



## Application of the methodology Cost620 for contamination hazard mapping and the establishment of protection areas: the case of surface water of watershed El Hachef (Northern Morocco)

I. Hilal<sup>1\*</sup>, J. Stitou El Messari<sup>1</sup>, J. G. Moreno Navarro<sup>2</sup>, M.R. Aoulad Mansour<sup>3</sup>, M. Draoui<sup>4</sup>

<sup>[1]</sup> Département de Géologie, Faculté des sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc.

<sup>[2]</sup> Département de la géographie physique et l'analyse régional, Université de Séville, Espagne.

<sup>[3]</sup> Agence du Bassin Hydraulique Loukkos, Tétouan, Maroc.

<sup>[4]</sup> Département de Sciences de la Matière et de la Vie, Ecole Normale Supérieure, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc.

\* Corresponding Author: e-mail: Ismailhilal2@gmail.com.; Tel: +212 6 75 878793

The mapping of the danger of contamination around the water abstraction for human consumption is an essential instrument to achieve the objective of improving and preserving water quality. Preventive protection of surface waters against pollution and the guarantee of water of the highest quality are also major issues to ensure the future generations a sustainable supply of drinking water.

In this work, we present firstly a mapping methodology of the danger to the contamination of the water dam April 9, 1947 called Cost620 [1] and secondly proposed an establishment of protection zones which aim to protect immediate approaches to the dam and its vicinity.

The Map obtained shows that the very low hazard represents 45% of the watershed area, followed by the low 34%, strong with 16% and the moderate hazard with 5%.

Received: 27 May 2016

Accepted: 21 June 2016

Available online: 10 July 2016

### Keywords:

Water pollution

Cost 620 Methodology

GIS

Dam 9 April, 1947

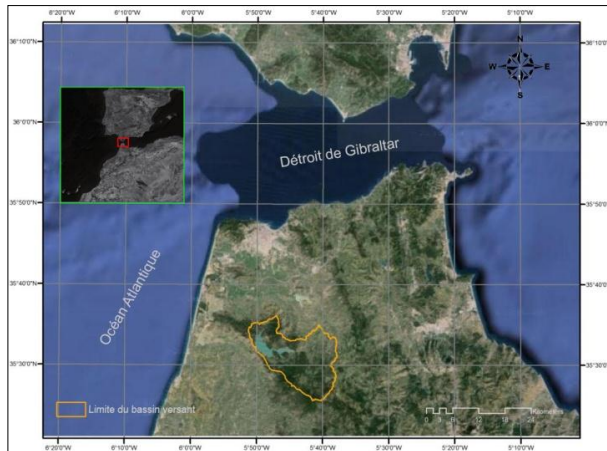
### Introduction

L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains affirment en effet qu'elle sera au troisième millénaire un enjeu de guerres comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui [2]. La qualité d'une ressource en eau est potentiellement menacée si des dangers existent dans le bassin d'alimentation correspondant [3]. Le but d'une cartographie du danger est de détecter ces aléas, notamment leur importance et leur distribution spatiale. À cet effet, il est nécessaire de prendre toutes les mesures susceptibles de garantir la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable [4].

Un danger selon [3] est défini comme l'origine potentielle d'une contamination prenant place sur une surface donnée et résultant des activités humaines affectant l'environnement.

Le bassin versant El Hachef qui domine et contrôle les eaux du barrage 9 Avril 1947, a connu dernièrement la prolifération de nombreuses sources de pollution qui ont un impact néfaste et qui dégradent la qualité des eaux stockées au niveau du barrage ce qui va poser des problèmes sanitaires aux consommateurs. Le bassin versant, appartient à la péninsule de Tanger, située au Nord-Ouest du Maroc, et ayant comme chef lieu la ville de Tanger. Il s'agit d'une superficie d'environ 24000 ha sur le versant sud Atlantique de l'arc Rifain. Entourée au Nord par la ville de Tanger, à l'Est par la ville de Tétouan, à l'Ouest par l'océan atlantique et au Sud par la ville de Larache. D'un point de vue géologique, le bassin versant du barrage 9 Avril 1947 est constitué principalement de l'unité de Tanger et la nappe de Habt du domaine externe qui ont un caractère argileux, des nappes de flyschs numidiens à dominance gréseuse avec alternance pelitiques de Bnilder, de Melloussa et de Tala lakrah, ainsi que des formations poste nappes du Quaternaire.

