Une identification basée sur la télédétection et SIG des zones potentielles de recharge des eaux souterraines au Caza du NABATIYEH :

un facteur important pour la réalisation d'un POS.

Makram Chehayeb Kamel Allaw

RESUMÉ

L'eau souterraine est une ressource importante d'étendue limitée, alors, une évaluation précise est nécessaire afin d'assurer une utilisation régulière surtout que les conditions climatiques seront graves. Cette étude consiste à identifier les zones potentielles de recharge des eaux souterraines, en utilisant un modèle basé sur la télédétection et le SIG pour combiner sept facteurs principaux : la géologie, l'occupation du sol, le sol, la densité des linéaments, la densité de drainage, les précipitations et la pente où chacun d'eux est représenté par une carte. La pondération entre ces cartes est effectuée en utilisant la méthode Multi Influence Factor. Cette carte montre que 71% de la surface du Caza NABATIYEH a un taux de recharge élevé et très élevé. L'intersection entre cette carte et celle de l'occupation du sol donne la carte de risque qui a montré que 83% de NABATIYEH représente un risque élevé et modéré. L'étude de l'occupation du sol des terrains situant dans les zones risquées aide à déterminer les éléments principaux de pollution. Parmi les zones risquées, le village 'Kfour' dans le Caza de Nabatiyeh a été choisi afin d'établir une proposition pour un plan d'occupation du sol qui prend en considération la recharge des eaux souterraines.

Mots-clés : NABATIYEH, télédétection et SIG, recharge des eaux souterraines, semi-aride, Kfour.

1- Introduction

Les eaux souterraines constituent une source naturelle profitable qui renforce le bien-être humain, l'évolution économique et la diversité écologique. Actuellement, cette source est fiable pour l'approvisionnement en eaux dans toutes les régions climatiques inclues les zones urbaines et rurales des pays développés et en développement (Waikar et al., 2014). Alors, une évaluation de cette source est extrêmement essentielle pour la gestion continue des eaux souterraines (N.S. Magesh et al, 2012). La recharge des eaux souterraines se réfère à l'entrée de l'eau de la zone non-saturée à celle saturée au-dessus de la nappe phréatique, ainsi que le flux associé loin de la nappe à l'intérieur de la zone saturée (Yeh et al., 2008). Le système d'informations géographiques (SIG) et la télédétection spatiale sont largement utilisés pour l'évaluation de certaines ressources naturelles dont les eaux souterraines (Sharma et al., 2012). Récemment, l'utilisation des images satellitaires a facilité la fourniture des informations sur les eaux souterraines (Magesh et al., 2012), en addition à ce large gamme de données, la télédétection sert à économiser le temps et l'argent (Sharma et al., 2012). En plus, elle est largement utilisée pour caractériser la surface terrestre comme les linéaments et la lithologie ainsi que l'évaluation de la recharge des eaux souterraines (Sener et al., 2005).

La délinéation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines a été faite par plusieurs chercheurs autour du monde comme Yeh et al. (2008), Waikar et al. (2014), Magesh et al. (2012), Selvam et al. (2014), Shaban et al. (2006). Cependant, les facteurs étaient différents, alors, les résultats étaient également différents, en outre, elles varient d'une région à l'autre pour des conditions géo-environnementales variées (Magesh et al., 2012).

L'exploitation des ressources d'eaux souterraines a augmenté ces dernières décennies, ce qui cause une augmentation dans la consommation des eaux souterraines (Magesh et al., 2012). De même au Liban, le ministère de l'eau et de l'énergie a annoncé que 300 mm³/an est le déficit annuel entre la quantité rechargée à l'intérieur de la terre et celle déchargée. En addition, la période de sécheresse a augmenté à 7 mois/an. En plus, les ressources de l'eau sont affectées par plusieurs sources de pollution spécifiquement dans le cas d'absence d'un système d'eaux usées conçu d'une manière seine(Comeir, 2010, Shaban 2011).

