

# Modélisation spatio-temporelle de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de Rmel-Oulad Ogbane (Nord-Ouest marocain)

## Spatial and temporal modelling of the vulnerability to pollution of groundwater of Rmel-Oulad Ogbane (NW-Morocco)

■ M.J. EL HAMIDI<sup>1\*</sup>, M. FAOUZI<sup>1</sup>, A. LARABI<sup>1</sup>, R. EL GAATIB<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre régional de l'eau du Maghreb – École Mohammadia d'ingénieurs – Université Mohammed V – Rabat – Maroc

### Mots-clés :

Rmel-Oulad Ogbane  
Eau souterraine  
Vulnérabilité  
Foyers de pollution  
Drastic  
Variabilité  
spatio-temporelle

### RÉSUMÉ

Située au nord-ouest du Maroc, la plaine de Rmel-Oulad Ogbane couvre une superficie de 305 km<sup>2</sup> dont 32% est dominée par l'agriculture irriguée par les eaux de surface du barrage oued El Makhazine. Dans la plaine, l'agriculture est marquée par l'usage intensif des fertilisants et des pesticides qui occasionnent la pollution diffuse des eaux souterraines. À cette pollution agricole s'ajoutent d'autres foyers ponctuels de pollution (rejets dans les milieux naturels des effluents industriels, rejets domestiques des centres urbains et ruraux, etc.) qui accentuent les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines. Dans l'objectif d'évaluer la sensibilité à la pollution des eaux de la nappe et d'étudier leur vulnérabilité spatio-temporelle, le modèle Drastic a été utilisé et l'élaboration des cartes a été automatisée moyennant la plateforme « Drastic Model » que nous avons conçue sous ModelBuilder/ArcGIS. Quatre scénarios ont été choisis, compte tenu de la variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique d'une part et, d'autre part, de l'état d'aménagement hydro-agricole du périmètre irrigué. Les résultats obtenus montrent que les quatre cartes de vulnérabilité établies pour chacun des scénarios indiquent que les superficies moyennement à fortement vulnérables sont généralement comprises entre 8433 et 15 128 ha ; soit 28 à 50% environ de la superficie de la zone d'étude. Ainsi, il ressort que les eaux de la nappe se révèlent plus vulnérables durant les saisons pluvieuses et que la mise en irrigation par les eaux de surface de la plaine a amplifié la vulnérabilité des eaux souterraines. De ce fait, des mesures de protection doivent être entreprises pour appréhender la pollution des eaux souterraines de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane en matière de mode de gestion de l'irrigation et des pratiques agricoles associées.

### Keywords:

Rmel-Oulad Ogbane  
Groundwater  
Vulnerability  
Hot-spot pollution  
Drastic  
Spatial and  
temporal variability

### ABSTRACT

Located in north-western of Morocco, the Rmel-Oulad Ogbane plain covers an area of 305 km<sup>2</sup>, where 32% is dominated by agriculture activities which is irrigated by surface water from the oued El Makhazine dam. In the plain, agriculture is marked by the intensive use of fertilizers and pesticides that cause diffuse pollution of groundwater. In addition to this agricultural pollution, there are other hot-spot pollution (discharges into the natural environment of industrial effluents, domestic discharges from urban and rural centers, etc.) which accentuate the risks of degradation of the groundwater quality. In order to evaluate the sensitivity to pollution of groundwater and to study their spatial and temporal vulnerability, the Drastic model was used and the establishment of automated maps was carried out using the "Drastic Model" platform that we designed under ModelBuilder/ArcGIS. Four scenarios were chosen, taking into account the spatial and temporal variability of the rainfall hazard in one hand and the hydro-agricultural development of the irrigated perimeter in the other. The obtained results show that the four vulnerability maps established for each scenario indicate that the meanly to highly vulnerable areas are generally between 8,433 and 15,128 ha; approximately 28 to 50% of the study area. Moreover, it appears that groundwater is more vulnerable during the rainy seasons and that the irrigation by the surface waters of the plain has amplified the groundwater vulnerability. As a result, protective measures must be taken to apprehend the groundwater pollution of the Rmel-Oulad Ogbane aquifer in terms of the irrigation management and associated agronomic practices.

## Introduction

Compte tenu de l'impact des changements climatiques dans les régions arides et semi-arides sur le renouvellement et sur la capacité de stockage des ressources en eau souterraine qui constituent des réserves stratégiques, il est impératif d'évaluer les potentialités de ces ressources sur le plan quantitatif et qualitatif pour ré-

pondre aux besoins domestiques, industriels et agricoles des populations. Toutefois, les eaux souterraines sont devenues de plus en plus vulnérables, surtout dans les zones agricoles caractérisées par l'utilisation intensive des engrais et des pesticides engendrant une pollution diffuse des eaux. D'ailleurs, le lessivage des produits chimiques (engrais, produits phytosanitaires, etc.) et les apports en grandes quantités des eaux d'irrigation de surface et/ou souterraines accentuent la contamination des eaux souterraines. Pour répondre à ces préoccupations,

\* Auteur correspondant – Courriel : elhamidi.mohamed.jalal@gmail.com

des approches méthodologiques sont proposées pour caractériser, évaluer et cartographier la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution.

Le concept de l'évaluation de la vulnérabilité à la contamination des eaux souterraines en milieux poreux a été introduit depuis les années 1960 et a donné naissance à plusieurs modèles. Le modèle Drastic adopté dans le cadre de ce travail a été développé dans les années 1980 par l'Agence américaine de la protection de l'environnement (EPA) en vue de mettre en place un modèle d'estimation qui intègre tous les paramètres intrinsèques de la vulnérabilité applicable aux conditions hydrogéologiques rencontrées aux États-Unis [ALLER *et al.*, 1987]. En pratique, le traitement des données à références spatiales et l'analyse multicritère des paramètres du modèle Drastic sont mis en œuvre en utilisant les fonctionnalités de l'analyse spatiale sous environnement SIG (système d'information géographique). L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines dans la zone d'étude vise la cartographie et la délimitation de zones homogènes selon leurs degrés de risques à la pollution.

