forte valeur du LWPI, cela s'explique par le fait des percolations des eaux superficielles dans des secteurs pollués, où l'opération de saturation des eaux en éléments en traces métalliques se fait durant la période pluvieuse avec une convection directe de la charge polluante.

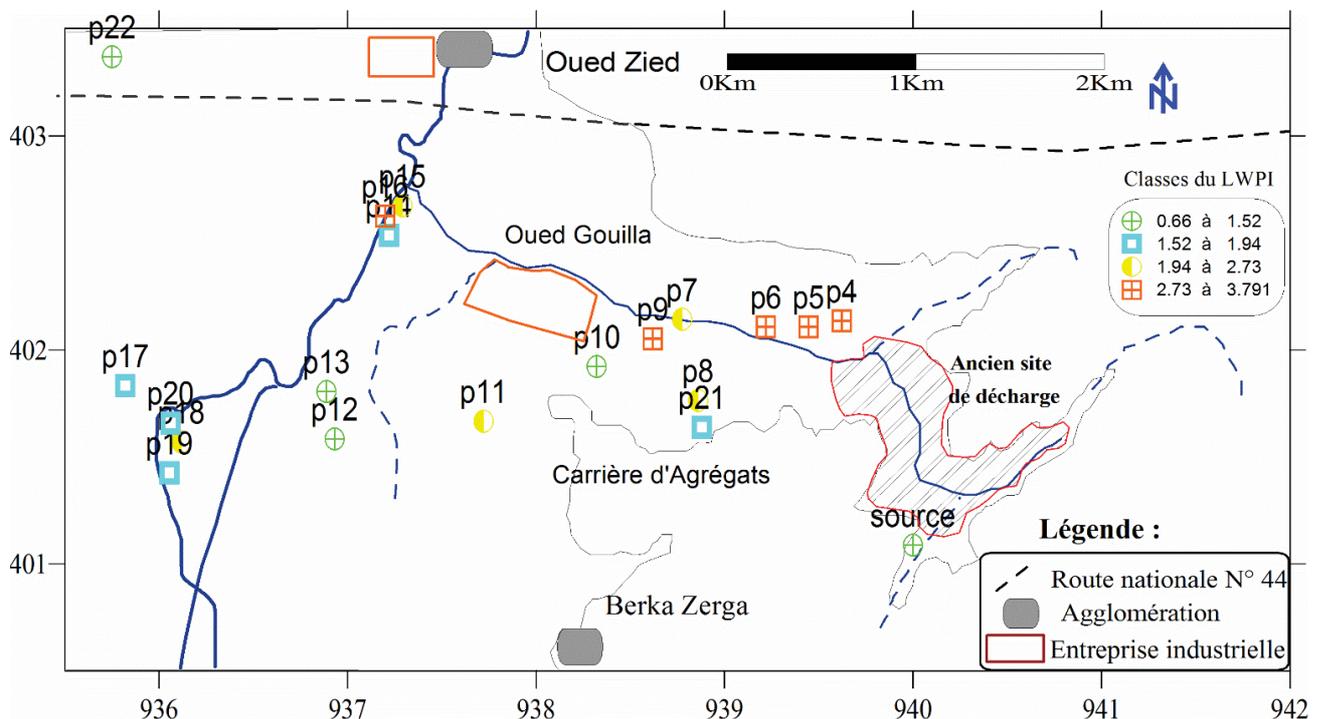


Figure 107 : répartition de la qualité de l'eau selon les valeurs de l'indice de pollution des eaux par la décharge de Berka Zerga LWPI (Juin 2012).

VI. 3. Utilisation de l'Indice de Risque (IR)

VI. 3. 1. Evaluation du risque (EDR) sur la santé

La notion de risque fait appel à celle de nuisance. Une nuisance est tout ce qui fait du tort, qui agresse et qui perturbe. C'est un produit ou un phénomène susceptible d'agresser l'homme et la nature en général (la flore et la faune) et d'altérer leur équilibre.

Bien que le terme nuisance soit surtout utilisé pour les produits chimiques et certains phénomènes physiques, il est possible d'affirmer qu'une nuisance engendre un risque lorsqu'elle atteint un certain seuil insupportable par l'organisme humain.

Sur la base des résultats d'analyses de notre travail, on va essayer, d'une part, de mettre en relief la toxicité des E.T.M., d'autre part de quantifier le risque de leur pollution.