Le Barrage 9 Avril 1947 a une capacité de stockage estimée à 300Mm<sup>3</sup> et il est destiné à l'alimentation en eau potable de la zone atlantique située entre Asilah et Tanger et à l'irrigation des périmètres agricoles situés en aval du barrage [5-6].



**Fig. 1:** Situation géographique de la zone d'étude (Fond : Google Satellite 2016)

## Matériels et méthodes

### 1- Méthodologie COST620 pour la cartographie du danger

Le but d'une cartographie du danger est de détecter les aléas, notamment leur importance et leur distribution spatiale. Une telle cartographie et la classification des dangers qui est faite d'après la méthodologie de COST 620 [1]. Celle-ci est valable pour un contaminant global et elle est modifiée pour des contaminants spécifiques en répondant aux mêmes règles. Les cartes du danger sont initialement élaborées par la simple localisation géographique des dangers qui sont ensuite classifiés selon un indice de danger [3].

A l'échelle européenne, une action coordonnée a été lancée en 1997 pour reprendre le concept de la vulnérabilité et l'intégrer dans un cadre plus complet du point de vue de la gestion du risque. Cette action a été menée dans le cadre du programme COST de la Commission Européenne, établi et financé pour renforcer la Coopération Européenne en sciences et technologies. L'Action COST 620 était un forum réunissant des experts de 16 pays européens actifs dans le domaine de la recherche, de l'administration ou de la pratique. L'Action COST 620 s'est récemment terminée et propose comme résultat des concepts généraux et des recommandations pour une bonne gestion des terrains [7].

La méthodologie européenne pour l'évaluation qualitative des dangers se réfère à un danger global. L'impact possible des dangers sur les eaux peut varier considérablement, et pour cela, différentes étapes sont prises en compte [3].

La méthodologie COST 620 pour la cartographie des dangers globaux implique la prise en considération de trois paramètres :

- L'indice de toxicité (H) diffère selon les divers types de dangers. Les valeurs ont été fixées par un groupe d'experts à l'aide d'un système de pondération et sont distribuées avec une gamme de 0 (pas nuisible) à 100 (très nuisible) ;
- L'indice de quantité (Qn) compare les dangers du même type. La valeur de cet indice varie entre 0.8 (basse) et 1.2 (haute) et doit être estimé par l'utilisateur de la méthode ;
- L'indice de probabilité (Rf) considère que la réalisation d'une contamination peut être accidentelle. Cet indice peut varier entre 0 (réalisation de contamination exclue) et 1 (contamination réalisée).

La cartographie du danger à la contamination est basée sur plusieurs étapes depuis le terrain jusqu'à la modélisation via les SIG, suivant les démarches citées ci-après :

- Elaboration d'un inventaire du danger (Fig. 2) présentant toutes les sources de pollution existantes et les localisant spatialement ;
- Attribution à chaque source de pollution une pondération H qui est en fonction de leur toxicité (Tab. 1) ;
- Visites inspectrices des différentes sources de contamination repérées sur le bassin versant pour faire ressortir à notre manière les indices Q<sub>n</sub> et R<sub>f</sub> propres à chaque source (Table 2).

Ensuite, pour chaque point potentiel de pollution, on calcule un indice de danger qui décrit le degré de nocivité de chacun d'entre eux. Pour ceci, on se base sur la formule suivante [7]:

$$HI = H \cdot Q_n \cdot R_f$$

Cet indice peut varier entre 0 et 120. Il est subdivisé en cinq classes de danger variant entre 'très faible' et 'très fort' (Tab. 3).

### 2- Méthodologie de l'établissement des périmètres de protection pour le barrage 9 Avril 1947

La lutte contre la pollution dans un bassin versant nécessite le découpage de celui-ci en plusieurs périmètres. Il s'agit de trois zones proposées suivant la législation marocaine : périmètre de protection immédiate (zone I), périmètre de protection rapprochée (zone II) et périmètre de protection

éloignée (zone III) (Loi 10-95, 1995). La délimitation de ces périmètres fait appel à plusieurs disciplines et diverses expertises [8-9]. La méthodologie retenue a été appliquée dans le cadre d'une coopération Germano-jordanienne pour réaliser le projet : 'Environmental Geology for Regional Planning' concernant la délimitation des périmètres de protection de l'eau pour le barrage Wala [10]. En se référant aux travaux de Subah [10], le périmètre de protection I doit être un tampon de 100 m autour du barrage. Elle est mesurée à partir du plus haut niveau d'eau disponible. Le périmètre de protection II commence à la limite du périmètre I et ne doit pas être inférieure à 2,5 Km autour de la digue du barrage et 350 m autour du cours d'eau principal. Le périmètre de protection III comprendra l'ensemble du bassin versant du barrage étudié.