Toutefois, le choix du modèle Drastic pour l'étude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane se justifie par le fait qu'il constitue l'un des modèles les plus utilisés qui prend en considération plusieurs paramètres pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution potentielle des aquifères. Il est fondé sur une approche universelle très utilisée qui a été testée et validée avec succès et qui fait encore l'objet de plusieurs applications à travers le monde. À titre d'exemples nous citons : MENANI [2001] qui l'a utilisée pour étudier l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher située au Nord-Est algérien ; PISCOPO [2001] a appliqué la méthode Drastic pour établir la carte de vulnérabilité des eaux souterraines avec des notes explicatives de la région de Castlereagh en Australie ; MURAT *et al.* [2003] l'ont testée au Québec ; PANAGOPOULOS *et al.* [2006] l'ont utilisée moyennant une optimisation, selon des méthodes statistiques, pour la correction des facteurs de pondération de tous les paramètres de la méthode Drastic appliquée et testée pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution nitrique dans une partie de la province de Trifilia en Grèce ; JOURDA *et al.* [2007] l'ont adoptée pour évaluer le degré de protection des eaux souterraines et la vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua au sud-est de la Côte d'Ivoire. Encore, ALWATHAF et EL MANSOURI [2011] l'ont appliquée pour l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère du bassin de Sanaa au Yémen. Cette même méthode a été utilisée par KALIRAJ *et al.* [2014] pour la cartographie des

zones vulnérables de l'aquifère côtier au sud-ouest de Kanyakumari en Inde. Au Maroc, le modèle Drastic a été appliqué pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines dans de nombreuses régions : SINAN *et al.* [2003] l'ont appliqué et ont proposé une nouvelle méthodologie pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution de la nappe d'eau souterraine de la nappe du Haouz de Marrakech ; BENDAOU *et al.* [2005] l'ont appliqué pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la nappe du plateau de Meknès ; SADKAOUI *et al.* [2013] l'ont testé pour identifier les zones à haut risque de contamination des eaux souterraines du bassin Fez-Meknès de Saïs ; AZZI *et al.* [2014] l'ont utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du causse moyen atlasique ; JILALI *et al.* [2014] l'ont utilisé pour la cartographie de la vulnérabilité et du risque des eaux souterraines pour quatre années différentes dans l'oasis de Figuig (Maroc oriental) ; KNOUZ *et al.* [2016] l'ont utilisé pour évaluer la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique des Béni Amir dans le périmètre irrigué de Tadla (Moyen Atlas).

Enfin, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer la dynamique spatio-temporelle de la vulnérabilité de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane selon quatre scénarios différenciés par leurs régimes pluviométriques et leurs états d'aménagement hydro-agricole. Cette démarche vise la mise à la disposition des gestionnaires et des acteurs dans le domaine de l'eau de cartes thématiques décisionnelles pour orienter et optimiser la gestion à la fois des eaux de surface et souterraines et les pratiques agricoles, pour assurer la protection de la qualité des eaux souterraines et pour la mise en place d'actions efficaces pour réduire ou éviter les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines engendrée par les différentes activités anthropiques ; agricoles, industrielles, domestiques, etc.

## 1. Matériels et méthodes

### 1.1. Zone d'étude

#### 1.1.1. Cadre général

La plaine de Rmel-Oulad Ogbane se situe au nord-ouest du Maroc, au sud de la ville de Larache, dans le sous-bassin hydrographique du bas Loukkos drainé par les oueds Sakh-Sokh et Smid-El-Ma/El-Kihel (*figure 1*). Elle couvre une superficie de 305 km<sup>2</sup> environ entre l'océan Atlantique à l'ouest et le talus quaternaire constitué par une succession de collines de la nappe préifaine à l'est [THAUVIN, 1971]. La zone d'étude s'inscrit dans un contexte climatique humide à subhumide

sec marqué par l'influence adoucissante de l'Atlantique qui diminue vers l'est (zone de Oulad Ogbane) où il acquiert un caractère plus continental [MESSAOUD, 1963]. La nappe de Rmel-Oulad Ogbane constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable des

villes de Larache et de Ksar-El Kébir (avec des prélèvements estimés à 200 L/s en 2016) et des centres ruraux [ABHL, 2016]. De plus, les eaux de la nappe sont destinées à l'irrigation de 14 025 ha du grand périmètre du Loukkos [ORMVAL, 2014].