L'étude de risque a pour objectif :

- D'identifier les différents types de risques qui peuvent découler de la pollution.
- De quantifier ces risques.
- De définir les buts de réhabilitation pour mettre en conformité le site avec la réglementation sur l'environnement.
- De déterminer les actions qui vont réduire le risque pour le rendre acceptable.

VI. 3. 1. La toxicité des métaux lourds

VI. 3. 1. 1. Le Chrome (Cr)

VI. 3. 1. 1. 1. Impact sur l'environnement

Le chrome existe principalement dans la nature sous forme de dérivées. Le principal minerai est le chrome de fer ou chromite. Le chrome pur est obtenu par réaction d'aluminium et d'oxydes (III) de chrome (aluminothermie) par électrolyse ou à partir d'iodure de chrome.

Le chrome est utilisé comme catalyseur dans la synthèse de l'ammoniac, dans la fabrication d'aciers chromés, d'aciers de fabrication, d'aciers inoxydables et d'alliages ainsi que pour chromage galvanique. Des complexes organiques sont utilisés comme colorant de développement dans la photographie couleur. Les dérivées inorganiques du chrome sont utilisées comme pigments. Les sels de chrome (VI) connaissent une très large utilisation dans les produits de conservation du bois et la tannerie.

Les quantités de chrome détectées dans l'hydrosphère, la pédosphère, l'atmosphère et la biosphère sont liées pour l'essentiel à des émissions d'origine industrielle.

Les déchets contenant du chrome sont considérés comme problématiques en raison de leur comportement dans les couches profondes du sol lorsqu'ils sont stockés dans des décharges. En milieu alcalin, on estime que la stabilité des chromes peut atteindre 50 ans, et qu'ils peuvent migrer vers les nappes aquifères, même au travers des sols cohérents. La combustion des boues contenant des composants chromiques doit être évitée en raison du risque de formation de chromâtes.

VI. 3. 1. 1. 2. Impact sur la santé

Il existe deux formes du chrome (trivalent et hexavalent). Le chrome métal et le chrome trivalent ne sont pas toxiques. Le chrome hexavalent qui entraîne des inflammations muqueuses et des ulcères est cancérigène. On note également le risque de cancer important pour les embryons et les fœtus concernant le chrome VI. Les intoxications chromiques peuvent entraîner des altérations du tube gastro-intestinal. Le composé peut s'accumuler dans le foie, les reins, la glande thyroïde et dans la moelle osseuse.

VI. 3. 1. 2. Le Plomb (Pb)

Le plomb est un élément chimique dense et ductile. Il est généralement associé au zinc dont le minerai est appelé « galène ».

D'importantes quantités du plomb sont utilisées dans les batteries et dans les gaines des câbles électriques, ainsi que dans l'industrie pour garnir les conduites, les réservoirs et les dispositifs à rayons X. Il est utilisé aussi comme adjuvant dans les essences.

VI. 3. 1. 2. 1 Impact sur la santé

Le plomb est introduit dans le corps sous quelques formes reste très toxique. Ses effets se font généralement sentir après une période d'accumulation du métal dans l'organisme.

Les enfants sont particulièrement exposés à l'intoxication, même pour des concentrations minimales, le plomb peut retarder le développement moteur, altérer la mémoire et provoquer des problèmes d'audition et des troubles de l'équilibre. L'empoisonnement par le plomb se manifeste par l'anémie, la faiblesse, la constipation, la colique et la paralysie, en particulier des poignets et des chevilles.

VI. 3. 1. 3. Le Fer total (Fe)

Le fer est le métal le plus largement utilisé par l'industrie métallurgique (fontes, aciers,...).

VI. 3. 1. 3. 1. Impact sur l'environnement

Dans l'eau, le fer est présent avec une concentration très faible qui peut être augmentée suite au lessivage des terrains riches en fer ou à cause d'une pollution industrielle. Le fer se trouve dans l'eau sous une forme dissoute ou en solution colloïdale. Cet élément présente un danger de toxicité assez modéré pour la vie aquatique. Cette toxicité est difficile à préciser car elle est fonction de l'état chimique du métal et de la présence du précipité de l'hydroxyde de fer qui tend à se déposer sur les branchies des poissons et entraîner leur colmatage.

VI. 3. 1. 3. 2. Impact sur la santé

L'ingestion d'une forte dose d'un sel de fer peut produire une intense altération des muqueuses digestives se traduisant par des douleurs abdominales, de vomissement et une diarrhée souvent sanglante. Les intoxications sévères peuvent entraîner des complications hémorragiques, des brûlures chimiques de tube digestif pouvant conduire à la mort.