La combinaison de la télédétection et le SIG pour préparer les différentes couches thématiques comme la géologie, la densité de drainage, la densité de linéament, la pente, le sol, occupation du sol et précipitation avec une pondération précise va supporter l'identification des zones potentielles de recharge des eaux souterraines. Donc, cette étude se concentre sur l'identification des zones potentielles de recharge des eaux souterraines dans le Caza de NABATIYEH en utilisant la technique avancée de la télédétection spatiale, MIF et le SIG pour la planification, l'administration et la gestion des eaux souterraines (Magesh et al., 2012).

2- La zone d'étude :

Le Caza de NABATIYEH est située dans le sud du Liban, à 65 km du Beirut. Elle est limitée par JEZZINE au Nord, par MARJAYOUN à l'Est, par TYR et BENT-JBEIL à l'Est et au Sud, et par SAIDA à l'Ouest.

La zone d'étude a une altitude moyenne de 650 m au-dessus du niveau moyen des mers. La pente varie des valeurs faibles au centre de CazaNABATIYEH aux valeurs fortes dans les frontières Estes et Ouest.

Il domine sur la région de NABATIYEH un climat méditerranéen semi-aride, les précipitations ont une moyenne annuelle de 850 mm, et la température à NABATIYEH a une moyenne annuelle de 15 °C.

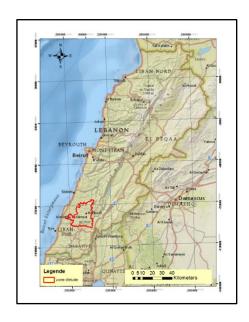


Figure 1: La carte de la zone d'étude

3- La méthodologie :

3.1- Principe:

La méthode utilisée est une combinaison entre les données fournies par la télédétection spatiale et les outils du système d'informations géographiques .Elle peut être considérée comme une méthode efficace qui a été utilisée par **S. Selvam et al** et par **Radha krishnan.D et al** en 2014 en Inde et par **Hsin-Fu Yeh et al** en Taiwan en 2008. Elle consiste à choisir les facteurs affectant la procédure de la recharge à NABATIYEH et puis à établir les relations existantes entre eux. Ces

facteurs sont la densité des linéaments, la densité de drainage, la lithologie, les précipitations, le sol, la pente et l'occupation du sol, les relations entre ces facteurs sont représentées sur la figure 3.1. Pour chaque facteur nous avons établi une carte représentative en fonction de son effet sur la recharge des eaux souterraines, cet effet peut être divisé en quatre classes : très élevé, élevé, modéré et faible. Et pour faciliter la classification sur le système d'informations géographiques, nous avons attribué un indice pour chaque classe. Cet indice s'hiérarchie de 1 à 4 où 1 correspond à un effet faible et 4 correspond à un effet très élevé. En se basant aux relations existantes entre ces facteurs, on peut donner un poids pour chaque facteur c'est-à-dire un indice qui détermine l'influence de ce facteur sur la procédure en général. Le poids de chaque facteur est obtenu par la méthode MIF (Multi Influence Factor).

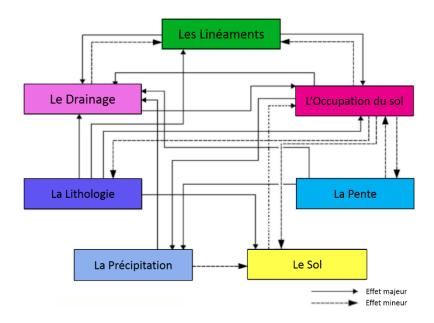


Figure 2 : Figure représentant les relations entre les facteurs

Pour cette étude, les poids attribués sont ceux utilisés par S. Selvam et al en 2014 en Inde :

Le facteur	Le poids
La géologie	0.24
La densité de drainage	0.07
L'occupation du sol	0.39

Les precipitations			0.05
Les sols			0.01
La pente			0.12
La densité des			0.12
Linéaments			

Tableau 1 : Tableau montrant le poids attribué à chaque facteur

3.2- Les facteurs utilisés :

3.2.1- La densité des linéaments :