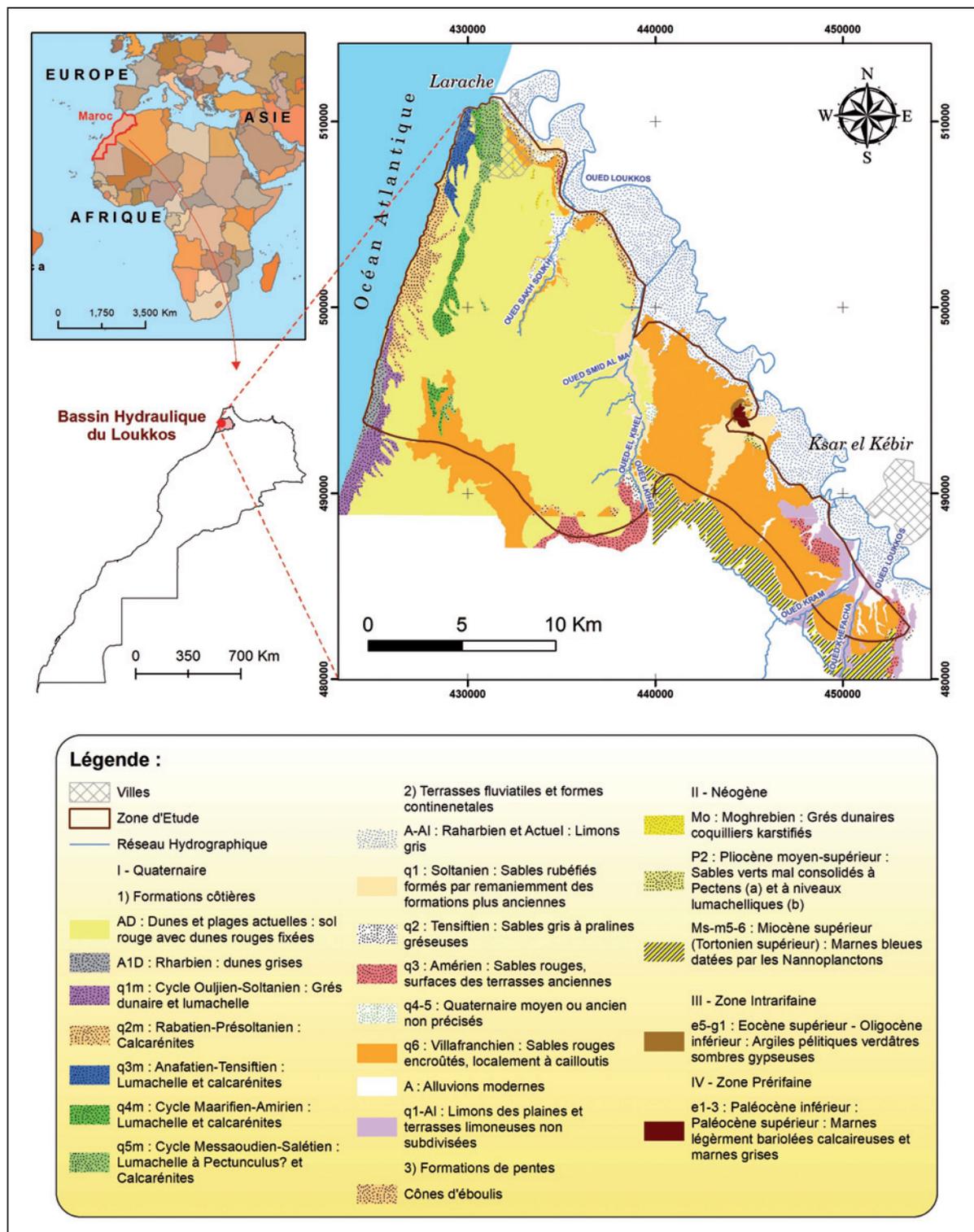


Figure 1. Carte de situation et géologie de la zone d'étude

### 1.1.2. Cadre géologique et hydrogéologique

Géologiquement, les travaux réalisés par MESSAOUD [1963] et THAUVIN [1971] ont permis d'identifier et de caractériser les principales unités lithostratigraphiques dans la zone d'étude (figure 1). La série stratigraphique de la plaine de Rmel-Oulad Ogbane s'échelonne du mio-pliocène au quaternaire récent. Elle se compose du bas vers le haut par 1) les marnes bleues du mio-pliocène qui constituent le substratum imperméable de l'aquifère; 2) les formations marines et dunaires du plio-villafranchien, constituées de grès coquillers, de sables et de marnes plus ou moins sableuses. Ces formations sont recouvertes par des cailloutis à ciment argileux rouge et des limons sableux rouges du villafranchien; 3) enfin, les grès lumachelliques marins du quaternaire ancien évoluent latéralement vers les alluvions fluviales et les grès dunaires du quaternaire continental à l'est et au centre de la plaine. Le quaternaire récent est représenté par des alluvions, des sables fins et des dunes et n'affleure que le long des oueds.

De point de vue hydrogéologique, l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane est constitué par un complexe très hétérogène de formations fluviolacustres. Il est constitué principalement des grès coquillers du moghrébien [CHOUBERT et AMBROGGI, 1953] surmontés par des sables et des limons rouges plus ou moins marneux du quaternaire dans la zone de Rmel, et qui évoluent latéralement à l'est vers des galets et limons sableux dans la zone des Oulad-Ogbane. Par endroits, une formation intermédiaire de sables argileux et d'argiles sableuses, s'intercale entre les deux unités du moghrébien et du quaternaire et peut constituer un écran semi-perméable isolant les deux unités hydrogéologiques [DRPE, 1987].

### 1.2. Modèle Drastic

L'évaluation de la vulnérabilité à la contamination de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane a été réalisée sur la base du modèle Drastic développé par ALLER *et al.* [1987]. Il s'agit d'un modèle de systèmes paramétriques à cotations numériques qui dépendent de la sensibilité aux impacts humains et/ou naturels et de leurs poids relatifs. Outre les paramètres intrinsèques statiques définissant la vulnérabilité verticale à la pollution des aquifères, le régime pluviométrique et les activités/aménagements hydro-agricoles sont qualifiés de paramètres dynamiques. Ces derniers se caractérisent par une variabilité spatio-temporelle et sont susceptibles d'affecter la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : recharge efficace, profondeur de la nappe, impact de la zone non saturée et hétérogénéité de lithologie de la zone saturée de l'aquifère.