VI. 3. 1. 4. Le Cuivre (Cu)

C'est un métal mou et ductile de couleur rouge caractéristique. Il existe dans la nature à l'état pur ou combiné à différents éléments notamment au Soufre. Il est largement utilisé en plomberie et dans l'industrie électrique.

VI. 3. 1. 4. 1. Impact sur l'environnement

Concernant les végétaux, une forte dose de cuivre provoque des lésions réticulaires des racines et formation de nombreuses radicules brunâtres. Le cuivre s'accumule dans les parois cellulaires.

Pour les poissons, l'effet toxique du cuivre est très remarquable, il provoque une altération des branchies des poissons et retarde la ponte de ces derniers.

VI. 3. 1. 4. 2. Impact sur la santé

Le cuivre est un élément essentiel pour l'homme. Cependant, de très grosses doses peuvent avoir des effets sur la santé. Une exposition à long terme à des poussières de cuivre peut irriter les sinus, la bouche et les yeux et entraîner des maux de tête, des nausées et des diarrhées. Il peut aussi entraîner des dégâts au niveau du foie et des reins, voir même un décès. L'intoxication chronique est marquée par un amaigrissement et des difficultés respiratoires surtout pour les enfants en bas âge.

VI. 3. 1. 5. Le Nickel (Ni)

Le nickel est un métal de couleur blanche argentée, malléable et ductile, son utilisation est très diverse : pièces de monnaie, automobiles, aviations,... etc.

VI. 3. 1. 5. 1. Impact sur l'environnement

Le nickel est un oligo-élément important pour la croissance des plantes. La présence du nickel est influencée par la présence d'autres éléments. Ainsi, la présence simultanée de cuivre, de zinc et de nickel aurait pour effet d'accroître la toxicité aigüe vis-à-vis de certains poissons (truite arc en ciel).

VI. 3. 1. 5. 2. Impact sur la santé

L'exposition répétée aux dérivées inorganiques du nickel peut produire une irritation des voies respiratoires (des rhinites et ulcérations de la cloison nasale, bronchite chronique,... etc).

Les dermatoses allergiques au nickel sont très fréquentes chez les ouvriers exposés (Eczéma de contact). Certains sels de nickel sont irritants pour la peau.

Une longue exposition au nickel peut provoquer des atteints et le cancer des poumons. Le nickel est très toxique par ingestion et peut induire de graves maladies digestives.

VI. 3. 1. 6. Le Zinc (Zn)

Le zinc est une substance très commune qui est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol, c'est un élément essentiel (à faibles doses) pour l'organisme humain.

VI. 3. 1. 6. 1. Impact sur l'environnement

Le zinc en fortes concentrations dans un sol, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant du zinc. Du fait de ces effets sur les plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Enfin le zinc peut interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. De ce fait, La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie.

VI. 3. 1. 6. 2. Impact sur la santé

Le zinc est un élément essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc

peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances. Trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie.

VI. 3. 2. Evaluation des risques des métaux lourds sur la santé

L'étude des risques est basée sur les étapes suivantes :

- ◆ Définition des concentrations d'exposition.
- ◆ Estimation des doses journalières d'exposition (DJE).

VI. 3. 2. 1. Définition des concentrations d'exposition

La première phase de l'analyse des risques consiste à l'estimation des concentrations en polluants présents dans l'environnement aux différents points d'exposition. Dans le cadre de cette étude, les concentrations employées pour l'estimation des risques sont les concentrations des métaux lourds (chrome, plomb, fer total, cuivre et nickel) observés dans les secteurs étudiés.

VI. 3. 2. 2. Estimation des doses d'exposition

Après l'estimation des concentrations des métaux lourds, l'analyse des risques s'appuie sur l'estimation des doses d'exposition des individus à ces métaux.

VI. 3. 2. 2. 1. Dose journalière d'exposition (DJE) : Est donnée par la relation suivante

La dose journalière d'exposition est la dose de substance reçue par l'organisme rapportée au poids de l'individu et au nombre des jours d'exposition. Elle a pour but de définir une quantité de polluant administrée, exprimée en mg/kg/j. Le calcul de la DJE pour les différents scénarios se déroule toujours en appliquant des équations adaptées pour chacune des voies d'exposition. Les équations se présentent de la manière suivante :

$$DJE = \frac{C \times Q \times F_{sp} \times De \times Fe}{P \times T}$$

Tel Que :

DJE : Dose journalière d'exposition (mg/kg/j). **C** : Concentration dans le milieu d'exposition (mg/ kg). **Q** : Quantité ingérée (kg). **F_{sp}** : Facteur d'absorption. **De** : Durée d'exposition (années). **Fe** : Fréquence d'exposition (j/an). **P** : Poids de l'individu (Kg).