### 3- Matériels utilisés pour l'étude

Pour les données spatiales, la qualité des données se mesure par la précision de l'information (échelle des cartes, résolution des images,..) et elle influence automatiquement la qualité des résultats obtenus. Les données dont dispose pour cette étude sont :

**Cartes Topographiques** : A l'échelle de 1:25 000, feuilles de : Dar Chaoui, El Menzla, JbelHbib, Bouamar, Bghaghza, Moulay Abdessalam Ben Mchich, Bniidder. Ces cartes ont été fournies par l'Agence Nationale de la Conservation Foncière du Cadastre et de la Cartographie (Service de Cartographie).

**Une Image Satellitaire Landsat8** : Avec une résolution de 30 m prise à partir du Service Géologique des Etats Unis (USGS-Glovis) le 14-08-2014 et projetées sur (WGS 84).

**Trois Images Satellitaires Spot** : Avec une résolution de 10 m prises le 09-11-2005, le 13-11-2007 et le 19-06-2010 sous la projection globale (WGS 84).

**Carte d'occupation des sols** : élaborée sur la base des principales catégories d'occupation des terres définies par le Centre Régional d'Insémination Artificielle (CRIA). Tout en se basant sur les observations du terrain lors des sorties, et sur la photo-interprétation des images satellites à notre disposition.

## Résultats et discussions

### 1- Carte du danger à la contamination

L'inventaire du danger a permis d'identifier plusieurs sources de danger :

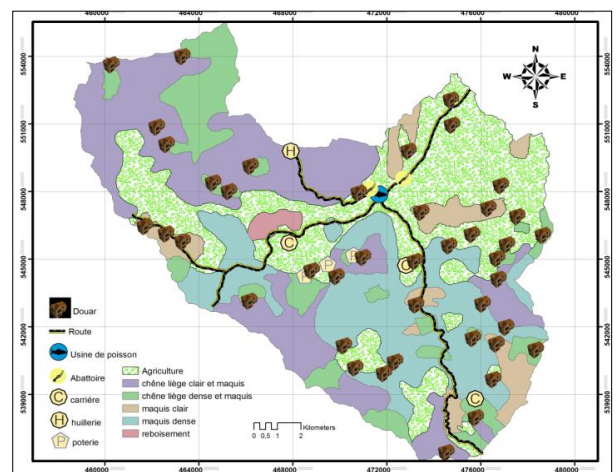
i) Le réseau d'assainissement, au niveau des 42 douars installés sur le bassin versant, est absent

(Fig.2) ce qui cause d'énormes rejets liquides et solides à l'air libre ;

- ii) Il existe également plusieurs foyers de pollution (Fig.2) tel que: (des poteries, des carrières d'extraction, une usine de poisson, des huileries, des abattoirs pas loin du barrage, des surfaces d'agriculture sur de larges zones et des activités d'élevage ;
- iii) Le réseau routier qu'il soit régional ou provincial : R417, P604, P607, P4704.



**Fig. 2:** Différentes sources de danger existantes dans la zone d'étude



**Fig. 3:** Répartition spatiale des différents foyers de pollution au niveau du bassin versant El Hachef

La pondération attribuée à l'indice de toxicité H constitue l'une des premières phases de la méthodologie après l'identification des dangers potentielles [11].

A l'échelle de notre bassin versant, l'indice H est compris entre 25 (valeur minimale pour les carrières) et 45 (valeur maximale attribuée aux abattoirs, aux

huileries, aux rejets domestiques et à l'usine de Dar Chaoui).

Pour établir la carte thématique de l'indice H, on s'est référé au tableau de [1] afin d'associer à chaque danger une pondération qui lui convient et on a effectué une interpolation pour générer la pondération sur tout le bassin versant.