Afin de caractériser la dynamique spatio-temporelle de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane, quatre scénarios sont choisis selon leurs régimes pluviométriques dont la moyenne annuelle est estimée à 684 mm et de l'état d'aménagement hydro-agricole de la zone d'étude :

– **Scénario 1 - AvMI 61-62 (avant la mise en Irrigation (1961-1962))** : année hydrologique 1961-1962 considérée très pluvieuse (1 122 mm/an), avant les premières mises en irrigation du périmètre par les eaux de surface réalisées en 1981. Pour ce scénario, la nappe était en état d'équilibre et son alimentation s'est fait de manière naturelle par l'infiltration des eaux de pluies;

– **Scénario 2 - ApMI 86-87 (après la mise en irrigation (1986-1987))** : année hydrologique 1986-1987 peu sèche (539 mm/an) et après la mise en eau du périmètre agricole de Rmel par les eaux de surface commencée en 1981 avec une superficie irriguée aménagée de 6 244 ha (soit 73% de la superficie aménagée à l'état actuel). Le déficit pluviométrique enregistré par rapport à la moyenne annuelle a engendré une réduction de la recharge de la nappe. Cependant, cette réduction a été compensée en partie par la recharge artificielle par les eaux d'irrigation de surface;

– **Scénario 3 - ApMI 95-96 (après la mise en irrigation (1995-1996))** : année hydrologique 1995-1996 très pluvieuse (1 238 mm/an) et après achèvement des travaux d'aménagement hydro-agricole avec une superficie irriguée par les eaux de surface ramenée à 8 576 ha. Les grands apports de la nappe par précipitations, en plus de l'accroissement de la recharge par les eaux d'irrigation de surface à la suite de l'extension de l'irrigation à d'autres secteurs, ont engendré une remontée notable du niveau piézométrique de la nappe;

– **Scénario 4 - ApMI 13-14 (après la mise en irrigation (2013-2014))** : année hydrologique 2013-2014 relativement déficitaire, avec des précipitations de 513 mm/an, et les besoins de l'agriculture irriguée ont été assurés en partie par les eaux d'irrigation de surface et complétés par les pompages agricoles intensifs des eaux de la nappe. Toutefois, les eaux de la nappe sont devenues, à partir de cette décennie et à la suite de l'explosion démographique, de plus en plus sollicitées pour les besoins en eau potable des villes de Larache et de Ksar-El-Kébir.

Ainsi, le choix de ces quatre différents scénarios vise l'étude et l'évaluation du poids de chacun de ces paramètres dynamiques et de son impact sur la variabilité spatio-temporelle de la vulnérabilité de la nappe à la pollution. ►



# Solutions globales de contrôle/commande et télégestion

Distribution et traitement des eaux



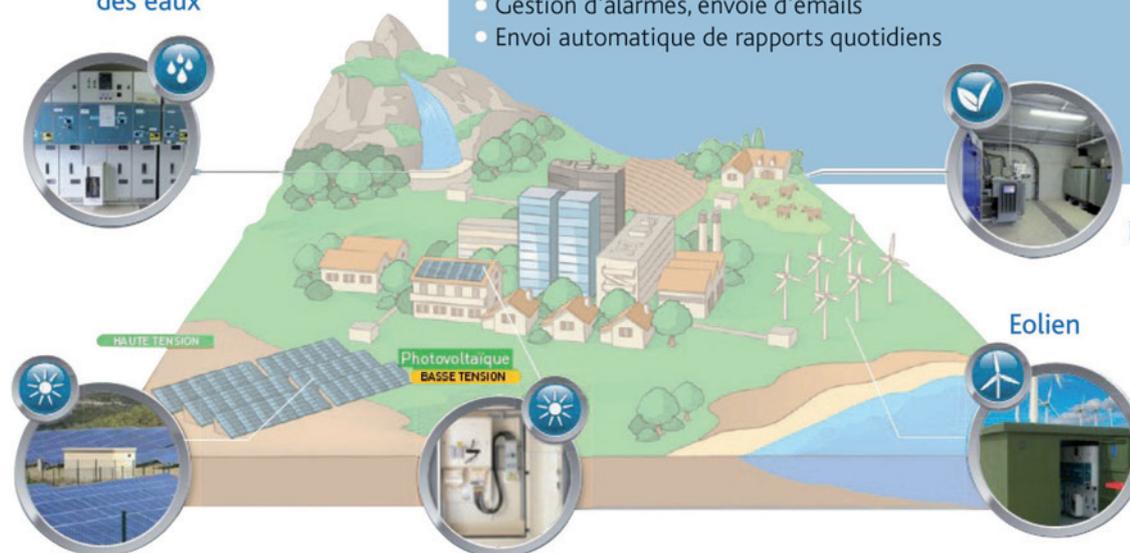
## Etude et mise en œuvre d'automates de télégestion :

- Acquisition et stockage des données
- Contrôle à distance
- IHM embarqué localement et accessible via un réseau Ethernet
- Maintenance à distance (application et IHM) via GPRS
- Gestion d'alarmes, envoi d'emails
- Envoi automatique de rapports quotidiens

Bioénergie



Eolien



### Entrées/sorties sur Ethernet

- Connexion transparente à tous les systèmes SCADA
- Economie de 80% de largeur de bande réseau
- Réponses d'E/S 7 fois plus rapides
- Large plage de température -40 à +75°C
- 2 ports intégrés
- Anneau redondant Turbo Chain© (temps de cicatrization <20 ms)



### Supervision et IHM

- Clients locaux IHM
- Supervision centralisée de l'ensemble de vos installations de 50 à 450 000 variables
- Gestion d'alarmes et de télésurveillance
- Rapport et liaison bases de données de gestion



### Variateur de vitesse

- Considérables économies d'énergie grâce à la technologie OEC
- Plateforme d'entraînement ouverte et modulaire
- Une large gamme de produits adaptés au besoin du marché
- Utilisation & mise en service simples
- Gestion & contrôle des données optimisés
- Des produits ultra fiables
- Conformité aux normes standards et certificats mondiaux



### Automates de télégestion

- Tout en un
- Automate programmable
- 4 ports de communication
- Serveur web embarqué
- Robuste et compact
- Gestion d'alarme
- Version IP68 avec autonomie 10 ans



# Densiline

*dans l'industrie*

*comme dans les collectivités*

[www.densiline.com](http://www.densiline.com)