T : Période du temps sur laquelle l'exposition est moyennée (j).

VI. 3. 2. 2. 2. DJE pour le contact dermique avec le sol

L'équation utilisée pour le calcul de la dose journalière d'exposition due au contact dermique est basée sur des hypothèses de fraction de peau exposée, de la fraction du sol qui adhère à la peau et des propriétés de la peau à absorber le composant chimique.

La DJE pour la voie d'exposition par contact dermique est estimée par l'équation suivante :

$$DJE = \frac{Cs \times Sa \times Fs \times SL \times 0.000001 \times EF \times Z}{Bw \times 365}$$

Tel que :

DJE : Dose journalière exposée. **Cs** : Concentration du composé dans le sol (mg/kg). **Sa** : Surface de peau (cm²). **Fs** : Facteur d'adsorption. **SL** : Facteur climatique (sans dimension). **EF** : Fréquence d'exposition (j/an). **Z** : Poids du corps (Kg). **Bw** : Fraction de peau exposée.

VI. 3. 2. 2. 3. Dose journalière acceptable (DJA)

La dose journalière acceptable présente la quantité de substance chimique que peut ingérer un homme par jour au cours de sa vie sans aucun risque appréciable pour sa santé.

VI. 3. 3. Estimation du risque

L'estimation du risque est différente en fonction de la substance qui est cancérigène ou non cancérigène.

VI. 3. 3. 1. Estimation du risque non cancérigène

L'estimation du risque non cancérigène est exprimée par le rapport entre la dose journalière d'exposition (DJE) et la dose journalière acceptable (DJA).

Le rapport est appelé indice de risque (IR) :

$$IR = \frac{DJE}{DJA}$$

Si « IR » est inférieur à 1, alors le risque toxique est considéré comme acceptable.

VI. 3. 3. 2. Estimation du risque cancérigène

L'introduction des données dans le logiciel risk4 nous a permis de dégager les observations suivantes:

Le risque cancérigène est estimé par la notion d'excès de risque individuel (ERI) qui est obtenu par multiplication de la dose journalière d'exposition par l'excès de risque unitaire (ERU); soit une probabilité d'attraper un cancer de 1 sur 1 million comme niveau de risque

certainement acceptable. Si par contre la valeur atteint 10^{-4} , le risque sera considéré comme certainement inacceptable en terme de santé publique.

Dans ce travail, en fonction de la disponibilité de données, nous avons pris en considération le scénario de l'usage eaux souterraines pour les populations des agglomérations urbaines de l'Oued Zied et de Berka Zerga.

Les résultats obtenus par le logiciel RISK4 sur les deux catégories de la société (adultes et enfants) sont illustrés dans le tableau N°41 et les histogrammes (Fig.108 et Fig.109), ainsi les cartes des risques qui correspondent à chaque secteur (Fig.110 et Fig.111).

Tableau 41 : Indice du risque total pour l'usage des eaux souterraines (plaine de l'Oued Zied et La décharge de Berka Zerga), Juin 2012.