Le tableau ci-dessous montre les différents types de danger avec leur indice (H) correspondant :

**Tab. 1:** Facteur H attribué aux sources de contamination détectées selon [1]

Type de Danger	Indice H
Réseau routier	40
Absence d'assainissement	45
Agriculture intensive et poteries	30
Carrières	25
Activités industrielles (Huileries, Usine de poisson)	45

L'indice de quantité Qn exprime la quantité de produits polluants pouvant être émis en cas d'accident. Il varie entre 0,8 et 1,2 et est attribué au fur et à mesure de nos observations sur terrain des sources de danger. Dans notre cas, nous avons affecté aux poteries la valeur minimale soit 0,9 vu qu'elles n'émettaient pas de grandes quantités de pollution (Tab. 2) ; tandis que le réseau routier et l'usine de poisson ont pris la valeur maximale soit 1,2 à cause de l'importance du trafic routier constitué essentiellement de camions et camions-citernes transporteurs d'hydrocarbures et l'énorme quantité des déchets émise par l'usine de poisson.

**Tab. 2:** Facteur Qn attribué aux sources de contamination détectées

Type de Danger	Indice Qn
Réseau routier	1,2
Absence d'assainissement	1
Agriculture intensive	1
Carrières	1
Activités industrielles	1
Usine de poisson	1,2
Poteries	0,9

L'indice de probabilité Rf concerne les mesures de protection adoptées par les différentes activités. Devant le manque d'informations précises, il lui a été attribué la valeur la plus élevée (Rf = 1) vue son poids important dans l'évaluation de l'indice du danger.

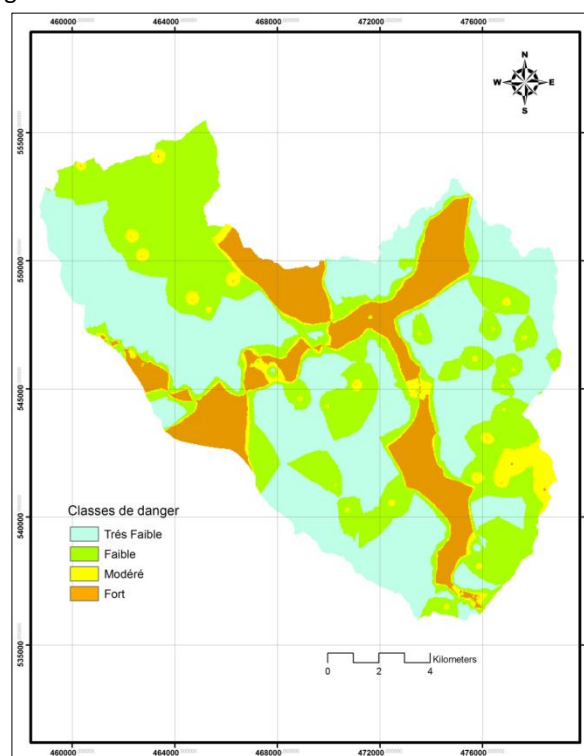
Le calcul de l'Indice du danger HI (Hazard Index) est basé sur la formule de [7] en multipliant les valeurs accordées à chaque paramètre via le logiciel SIG.

**Tab. 3:** Classification de l'indice de danger HI selon [7]

Indice de danger	Classe	Danger
0 – 24	1	Absent ou très faible
> 24 – 48	2	Faible
> 48 – 72	3	Modéré
> 72 – 96	4	Forte
> 96 – 120	5	Très fort

L'indice du danger HI varie entre de 0 et 120. Ces valeurs, groupées en intervalles réguliers de 24 unités de parcours chacun, déterminent cinq classes qualitatives de danger variant entre le très faible au très fort (Tab. 3).

On remarque qu'au sein du secteur d'étude, la présence des dangers potentiellement très polluants (tels que les activités industrielles) est assez faible ; néanmoins, les dangers liés aux infrastructures urbaines et de développement sont présentes avec une grande intensité.



**Fig 4:** Répartition spatiale du danger à la contamination selon la méthodologie COST620

D'après la Fig. 4, nous remarquons que la classe très faible occupée par 45% de la superficie, appartient aux forêts et aux carrières qui présentent également une



pondération de l'indice H très faible. Le faible danger (34%) est associé aux grandes superficies des activités d'agriculture. Le fort danger (16%) a été attribué aux douars qui émettent des rejets liquides et solides et qui ne possèdent pas de réseaux d'assainissement, et aux activités industrielles (usine de poisson, huileries..) installées sur le bassin versant. Tandis que, le danger modéré (5%) s'associe à la circulation routière quelque soit régionale ou provinciale.