*remontées de boues  
en clarificateurs?  
entraînements de MES?*

*MES  
DCO  
Phosphates  
en excès?*

*économique,  
écologique, rentable,  
sans entretien, sans énergie*



*La solution:*

## Speed--clar



*tout clarificateur  
sucé, raclé,  
de 6 à 52 m de diamètre  
de 5 à 900 m<sup>3</sup>/h*

*S'installe en 24h, possibilité d'installation en eau sur demande*

### ► 1.3. Description du modèle Drastic

Il s'agit d'une cartographie à index, avec pondération, des paramètres les plus pertinents vis-à-vis des réalités de terrain par la prise en compte de l'importance relative de chaque paramètre vis-à-vis de la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine en milieux poreux. Le modèle Drastic est ainsi fondé sur l'analyse spatiale de sept paramètres dont chacun est défini par une valeur de l'indice de vulnérabilité. Ces paramètres correspondent aux initiales de la méthode et se définissent comme suit : (D) « *Depth to water table* » ou « profondeur jusqu'à l'eau » qui représente l'épaisseur de la zone non saturée; (R) « *Net recharge* » ou « recharge efficace »; (A) « *Aquifer media* » ou « Nature de la zone saturée » qui correspond à la partie de l'aquifère où circulent les eaux souterraines; (S) « *Soil media* » ou « type de sol » qui recouvre la partie supérieure de la zone non saturée; (T) « *Topography* » ou « pente du terrain » qui conditionne le ruissellement et/ou l'infiltration des eaux de pluies; (I) « *Impact of vadose zone* » ou « impact de la zone non saturée » dont les hétérogénéités et l'épaisseur déterminent le temps de transit du polluant jusqu'à la zone saturée; et (C) « *Hydraulic conductivity of the aquifer* » ou « conductivité hydraulique de l'aquifère » qui désigne l'aptitude d'un milieu poreux à se laisser traverser par l'eau.

Le travail entrepris a été réalisé sur plusieurs étapes à commencer par la collecte, à partir de différentes

sources d'information, des données relatives à chaque paramètre (*annexe I*), l'analyse et le traitement géostatistique pour dresser des cartes thématiques des paramètres précités pour chacun des quatre scénarios. Chaque paramètre spatialisé est ensuite subdivisé en intervalles discrétisés et hiérarchisés selon des classes de valeurs significatives auxquelles on affecte des cotation (index) numériques croissantes en fonction de leurs sensibilités relatives à la vulnérabilité. Les cartes thématiques standard sont donc transformées en cartes reclassifiées sous format matriciel avec une grille de 50 m × 50 m de résolution.

Pour plus de détails, l'*annexe II* décrit les sept paramètres intrinsèques de la vulnérabilité et les cotes, de 1 à 10, qui leurs sont attribuées selon les valeurs des classes ainsi que leurs poids relatifs [ALLER *et al.*, 1987].

La *figure 2* résume la démarche suivie et le *tableau I* récapitule les classes, les cotes et les poids de chaque paramètre du modèle Drastic. Le modèle considère un indice numérique (poids paramétrique) compris entre 1 et 5 et dont l'ordre de grandeur reflète le degré d'influence du paramètre. Pour ce qui est des cotes des classes de chaque paramètre après reclassification, elles varient entre 1 et 10 selon l'impact relatif sur la vulnérabilité. La valeur 1 correspond aux conditions de plus faible vulnérabilité à la pollution alors que la valeur 10 exprime la plus forte vulnérabilité.

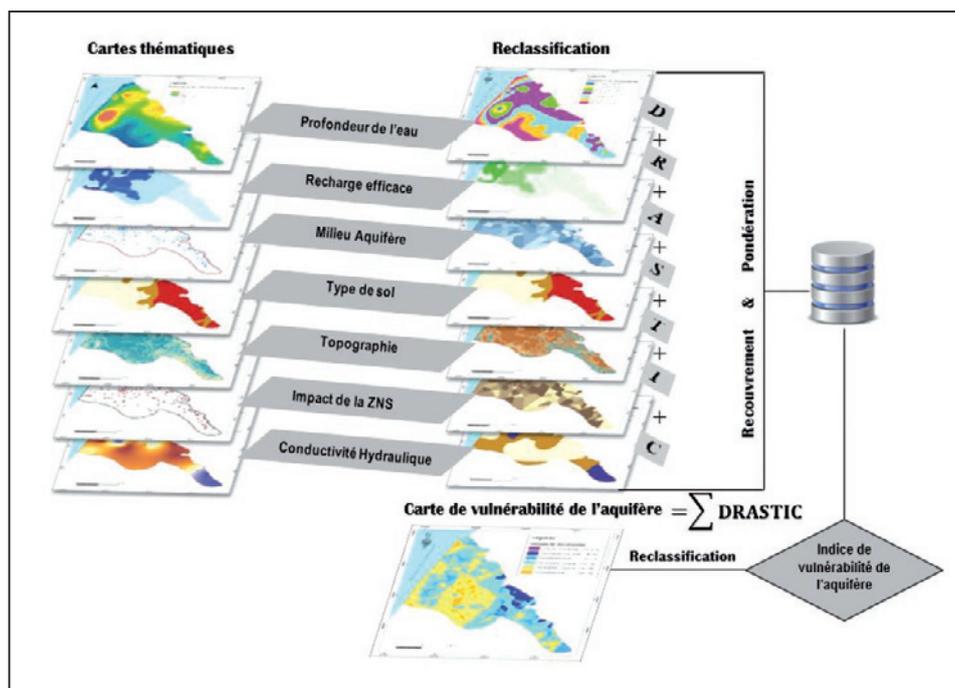


Figure 2. Méthodologie schématique de l'évaluation de la vulnérabilité selon le modèle Drastic