point d'eau	Indice du Risque							
	Cr		Pb		Cu		Zn	
	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte	enfant	adulte
P4	$2.2 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	2.5	1.2	$1.7 \cdot 10^{+1}$	8.2	$5.2 \cdot 10^{-1}$	$2.4 \cdot 10^{-1}$
P5	$1.6 \cdot 10^{+1}$	7.6	5.3	2.5	$2.2 \cdot 10^{+1}$	$1 \cdot 10^{+1}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P6	6.6	3.1	/	/	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.6	$4.6 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$
P7	$2.4 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	3.6	1.7	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.8	$4.8 \cdot 10^{-2}$	$2.2 \cdot 10^{-2}$
P8	$2.3 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	3.8	1.8	6.1	2.9	$3.9 \cdot 10^{-2}$	$1.8 \cdot 10^{-2}$
P9	2.1	1.0	2.6	1.2	7	3.3	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P10	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.1	$9.8 \cdot 10^{-1}$	$4.6 \cdot 10^{-1}$	6.5	3.0	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P11	$1.5 \cdot 10^{+1}$	7.1	1.2	$5.4 \cdot 10^{-1}$	4.7	2.2	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
P12	$1.4 \cdot 10^{+1}$	6.8	1.1	$5 \cdot 10^{-1}$	5.4	2.5	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$5.2 \cdot 10^{-2}$
P13	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	1.1	$5 \cdot 10^{-1}$	4.4	2.1	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
P14	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$	5.5	2.6	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$
P15	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$8.4 \cdot 10^{-2}$	6.5	3.1	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
P16	5.5	2.6	7.2	3.4	6.1	2.9	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$
P17	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$8.9 \cdot 10^{-1}$	$4.2 \cdot 10^{-1}$	4.0	1.9	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
P18	$3.3 \cdot 10^{+1}$	$1.6 \cdot 10^{+1}$	1.6	$7.5 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$
P19	$2.5 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	1.6	$7.5 \cdot 10^{-1}$	5.2	2.5	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
P20	$3.4 \cdot 10^{+1}$	$1.6 \cdot 10^{+1}$	1.5	$7.1 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
P21	$2.8 \cdot 10^{+1}$	$1.3 \cdot 10^{+1}$	7.9	3.7	6.1	2.9	$1.9 \cdot 10^{-1}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$
P22	/	/	$8 \cdot 10^{-1}$	$3.8 \cdot 10^{-1}$	4.3	2.0	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Lix1	$5.6 \cdot 10^{+1}$	$2.6 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.9	$2.3 \cdot 10^{+2}$	$1.1 \cdot 10^{+2}$	$8.2 \cdot 10^{-2}$	$3.8 \cdot 10^{-2}$
Lix2	$3.7 \cdot 10^{+1}$	$1.8 \cdot 10^{+1}$	$1.2 \cdot 10^{+1}$	5.5	$2.6 \cdot 10^{+2}$	$1.2 \cdot 10^{+2}$	4.5	2.1
Lix3	$3.6 \cdot 10^{+1}$	$1.7 \cdot 10^{+1}$	$1.1 \cdot 10^{+1}$	5.1	$2.4 \cdot 10^{+2}$	$1.1 \cdot 10^{+2}$	5.3	2.5

L'évaluation du risque des éléments chimiques dans la plaine de l'Oued Zied montre un IR pour le chrome et pour le cuivre qui dépasse largement le seuil toléré. Le puits P17 présente un risque avec une moyenne d'IR de l'ordre de 36 et 17 respectivement pour l'enfant et l'adulte (Fig.108).

Cependant pour le plomb, il est souvent inacceptable sauf aux puits (P10, P14, P15, P17 et P21). Il faut signaler que l'IR est inacceptable chez l'enfant et acceptable chez l'adulte au niveau des puits (P10, P11, P12, P13, P14, P17, P18, P19, P20 et P22).

L'IR pour l'élément zinc est tolérable dans tous les points pour les deux catégories de la population étudié.