Les Linéaments sont des éléments géomorphologiques linéaires qui sont l'expression de surface de zones de faiblesse ou un déplacement structurel dans la croûte de la terre. En plus, ces lignes définissent les lignes de drainage et de limites des différentes formations géologiques. Par suite, les zones ayant une grande densité de linéament sont bonnes pour la recharge des eaux souterraines (Radha krishnan et al., 2014). La carte de la densité de linéament est générée d'après la carte des linéaments du Liban (IUL, Carte géologique du Liban). Cette carte a été préparée en utilisant l'outil 'line density' dans ArcGIS, ensuite, la carte a été transformée en des zones ayant différente densité de linéaments. La carte de la densité de linéaments est une mesure quantitative des traits linéaires exprimée en (Km/Km²) (Waikar et al., 2014). En outre, c'est remarquable que le potentiel des eaux souterraines soit élevé dans les zones proches de la zone d'intersection des linéaments (Selvam et al., 2014).

La carte de linéaments classifiée en 4 catégories est représentée dans la figure 3. Cette carte a montré que 59% de NABATIYEH un faible taux de recharge.

3.2.2- La pente :

Le degré de la pente influe directement l'infiltration de précipitations et par suite affecte la recharge. Les surfaces ayant une pente très élevée contribuent relativement à un ruissellement élevé et une faible infiltration (Magesh et al., 2012), par suite elles sont catégorisées comme des surfaces de faible recharge. Par contre,Les pentes élevées produisent une faible recharge car l'eau coule rapidement sur la surface d'une pente forte durant la chute de pluie, alors l'eau ne

prend pas son temps pour s'infiltrer à l'intérieur de la surface et pour recharger la zone saturée.La carte des pentes est obtenue à partir de la carte des courbes de niveau de 50 mètres d'intervalle en utilisant l'outil 'Slope' dans ArcGIS. Les surfaces ayant une pente entre (0-2%) appartiennent à la catégorie 'très élevée' car ce sont des surfaces presque plates et ont un taux d'infiltration très élevé. Les surfaces ayant une pente entre (2-10%) sont considérées comme des surfaces de recharge 'élevée' à cause de la topographie légèrement ondulée avec un faible ruissellement. Les surfaces ayant une pente de (10-20%) contribuent à un ruissellement élevé et une faible infiltration, pour cela, sont catégorisées comme 'modérées', et les surfaces ayant une pente supérieure à 20% sont considérées 'faibles' à cause de la pente forte et par suite un ruissellement élevé.Cette carte montre que 77% de NABATIYEHà une topographie convenable pour avoir une recharge élevée et très élevée.

3.2.3- La densité de drainage :

L'analyse structurelle du réseau de drainage contribue dans l'identification des caractéristiques de la zone de recharge des eaux souterraines. La densité de drainage en longueur (Drainage-length density), comme définie par Greenbaum (1985), indique la longueur totale du drainage dans une unité de surface, et elle est déterminée comme suit :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{A}$$

 $Où\sum_{i=1}^{n} S_{i}$ constitue la longueur totale de drainage (Km)et A constitue l'unité de surface(km²).

La carte de drainage est préparée en utilisant ArcGIS pour digitaliser les rivières et les ruisseaux existants sur la carte de ressources naturelles à NABATIYEH. La carte de la densité de drainage est préparée à partir de la carte de drainage en utilisant l'outil 'Line density'. La carte de la densité de drainage représente des valeurs qui rangent de 0 à 2.969 Km/Km². D'un point de vue de la recharge, le poids le plus élevé est attribué à une faible densité de drainage, cependant, un point faible est attribué à une forte densité de drainage (Selvam et al., 2014). Pour le but analytique, les valeurs ont été classifiées en 3 catégories : (2.4-2.969 Km/Km²) Modérée, (1.2-2.4 Km/Km²) élevée and (0-1.2 Km/Km²) très élevée. Cette carte a montré que 95% de la zone d'étude a un taux élevé de recharge.