Paramètres Drastic	Classes (en unités U.S.A. selon ALLER et al. [1987] ici converties au SI)	Cotes* ou Notes	Poids*	(Cote × Poids)	Superficie correspondante cas d'étude)	
					%	km <sup>2</sup>
(D) Profondeur du plan d'eau (m)	0 - 1,52	10		50	9,3	28,35
	1,52 - 4,75	9		45	18,43	56,23
	4,75 - 9,14	7		35	30,25	92,33
	9,14 - 15,24	5	5	25	30,5	93,07
	15,24 - 22,86	3		15	9,34	28,51
	22,86 - 30,48	2		10	1,8	5,5
	> 30,48	1		5	0,38	1,15
(R) Recharge efficace (mm)	101,6 - 177,8	6		24	72,52	221,39
	177,8 - 254	8	4	32	20,01	61,09
	> 254	9		36	7,47	22,79
(A) Milieu aquifère	Marnes, limons et argiles	2		6	4,38	13,38
	Marnes sableuses	3		9	11,96	36,49
	Sables marneux, sables argileux	4		12	16,25	49,58
	Grès calcaires	5	3	15	25,49	77,79
	Grès	6		18	23,53	71,8
	Grès sableux	7		21	11,29	34,44
	Sables, galets et graviers	8		24	7,1	21,64
(S) Type de sol	Gravier	10		20	21,9	66,72
	Sable	9	2	18	54,58	166,7
	Argile	1		2	23,52	71,72
(T) Pente du terrain (%)	0 - 2	10		10	53,72	163,95
	2 - 6	9		9	30,85	94,16
	6 - 12	5	1	5	11,9	36,26
	12 - 18	3		3	2,66	8,12
	> 18	1		1	0,87	2,66
(I) Impact de la zone non saturée	Marnes sableuses	3		15	12,63	38,53
	Sables marneux, sables argileux	4		20	7,78	23,75
	Grès calcaires	5		25	7,51	22,95
	Grès	6	5	30	25,83	78,83
	Grès sableux	7		35	18,6	56,74
	Sables, galets et graviers	8		40	27,65	84,38
(C) Conductivité hydraulique (m/s)	$4,71 \times 10^{-7} - 4,71 \times 10^{-5}$	1		3	43	131,22
	$4,71 \times 10^{-5} - 1,41 \times 10^{-4}$	2	3	6	38,42	117,25
	$1,41 \times 10^{-4} - 3,3 \times 10^{-4}$	4		12	18,58	56,7

\*Cote et \*poids selon ALLER et al. [1987].

**Tableau I. Récapitulatif des valeurs de notes, de poids et des superficies des différents paramètres Drastic du 4<sup>e</sup> scénario**

Enfin, la carte de vulnérabilité de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane pour chaque scénario résulte du croisement des sept cartes matricielles des paramètres intrinsèques reclassifiés. Elle est obtenue en analysant pour chaque raster la somme pondérée à partir des cartes matricielles par l'application d'une combinaison linéaire des sept paramètres selon l'indice Drastic (ID) :

$$ID = Dp \times Dc + Rp \times Rc + Ap \times Ac + Sp \times Sc + Tp \times Tc + Ip \times Ic + Cp \times Cc \quad [\text{Équation 1}]$$

où *D*, *R*, *A*, *S*, *T*, *I* et *C* sont les sept paramètres du modèle Drastic, l'indice « p » étant le poids du paramètre et l'indice « c » est la cote associée. L'indice Drastic ainsi calculé représente une mesure du niveau de vulnérabilité à la pollution de l'aquifère variant de 23 (0%) à 226 ►

AQUA-MESURE est une société de services qui offre une large gamme de prestations telle que la débitmétrie, la limnimétrie, le prélèvement, le suivi de piézomètre, la mise en place et le suivi d'équipements pour des mesures temporaires ou permanentes. Elle est aujourd'hui reconnue pour la qualité de son travail, ses compétences et son savoir-faire. AQUA-MESURE possède un parc de matériel adapté, sans cesse renouvelé en fonction des évolutions techniques.

Grâce à son expérience dans le domaine de l'eau (20 années), l'équipe d'Aqua Mesure accompagne les bureaux d'études, les collectivités et les industriels dans la métrologie des eaux (eau potable, eaux usées...)

AQUA-MESURE est accrédité COFRAC (Accréditation n° 1-5815) selon la NF EN ISO/IEC 17025:2005. Portées disponibles sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)

## Deux pôles d'activités :

### Pôle études urbaines :

- Mise en place et suivi de points de mesure temporaires (études, modélisation,...)
- Contrôle et expertise des sites permanents
- Campagne de pollution sur réseau, recherche des micropolluants en amont des stations d'épuration



### Pôle industrie :

- Suivi environnemental de la qualité des eaux (bilans 24 heures, prélèvements d'eaux souterraines, d'eaux superficielles, d'eau potable, d'eaux chaude sanitaire, de TAR,...)
- Campagne RSDE ICPE, RSDE STEU



### Contact

Mail : [contact@aquameasure.fr](mailto:contact@aquameasure.fr)

Telephone : **09-81-91-71-92**

Adresse : 6-8 rue de la closerie  
91090 LISSES

« Notre indépendance garantit l'objectivité de nos résultats »





Passion & Solutions

**4 900** collaborateurs  
**55** implantations en France  
Présent dans **30** pays

- . Ingénierie
- . Conseil, audit
- . Management de projet
- . Ensemblier, clés en main

## Un groupe international multidisciplinaire et indépendant

BÂTIMENT - MULTI-SITES - INDUSTRIE  
EAU - MARITIME - ENVIRONNEMENT - ÉNERGIE  
TRANSPORT - VILLE

[www.arteliagroup.com](http://www.arteliagroup.com)

# HEAT COVER BY SORODIST



**INNOVATION**

**HeatCover®** est un produit liquide 100% biodégradable, qui lutte contre l'évaporation et la déperdition de chaleur. Grâce à ses molécules actives, HeatCover forme à la surface de l'eau un film totalement invisible. Innovant et intelligent le produit s'adapte à tous les types de bassins intérieurs comme extérieurs et à tous les systèmes de filtration.