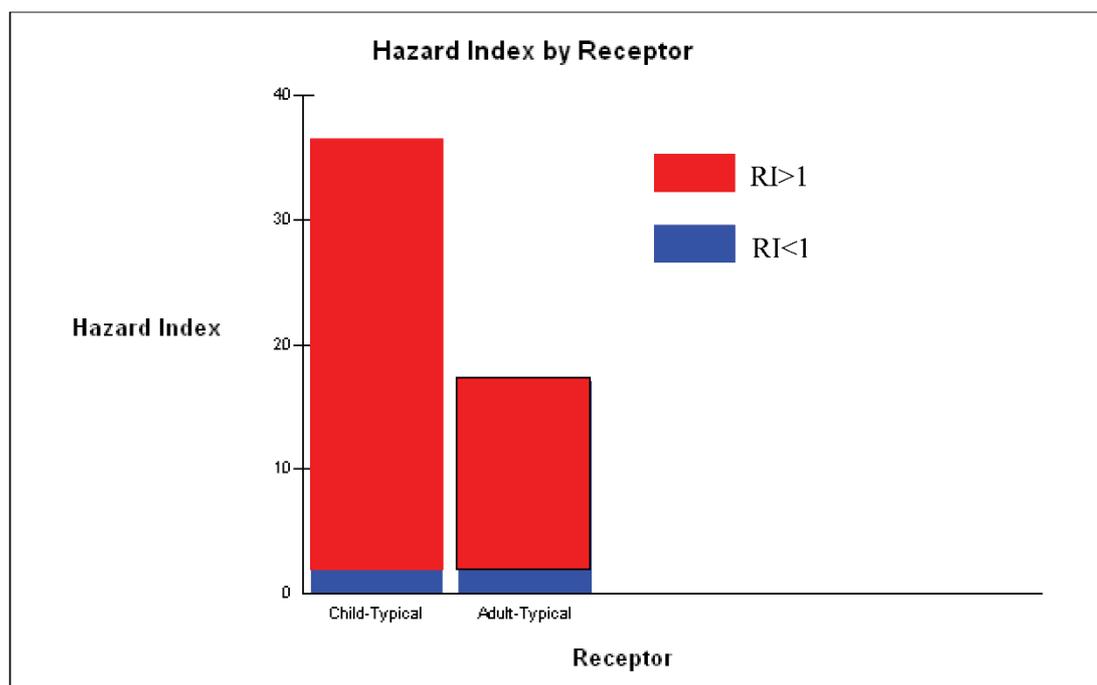


Figure 108 : Indice du risque total du Cr dans la plaine de L'Oued Zied, Juin 2012.

A la proximité de la décharge de Berka Zerga, L'IR est mesuré pour les lixiviats de la décharge en trois points d'exposition. Les valeurs de l'IR enregistrées sont énormément supérieures à la norme tolérable à l'exception du zinc où nous avons marqué un IR acceptable pour les deux catégories (adulte et enfant) pour le scénario étudié (Tab.42).

Tableau 42 : Indice du risque total pour les Lixiviats (Décharge de Berka Zerga), Juin 2012.

Actives N.	Enfant	Moy.	Min.	Max.	Ecart-type	Adulte	Moy.	Min.	Max.	Ecart-type
3	Cr	43.00	36.00	56.00	11.27	Cr	20.33	17.00	26.00	4.93
3	Pb	11.67	11.00	12.00	0.58	Pb	5.50	5.10	5.90	0.40
3	Cu	243.33	230.00	260.00	15.28	Cu	113.33	110.00	120.00	5.77
3	Zn	3.29	0.08	5.30	2.81	Zn	1.55	0.04	2.50	1.32

Ces forts indices confirment bien l'importante contamination des eaux par ces éléments toxiques. Le lixiviat Lix2 montre l'indice du risque le plus fort de l'ordre de 260 et 120 respectivement, pour l'enfant et l'adulte, autrement dit ce point est le plus exposé au risque de pollution (Fig.109).

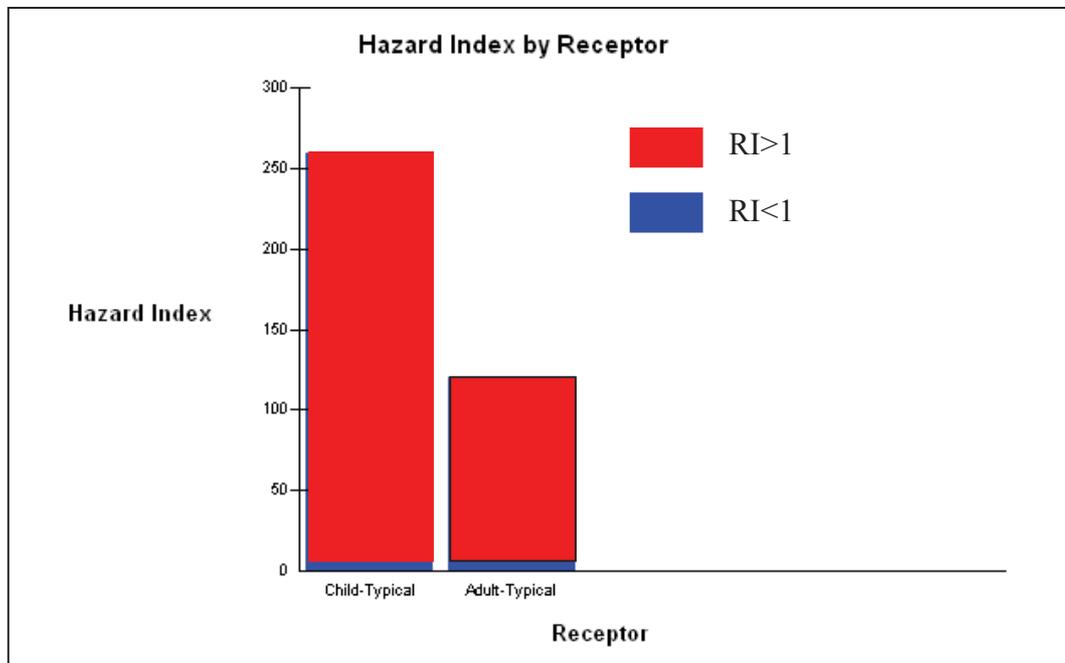


Figure 109 : Indice du risque total du Cu dans la décharge de Berka Zerga, Juin 2012.