3.2.4- L'occupation du sol :

C'est l'une des applications importantes en télédétection. L'occupation des sols joue un rôle significatif dans le développement des ressources des eaux souterraines. En plus, Ce facteur contrôle plusieurs processus hydrologiques comme l'infiltration, l'évapotranspiration, et le ruissellement (M.L. waikar et al., 2014). La carte de l'occupation des sols est obtenue par digitalisation des images satellitaires dérivées du satellite GEOEYE-1 ayant une résolution spatiale de 46 cm. Dans la zone d'étude, l'occupation des sols est divisée en quatre catégories : les régions rocheuses, les zones urbaines, les zones rurales et les zones de végétation. Ces zones fait profiter la recharge des eaux souterraines en plusieurs voies: (1) la décomposition biologique des racines aide à desserrer la roche et le sol de sorte que l'eau peut pénétrer à la surface de la terre facilement, (2) les végétations empêchent l'évaporation directe de l'eau du sol, (3) les racines d'une plante peuvent absorber l'eau, empêchant ainsi la perte d'eau (Hsin-Fu Yeh et al., 2008). Pour cela, les surfaces de végétations sont supposées d'avoir un effet très élevé sur la procédure de recharge. Les surfaces rocheuses sont catégorisées comme des surfaces de perméabilité faible à cause de la rugosité de leur surface, Dans les zones urbaines, la surface est rugueuse et imperméable, par suite l'eau ne s'infiltre pas sauf dans quelques petites surfaces, alors ces zones sont considérées comme des surfaces ayant un effet modéré. Les zones rurales sont supposées d'avoir un effet élevé. Cette carte montre que 73% de la zone d'étude a un taux élevé de recharge.

3.2.5- Les sols :

La carte de l'indice de sol est préparée à partir de la carte de sols du Liban (1/50.000). La zone d'étude est couverte par vingt textures de sols qui peuvent être classifiées en 4 types principaux : Argile, Sableux Loam, Argile Loam, Sableux Argile Loam (IUL, Carte du sol du Liban). Ces types sont hiérarchisés selon leur effet sur la recharge des eaux souterraines en quatre classes : très élevé, élevé, modéré et faible. Cette classification peut être effectuée comme suit : l'Argile est le type le moins perméable tandis que le type 'Sableux Loam' est le type le plus perméable, le type 'argile loam' est plus perméable que l'Argile mais moins perméable que le type 'Sableux

Argile Loam' qui a une perméabilité modérée à élevée. Ceci montre que les sols ayant une faible perméabilité couvrent 53.56 % de la surface de NABATIYEH, tandis que les sols considérés comme perméables, qui ont un effet élevé et très élevé, occupent 42.22% de la zone d'étude.

3.2.6- La géologie :

La carte de l'indice de géologie est obtenue à partir des cartes géologiques du Liban. Le type de roche affecte la recharge des eaux souterraines en contrôlant la percolation des eaux à sa surface (El-Baz et al., 1995). NABATIYEH est couverte par des formations géologiques qui reviennent aux plusieurs périodes géologiques comme la Jurassique, la Crétacé, l'Éocène, la Miocène et la Quaternaire. Pour savoir l'influence de ces formations sur la recharge des eaux souterraines, nous avons étudié la lithologie de ces formations géologiques, ainsi que leurs perméabilités et leurs porosités. Les formations géologiques 'J6' et 'C2b' sont des formations de Calcaire dolomitique et de Dolomite ont une recharge très élevée. La 'C4' est une formation de calcaire dolomitique et calcaire donc elle est considérée de recharge élevée. Les formations géologiques 'C1', 'C5' et 'E2' sont considérées de recharge modérée à cause de la présence d'une lithologie perméable comme le calcaire en C5 et les formations sableux en C1. Les formations 'M', 'Mcg', 'C2a', 'C3', 'C6' ont une recharge faible à cause de la présence de la marne ou de l'argile ou les deux ensembles, et les formations quaternaires 'Q' sont des dépôts alluviaux et par suite sont aussi considérées des catégories de faible recharge (A. Shaban, 2003). Cette carte montre que 54% de la zone d'étude est couverte par des éléments de recharge élevée et très élevée.