## 2- Carte des périmètres de protection du bassin versant du barrage 9 Avril 1947

La cartographie des périmètres de protection permet de voir et d'identifier 3 périmètres :

- i) Le périmètre de protection I qui correspond au périmètre de 100m autour de la retenue du barrage [10] a une superficie de 22Km<sup>2</sup>.
- ii) Le périmètre de protection II commence à la limite du périmètre I et ne doit pas être inférieure à 2,5 Km autour de la digue du barrage et 350 m autour du cours d'eau principal. En suivant ce procédé, celle-ci atteint une superficie de 142 Km<sup>2</sup> (Fig. 5). Nous remarquons qu'elle contient environ 18 douars de la région.
- iii) Le périmètre de protection III comprend l'ensemble du bassin versant. Elle occupe une superficie de 218Km<sup>2</sup> (Fig. 5).

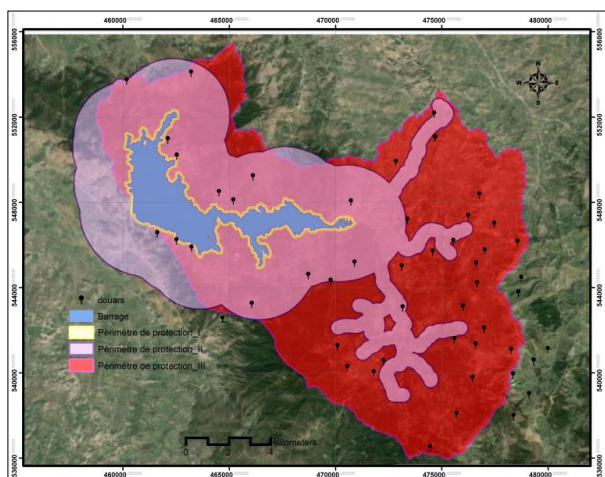


Fig. 5: Délimitation des périmètres de protection I, II et III (Fond : Google Satellite 2016)

## 3- Restrictions et Recommandations proposées dans les périmètres de protection du barrage 9 Avril 1947

Dans le périmètre I, une clôture doit être mise en place à travers toute la limite du réservoir. Un panneau devrait être installé sur la clôture indiquant ce que la population est censée faire ou ne pas faire.

Seul l'état devrait être autorisé à utiliser l'eau du barrage. L'abreuvement des animaux à partir du barrage et le pâturage près du réservoir ne doit pas être autorisé. Ce constat pourra mieux aider à garder les troupeaux en dehors du périmètre de protection I. Il est proposé de créer des étangs pour l'abreuvement des animaux à certains endroits loin du réservoir dans le périmètre II.

Dans ce périmètre, il faut interdire l'accès au public, toutes les activités sauf celles qui sont nécessaires pour le fonctionnement des ressources en eau et qui sont autorisées dans ce périmètre en plus de la mise en place des bâtiments résidentiels et des terrains agricoles.

Dans le périmètre de protection II, le risque principal résulte des eaux usées des villages comme Dar Chaoui, Hricha et Mwawja qui sont près du barrage. Il est recommandé soit d'établir la collecte et le traitement des eaux usées des systèmes décentralisés pour les villages (option 1) ou de mettre à niveau les fosses septiques dans chaque village (option 2).

En ce qui concerne l'agriculture, l'agriculture biologique doit être appliquée dans le périmètre II et les engrais chimiques ne doivent pas être utilisés. Dans ce cas, les engrais organiques à appliquer comme le fumier des animaux, doivent être exemptes de substances bactériologiques potentiellement nocives.

Un couvoir pour élevage de poulets et une usine de poisson sont situés très près du barrage à Dar Chaoui et posent un risque élevé pour l'eau de surface (Déchets organiques). Ces installations doivent être contrôlées fréquemment de manière qu'aucun rejet dans l'eau de surface ne puisse se produire. Lors de la délivrance des licences de n'importe quelle activité de développement (industrielle ou autres) par des organismes officiels, des mesures visant à éviter les impacts négatifs sur l'environnement doivent être mises en œuvre (stations-service, lavage de voitures, les zones franches et zone industrielle...).