*Que vous ayez un camping, un hôtel, un centre de thalassothérapie ou encore que vous soyez un particulier, baissez vos factures d'eau et d'électricité sans attendre.*

UN PRODUIT **INVISIBLE**,  
POUR DES **ÉCONOMIES VISIBLES**



### ÉCONOMISEZ L'EAU !

Le produit forme à la surface de l'eau une barrière, invisible et inodore réduisant l'évaporation.



### ÉCONOMISEZ L'ÉLECTRICITÉ !

**HeatCover®** préserve la température de votre bassin et évite à votre pompe à chaleur et à votre système de déshumidification de tourner à plein régime.



### ÉCONOMISEZ LES PRODUITS DE TRAITEMENT !

Grâce à l'économie d'eau réalisée, vous réduisez ainsi votre consommation de produits chimiques.

**POLLUTECH 2018**

HALL 6  
STAND G56

[www.sorodist.com](http://www.sorodist.com)

+33 (0)4 68 92 94 00  
sorodist@sorodist.fr



## Les experts de Robinetterie • Vannes • Clapets

### Distribution d'eau

Fabricant de vannes à opercules, vannes papillon, vannes à guillotine, clapets anti-retour, ventouses, vannes de régulation et accessoires. Les vannes VAG sont réputées pour leur durabilité et leur fiabilité de fonctionnement.



### Assainissement

Toute la gamme de production VAG en version eaux usées, des vannes à opercule dédiées aux vannes murales, clapets visitables et clapets d'extrémité. L'expérience VAG et la connaissance du traitement des eaux usées vous assurent les meilleurs produits pour votre réseau.



**POLLUTECH 2018**

Venez rencontrer nos experts à Pollutec:  
Hall 6 Stand E97

[www.vag-group.com](http://www.vag-group.com)



## Solutions IoT, IIoT & M2M pour l'industrie, le bâtiment et l'énergie

### IoT

Télérelève de compteurs - mesure - suivi process  
monitoring énergétique...

### IIoT/M2M

Télémaintenance VPN - Télégestion - Alarmes  
Datalogging - Passerelles de données...



[www.rg2i.fr](http://www.rg2i.fr) - [info@rg2i.fr](mailto:info@rg2i.fr) - 04 77 92 03 56

- (100%) [ALLER *et al.*, 1987]. Les cartes résultantes pour les quatre scénarios sont des cartes sans dimension et s'appellent cartes de l'indice Drastic ou « *Drastic pollution index* » dont l'ordre de grandeur traduit la sensibilité à la contamination des eaux souterraines.

## 2. Préparation du modèle

La base de données géographique sous SIG, élaborée pour l'étude de la vulnérabilité de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane, a permis l'intégration des différentes données nécessaires pour l'application de l'approche Drastic. Les données collectées, provenant de différentes sources et sous différents formats, ont été traitées, validées, organisées et structurées en couches d'information selon l'objectif assigné. Les sept paramètres environnementaux (statiques et dynamiques) du modèle Drastic ont été ensuite compilés pour produire les cartes paramétriques matricielles reclassifiées requises pour l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe pour les quatre scénarios retenus par l'étude. L'élaboration, sous environnement ArcGIS, des cartes de vulnérabilité a été ainsi basée sur les fonctionnalités de géotraitement et d'analyse spatiale et automatisée par la mise en œuvre d'une plateforme « Drastic Model » par l'extension « Model Builder ».

### 2.1. Paramètres statiques

#### 2.1.1. Type de sol (S)

Les études pédologiques réalisées dans la zone d'étude ont mis en évidence cinq types de sols par leurs matériaux d'origine [ONI, 1963; SICORES, 1971; ORMVAL, 1976 et 1977] : (1) les sols fersiallitiques; (2) les sols peu évolués; (3) les sols hydromorphes; (4) les vertisols; et (5) les sols alluvionnaires (*annexe III*). Les sols fersiallitiques à texture sableuse et de forte à moyenne perméabilité s'étendent sur la grande partie de Rmel, ils sont considérés comme très vulnérables et une cote de 9 leur a été attribuée. Dans la zone des Oulad Ogbane, les vertisols argileux hydromorphe (Tirs) à texture argileuse et de faible perméabilité se présentent comme les moins vulnérables avec une cote de 1. Les parties nord/nord-est et orientale de la plaine de Rmel, ainsi que le secteur sud-ouest des Oulad Ogbane, sont occupées par des graviers à texture alluvionnaire de forte perméabilité. Ces derniers sont considérés comme étant les plus vulnérables et une cote de 10 leur a été attribuée.

#### 2.1.2. Topographie (T)

Les courbes de niveau et les points cotés des quatre cartes topographiques 1/50 000 qui englobent la zone d'étude ont été digitalisés; il s'agit des cartes topogra-

phiques de Larache [DCFCC, 1990], Lalla Mimouna [DCFTT, 1965], Ksar-El-Kébir [DCFTT, 1965] et de Arbaoua [DCFTT, 1965]. Les données digitalisées ont servi pour la génération par interpolation par la méthode TIN (*Triangulated Irregular Network*) de la carte des pentes. Cinq classes de pente ont été identifiées et les valeurs sont généralement comprises entre 0 et 18%. Cependant, la classe de pente 0 à 2% est la plus représentative (soit 54%), ce qui confirme la forme aplatie du relief de la plaine.

#### 2.1.3. Conductivité hydraulique (C)

Les données de conductivité hydraulique disponibles au niveau de 54 points d'eau, ayant fait l'objet dans le passé de pompages d'essai [ABHL, 2012; DRPE, 2015], ont été utilisées pour dresser la carte de perméabilité de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane. Les valeurs s'échelonnent entre  $7 \times 10^{-6}$  et  $3 \times 10^{-4}$  m/s, ce qui a permis de définir trois classes selon le modèle Drastic et dont les valeurs et les superficies sont données par le *tableau I*.