3.2.7- Les précipitations :

Les précipitations sont connues comme la principale source de recharge des eaux souterraines dans toutes les régions climatiques (S. Selvam et al, 2014). La carte de la précipitation à NABATIYEH est dérivée de la carte de précipitation du Liban. Les données de précipitations sont divisées en 4 catégories et leur distribution géographique est représentée par la figure 9. Les régions ayant une quantité de précipitation de 900 à 1100 mm/an sont considérées de recharge très élevée, et les régions ayant une quantité de précipitation de 800 à 900 mm/an sont des régions de recharge élevée, tandis que les régions ayant une quantité de précipitation de 700 à 800 mm/an appartiennent à la catégorie de la recharge modérée et les régions ayant une quantité

Une identification basée sur la télédétection et SIG des zones potentielles de recharge des eaux souterraines au Caza du NABATIYEH : un facteur important pour la réalisation d'un POS.

de précipitation de 600 à 700 mm/an sont supposées d'être des régions de faible recharge par comparaison aux autres.

Facteur	Échelle	Catégories	Pourcentage	des Indice
	descriptive		surfaces	
La géologie	Très élevée	C2b / J6	21%	4
	Élevée	C4	33%	3
	Moderée	C1/C5/e2	45%	2
	Faible	M/Mcg/C2a/C3/C6/Q	1%	1
La densité de	Très élevée	0-1.2	55%	4
drainage	Élevée	1.2-2.4	40%	3
(Km/Km^2)	Moderée	2.4-2.96927	5%	2
L'occupation	Très élevée	Vegetation areas	57%	4
du sol	Élevée	Rural areas	16%	3
	Moderée	Urban areas	1%	2
	Faible	Rock areas	26%	1
Les	Très élevée	900-1100	23%	4
précipitations	Élevée	800-900	23%	3
(mm/an)	Moderée	700-800	40%	2
	Faible	600-700	16%	1
Les sols	Très élevée	Sandy Loam	10%	4
	Élevée	Sandy Clay Loam	32%	3
	Moderée	Clay Loam	4%	2
	Faible	Clay	54%	1
La pente	Très élevée	0-2%	36 %	4
	Élevée	2-10%	41 %	3
	Moderée	10-20%	16%	2

	Faible	>20%	7 %	1
La densité	Très élevée	1.8-2.28	1%	4
des	Élevée	1.2-1.8	4%	3
lineaments	Moderée	0.6-1.2	36%	2
(Km/Km ²)	Faible	0-0.6	59%	1

Tableau 2: Classification des facteurs pondérés influant la recharge

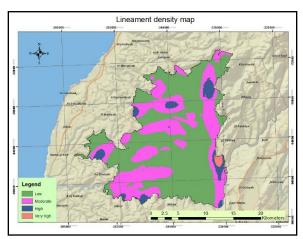


Figure 3 : La carte de la densité de linéaments

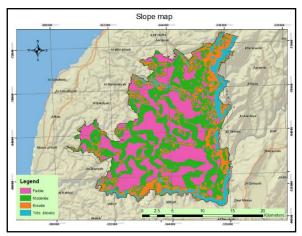


Figure 4 : La carte de la pente

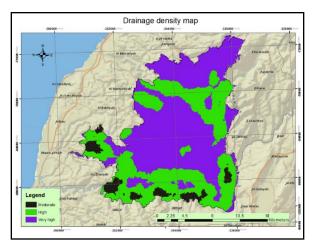


Figure 5 : La carte de la densité de drainage

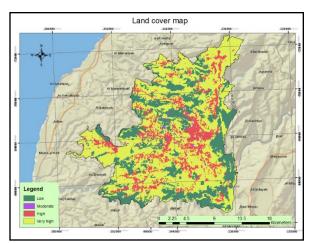


Figure 6 : La carte de l'occupation du sol

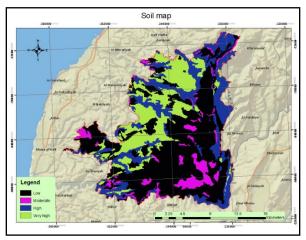


Figure 7: La carte du sol

Figure 8 : La carte de géologie

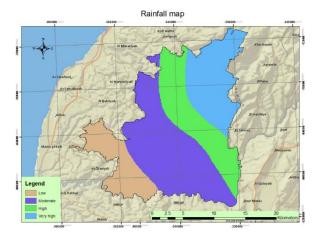


Figure 9 : La carte de précipitations

4- Résultats et discussion:

4.1- Résultats : La carte obtenue est représentée par la figure 4.1, et elle est classifiée selon la valeur de la recharge en cinq classes: "Très faible", "faible", "modérée", "élevée" et "très élevée" (Yeh et al., 2009), comme représente le tableau 3 suivant :

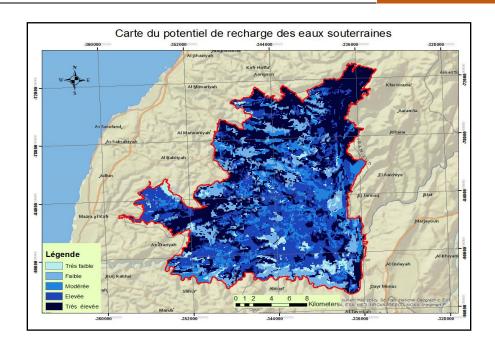


Figure 10 : Carte de potentiel de recharge des eaux souterraines

Recharge class	Range	Area	Area
		(Km^2)	(%)
Très faible	1.14-1.6	12.16	4
Faible	1.6-2	33.44	11
Modérée	2-2.4	45.6	15
Elevée	2.4-2.8	69.92	23
Très élevée	2.8-3.75	142.88	47

Tableau 3: Les caractéristiques de zones de recharge

4.2- Discussion : La carte finale de potentiel de recharge des eaux souterraines, générée en utilisant le système d'informations géographiques et la télédétection spatiale, peut être classifiée en trois catégories majeures au lieu de cinq, afin de mieux organiser la discussion : la première catégorie c'est la catégorie de recharge 'élevée' au lieu des catégories 'élevée et très élevée', la deuxième c'est celle de recharge modérée et la troisième présente la recharge 'faible et très faible' sous une même catégorie 'faible'.

Une identification basée sur la télédétection et SIG des zones potentielles de recharge des eaux souterraines au Caza du NABATIYEH: un facteur important pour la réalisation d'un POS.

Comme même, les quatre classes de chaque facteur (très élevée, élevée, modérée et faible) sont classifiées en trois catégories : élevée, modérée et faible. Pour chaque catégorie de la carte finale, nous avons déterminé la distribution des surfaces pour chaque classe de l'effet des facteurs sur la recharge.

L'intersection entre les classes de recharge de la carte finale et les classes de recharge pour chaque facteur nous donne trois tableaux, chacun d'eux représente la distribution des surfaces selon les classes de chaque facteur mais pour chaque classe de la carte finale.

Tout d'abord, La catégorie de potentiel de recharge élevée s'étend sur 71% de la zone d'étude ce qui est équivalent à environs 216 km² et à peu près le trois quart de NABATIYEH, c'est-à-dire la majorité de notre zone d'étude peut être considérée comme très rechargeable, et ceci peut se référer aux facteurs suivants : L'occupation du sol, la géologie, la densité de drainage, la pente et les précipitations.

La catégorie de recharge modérée occupe 14% de la zone d'étude, environ une surface de 43 km². Les facteurs qui affectent cette catégorie sont : L'occupation du sol, la géologie, la densité de drainage, la pente et les précipitations.

La catégorie de recharge faible exploite dans cette carte environ 46 km² qui est égale à peu près à 15 % de la superficie de la zone d'étude, c'est à dire moins que le quart de la superficie totale. Et les facteurs qui affectent cette catégorie sont : l'occupation du sol, la pente, les linéaments et le sol.

Pour une bonne compréhension de ce résultat, le tableau suivant présente le pourcentage de surface en fonction des classes de recharge pour chacune des villages à NABATIYEH. Le résultat montre que 85% des villages ont plus que la moitié de leurs surfaces de recharge élevée et très élevée.