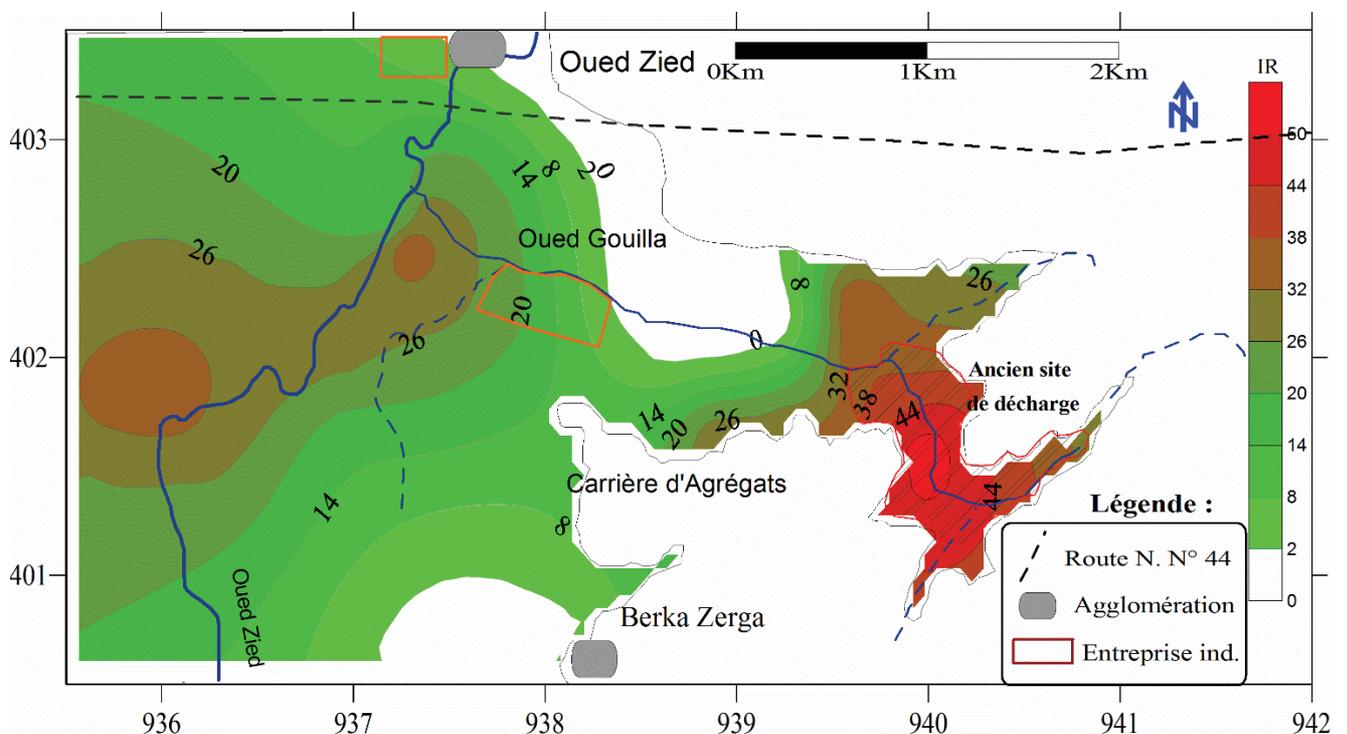


Figure 110 : Carte de L'IR du Cr pour l'enfant (plaine de l'Oued Zied), Juin 2012.