Le contrôle et la supervision de toutes les activités dans le périmètre II doivent être appliqués pour assurer la conformité avec les pratiques favorables à l'environnement, tel que décrit dans la loi 10-95 régissant la délimitation des périmètres de protection de l'eau potable [15].

Dans le périmètre III, principalement tout le développement, les activités agricoles, industrielles et sociales sont autorisées, à condition qu'elles soient conformes aux lois appliquées au Maroc et aux pratiques respectueuses de l'environnement.

Une évaluation d'impact environnemental approfondie devra être menée avant l'autorisation de telles activités.

## Conclusions

L'objectif de ce travail est d'établir des périmètres de protection du barrage 9 Avril 1947 afin d'assurer un approvisionnement en eau de bonne qualité, destinée à la consommation humaine ou pour des besoins agricoles.

L'étude a porté sur l'élaboration d'un inventaire de l'ensemble des pollutions détectées au niveau du bassin versant du barrage 9 Avril 1947, afin de ressortir tous les impacts négatifs qui peuvent affecter la qualité des eaux du barrage.

La détermination de ces impacts nous a permis par la suite de réaliser une carte de danger à la contamination en appliquant la méthodologie COST620 via le logiciel ArcGis 9.3, cette dernière nous a informé sur les zones les plus exposées au danger au sein du bassin versant.

Le suivi et le contrôle de la qualité de l'eau a été complété par l'établissement des mesures d'atténuation, qui vont assurer la préservation à long terme de la qualité de l'eau au niveau du barrage 9 Avril 1947.

## Références et notes

1. D De Ketelaere, D Daly. *Hazard mapping – vulnerability in a risk framework*. Zwahlen (ed). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. **2004**, 84.
2. A Garcia. *Étude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine*. Thèse Doctorat, Université Libre de Bruxelles, **2006**, 250.
3. M Sinreich, D Clavier, R Kozel, F Zwahlen. *Bulletin d'Hydrogéologie*, **2005**, 21, 59
4. Anonyme. *Plan directeur intégré d'aménagement des eaux des bassins de Bourgreg Oum Rbia*. Conseil supérieur de l'eau du Maroc, 6<sup>e</sup> session. Janvier **1992**.
5. Ministère des travaux publics du Maroc. Barrage Hachef (9 Avril 1947). Rabat, Rapport scientifique. **1996**. 16.
6. S Ibrahim, B Damnati, O Radakovitch. *Couplage du <sup>137</sup>Cs et du <sup>210</sup>Pb pour l'estimation des pertes et des dépôts dans le bassin versant du barrage El Hachef*. 16<sup>e</sup> colloque des Bassins Sédimentaires Marocains. Meknès, *Abstr* **2001**, 28.
7. F Zwahlen. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers – COST Action 620*. European Commission, Directorate-General XII Science, Research and Development, Brussels, Luxembourg **2004**, 297.
8. H Krause, A Lamrhary. *Manuel relatif à la délimitation des zones de protection des captages d'eaux de surface*. Office National de l'Eau Potable, Rabat, Rapport Scientifique, **1995**, 40.
9. D Paradis, R Martel, Y Michaud, R Lefebvre. *Étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection en*

*milieu granulaire. Exemple du piémont laurentien*. 53<sup>e</sup> Conférence Canadienne de Géotechnique. **2000**, 15.

10. A Subah, M Hobler, Z Hajali, N Khalifa, T Momani, M Atrash, H Hijazi, S Ouran, A Jaber, R Tarawneh. *Hydrogeological Proposal For The Delineation Of A Groundwater Protection Area For The Wadi Al Arab Well Field. Technical Cooperation Project 'Groundwater Resources Management'*, BGR&WAJ, BGR. **2006**, 57.
11. C Prével, M Thériault, J Rouffignat. *Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire: vers une amélioration du processus décisionnel*. Cahiers de géographie du Québec, **2003**, 47, 35.
12. Service géologique des Etats Unis (USGS-Glovis). Images Land SAT 8 consultées. **2014**.
13. DGH "Direction Générale de l'Hydraulique". **1995**. - Loi 10-95 sur l'eau.- Bulletin Officiel n° 4325 du 20 septembre **1995**.