4.3- Les zones risquées :

Pour déterminer le risque, c'est nécessaire de définir quelques termes : en premier lieu, l'enjeu qui est un élément qui forme un risque et dans ce cas c'est l'occupation du sol qui peut être polluante, et par suite, elle risque de polluer l'eau souterraine. En deuxième lieu, la vulnérabilité,

qui peut être considérée comme étant la possibilité des zones rechargeables d'être affectées par cet enjeu.

Le risque en une zone est déterminé comme une fonction du degré de recharge et de l'occupation du sol c'est-à-dire c'est le degré auquel cette recharge est affectée par l'occupation du sol, en faisant une intersection entre la carte de recharge et la carte de l'occupation du sol où celle-ci est classifiée entre zones polluantes et zones non-polluantes.

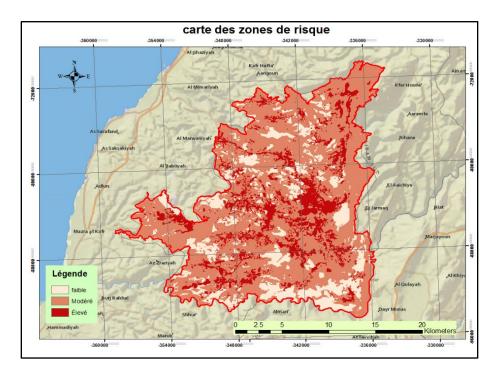


Figure 11: La carte des zones risquées

Cette carte montre que 16% de la zone d'étude est soumise à un risque élevé et 67% d'elle est modérément risquée. Ceci pose la question sur les causes de risque dans le but de freiner la régression des ressources naturelles.

Pour vérifier ce résultat, et afin de déterminer les principales causes de risque, nous avons cherché l'occupation du sol dans les zones de risque élevé et le résultat est représenté dans la carte suivante :

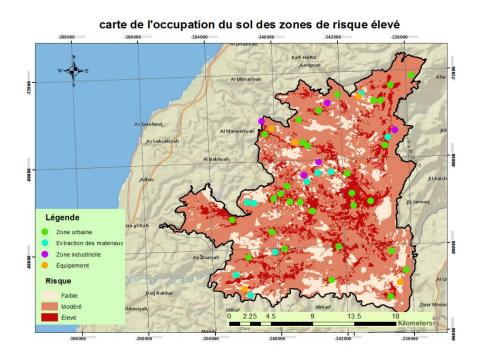


Figure 12 : Carte de l'occupation du sol des zones de risque élevé

Cette Carte montre que les causes principales de pollution et par suite de risque sont l'extension urbaine, l'extraction des matériaux, les zones industrielles et les équipements.

4.4- Une classification du sol pour la protection des eaux souterraines :

L'identification de la recharge des eaux souterraines est un facteur qui influence le plan d'occupation du sol. La carte de risque montre que 83% de la zone d'étude a un risque modéré ou élevé. En addition, l'occupation du sol des zones risques à NABATIYEH montre les causes de risques.

Dans le but de protéger la qualité des eaux souterraines dans les zones risquées, nous avons choisi la municipalité de Kfour qui a un taux de recharge important (à partir de 80%) mais malheureusement affecte par plusieurs sources de pollution.

Ensuite, une enquête détaillée des causes de risque a été faite. Cette enquête montre que les causes de risque sont : les extractions des matériaux qui sont distribuées d'une façon aléatoire, en plus, les tissus urbains et leurs infrastructures mal organisées conduisent à l'infiltration des eaux usées vers les eaux souterraines, ce qui les rend incompatibles à la consommation.

Par conséquence, cette municipalité a été choisie et une classification des terrains par rapport à la recharge des eaux souterraines a été faite. Ce plan (figure 14) doit être pris en considération lors de l'établissement d'un plan d'occupation du sol.