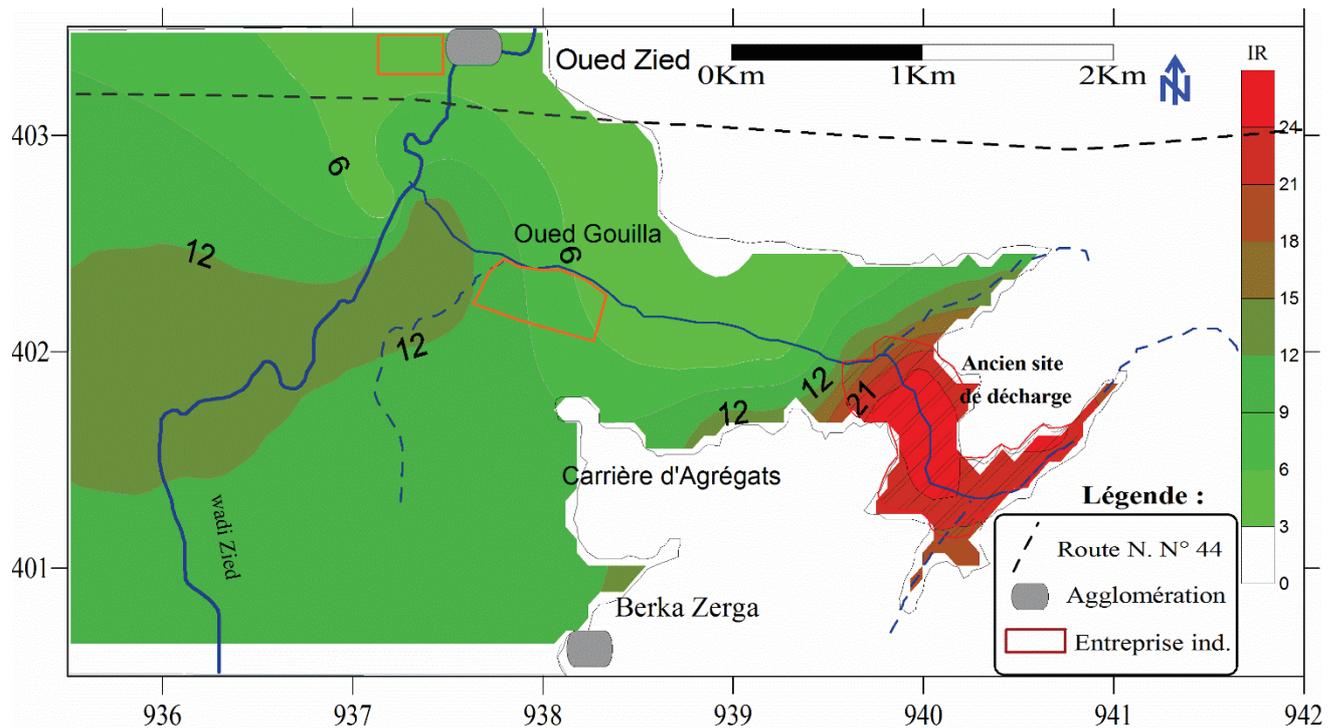


Figure 111 : Carte de L'IR du Cr pour l'adulte (plaine de l'Oued Zied), Juin 2012.

Les cartes (Fig.110 et Fig.111) montrent que les eaux souterraines de la plaine de l'oued Zied sont exposées au risque de contamination cancérigène par les métaux lourds et plus particulièrement, par l'élément chrome. Au niveau de la plaine hors du site de la décharge, On constate que L'IR augmente dans le sens d'écoulement des Oueds (Oued Gouilla et Oued Zied), il devient important après leur confluence (34 pour l'enfant et 12 pour l'adulte) dans la partie Ouest près du lac Fetzara (effet de la stagnation). Par contre et dans le secteur Est et à proximité de la décharge publique, le secteur est considéré comme le plus pollué, l'IR des lixiviats représente le risque maximum (50 pour l'enfant et 24 pour l'adulte) prouvant ainsi le risque considérable engendré par ces eaux fortement chargées par les éléments en traces métalliques.

VI. 4. Conclusion

Les valeurs calculées de l'indice de pollution des eaux par les lixiviats (LWPI) montrent que les points d'eau situés en aval de l'ancienne décharge sont fortement pollués, tandis que les eaux souterraines de la plaine de l'Oued Zied sont modérément contaminées et présentant un impact peu significatif de ($0,66 < LWPI \leq 1,53$). Nous notons que l'LWPI est un outil d'identification des dangers. L'utilisation du LWPI devrait tenir compte d'autres facteurs tels que la quantité des lixiviats générés, les périodes d'exposition, la profondeur de l'aquifère, le type de sol, la population affectée, etc.

Le traitement des données des éléments chimiques (métaux lourds) par le logiciel RISK4, montre qu'au niveau de la plaine de l'Oued Zied, L'IR est inacceptable pour les deux catégories (enfant, adulte) dans le cas du chrome et du cuivre. Cependant pour le plomb, il est inacceptable pour l'enfant et acceptable pour l'adulte dans certains puits. Dans le cas du zinc, l'indice du risque ne pose aucun danger. A l'inverse de tous les secteurs étudiés, celui de la décharge de Berka Zerga pose un vrai risque pour les deux catégories.