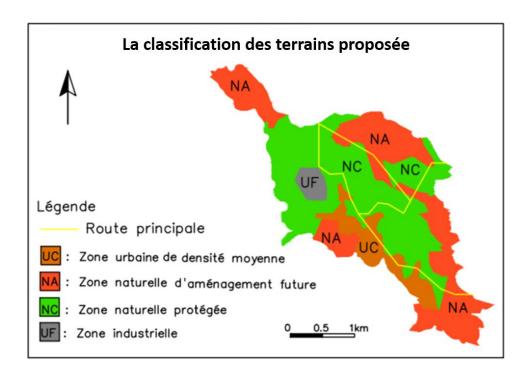


Figure 13: La classification des terrains proposée

5- Conclusion:

L'identification des zones potentilles de recharge des eaux souterraines en utilisant le SIG, la télédétection spatiale et le MIF était profitable, ensuite, elle aide les acteurs pour aménager les sources d'eau souterraine d'une façon continue. La superposition de différentes cartes thématiques, nous a permis de développer certains outils qui peuvent aider dans l'orientation des futurs projets dans la région de NABATIYEH.

Cette étude a identifié les zones potentielles de recharge des eaux souterraines dans la zone de NABATIYEH au Liban, et a créé la carte de vulnérabilité à la pollution, la carte du risque et le plan de l'occupation du sol qui prend en considération la protection des eaux souterraines et peut aider les planificateur pour établir un plan d'occupation du sol.

En réalité, cette méthodologie est compose de 7 facteurs affectant la recharge, et ils sont bases sur les caractéristiques de NABATIYEH pour établir une étude qui identifie les zones potentielles de recharge des eaux souterraines. NABATIYEH a une recharge très importante ou les zones rechargeables constituent 85% de la zone d'étude.

En opposition, ces zones de recharge sont vulnérables à la pollution à cause des activités humaines, et cela est clair dans la carte des risques développée en utilisant le SIG. Cette carte montre que 83% de la zone d'étude présente un risque modéré et élevé. Finalement, un plan d'occupation du sol a été fait pour la municipalité de Kfour qui souffre d'une pauvre gestion des terrains pendant que NABATIYEH a taux de recharge important.

Références:

Comeir, Fady, The reality of water in Lebanon, Lebanese Army magazine, April 2010.

El-Baz, F, Himida, I, Groundwater potential of the Sinai Peninsula, Egypt, Project summary, AID, Cairo, 1995.

Greenbaum, D, Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith. Br Geol Surv Rep OD 85:36, 1985.

Islamic University of Lebanon, Geological map of Lebanon – Scale 1/50000, 2006.

Magesh, N.S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, John Prince, Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF technique, 2012.

Radhakrishnan, D., Ramamoorthy, P., Delineation of Groundwater Recharge Potential zones in Mailam Block, Villupuram district, Using GIS, 2014.

Shaban, A., Analyzing climatic and Hydrolic Trends in Lebanon, 2011.

Shaaban, A., Hydrogeology Study in Lebanon Occidental: Remote sensing, Ph.D. dissertation, Bordeaux University 1, 2003, 202 pp.

- Shaban, Amin, Khawlie, Mohamad, Abdallah, Chadi, Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: The case of occidental Lebanon, 2006.
- Sharma, M.P., Kujur, Anukaran, Sharma, Udayan, Identification of groundwater prospecting zones using remote sensing and GIS techniques in and around Gola block, Ramgraph district, Jharkhand India, 2012.
- Selvam, S., Magesh, N.S., Chidambaram, S., Rajamanickam, M., Sashikkumar, M.C., A GIS based identification of groundwater recharge potential zones using RS and IF technique: a case study in Ottapidaram taluk, Tuticorin district, Tamil Nadu, 2014.
- Sener, E., Davraz, A., Ozcelik, M., An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey, Hydrogeology Journal, 13 (2005), pp. 826834
- Waikar, M.L., Nilawar, Aditya P., Identification of Groundwater Potential Zone using Remote Sensing and GIS Technique, 2014.
- Yeh, Hsin-Fu, Lee, Cheng-Haw, Hsu, Kuo-Chin, Chang, Po-Hsun, GIS for the assessment of groundwater recharge potential zone, 2008