### 2.2. Paramètres dynamiques

#### 2.2.1. Profondeur de la nappe (D)

Les cartes de profondeur de la nappe, sous format raster, ont été obtenues par le traitement géostatistique des données de profondeur jusqu'à l'eau relatives aux quatre années de référence. Ces dernières ont été choisies selon leurs régimes pluviométriques, la mise en irrigation à partir de 1981 de 8 576 ha par les eaux de surface du barrage oued El Makhazine et aussi les sollicitations de la nappe par pompages agricoles : 1) AvMI 61-62 (1961-1962); 2) année sèche – ApMI 86-87 (1986-1987); 3) année humide – ApMI 95-96; et 4) état actuel avec nappe très sollicitée – ApMI 13-14 (2013-2014). Le *tableau I* récapitule le poids et les cotes des classes de profondeur de l'eau ainsi que les superficies des classes pour le scénario 4. Pour les trois autres scénarios, les superficies des classes de profondeur de l'eau exprimées en pourcentage sont données par le *tableau II*. D'une manière générale, il ressort que les zones les plus vulnérables sont situées dans les parties méridionale et côtière de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane.

#### 2.2.2. Recharge (R)

Actuellement, la recharge de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane se fait principalement par infiltration des précipitations et des eaux d'irrigation de surface avec des taux respectifs de 77% et 23%. Les cartes de l'infiltration efficace des pluies sont établies sur la base des données de pluies enregistrées au niveau de cinq stations pluviométriques qui couvrent la zone d'étude; le

		Superficies en %			
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
<b>Profondeur de l'eau (m)</b>					
0 - 1,52		4,67	3,28	3,2	9,3
1,52 - 4,75		13,64	19,57	1,91	18,43
4,75 - 9,14		31,85	31,77	12,56	30,25
9,14 - 15,24		30,94	24,94	48,02	30,5
15,24 - 22,86		15,04	19,92	27,75	9,34
22,86 - 30,48		3,86	0,52	4,81	1,8
> 30,48		–	–	1,75	0,38
<b>Recharge efficace (mm)</b>					
50,8 - 101,6		–	48,54	–	–
101,6 - 177,8		–	24,56	–	72,52
177,8 - 254		100	9,13	24,56	20,01
> 254		–	17,77	75,44	7,47
<b>Valeur de l'ID</b>	<b>Classe Drastic</b>				
80 - 99	Vulnérabilité très faible	1,36	8,04	2,8	4,49
100 - 119	Vulnérabilité faible	11,73	26,56	13,54	11,93
120 - 139	Vulnérabilité modérée	43,75	37,75	34,06	42,14
140 - 159	Vulnérabilité moyenne	31,97	22,15	40,39	35,18
160 - 179	Vulnérabilité forte	11,19	5,5	9,21	6,26

**Tableau II. Variation spatio-temporelle de la profondeur, de la recharge et de l'Indice Drastic (ID) de la nappe Rmel-Oulad Ogbane selon les quatre scénarios**

coefficient d'infiltration moyen adopté est estimé à 21 % par les bilans fluvio-évaporométriques réalisés pour la période 1976-2014 au niveau des cinq stations. Pour la recharge par infiltration des eaux d'irrigation, les données des dotations en eau de surface par secteur d'irrigation ont permis de dresser les cartes de recharge de la nappe par irrigation. Les volumes apportés par secteur ont été transformés en lames d'eau et multipliés par un coefficient de percolation des eaux d'irrigation estimé à 20 % [PDAIRE, 2010]. Par la suite, les cartes de recharge de la nappe pour les quatre scénarios sont obtenues par rastérisation et sommation des pluies efficaces et de la recharge par irrigation par les eaux de surface.

### 2.2.3. Lithologie de l'aquifère (zone saturée) (A)

Les eaux de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane circulent généralement dans des formations de grès sableux et de sables dunaires fins. Cependant, l'analyse des logs stratigraphiques révèle que la zone saturée est constituée par un complexe de dépôts de sables, de grès, de galets, de graviers, de limons et de grès calcaires, ce qui témoigne d'une grande hétérogénéité de la zone saturée. Les logs lithostratigraphiques de 216 forages bien répartis dans la zone d'étude ainsi que le niveau de l'eau

dans ces ouvrages ont permis d'identifier la zone saturée et la succession des niveaux lithologiques pour chaque forage. Le calcul de la note (N) accordée à chaque forage résulte de l'application de l'équation suivante :

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot E_i}{E_{tot}} \quad [\text{Équation 2}]$$

N représente la note accordée au forage ;  $N_i$  la note de la formation lithologique  $i$  selon le modèle Drastic ;  $E_i$  l'épaisseur de la formation  $i$  ;  $E_{tot}$  l'épaisseur totale de la zone saturée et  $n$  le nombre de niveaux lithologiques de la zone saturée.

Les notes attribuées à chacun des 216 forages sont ensuite assujetties de traitements géostatistiques, de rastérisation et de reclassification. Le *tableau I* illustre les poids et les cotes des classes de la lithologie de la zone saturée et, à titre d'exemple, les superficies des classes de lithologie pour le scénario 4.

### 2.2.4. Zone non saturée de l'aquifère (I)

De la même manière que pour la zone saturée, la lithologie de la zone non saturée est obtenue par l'analyse des logs lithostratigraphiques des 216 forages. La valeur de la cote ( $N^*$ ) attribuée à chaque forage, en fonc-

tion de la lithostratigraphie de la zone non saturée de l'aquifère, est approchée par la formule suivante :

$$N^* = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^* \cdot E_i}{E_{tot}} \quad [\text{Équation 3}]$$

$N^*$  représente la cote accordée au forage ;  $N_i^*$  la cote de la formation lithologique  $i$  selon le modèle Drastic ;  $E_i$  l'épaisseur de la formation  $i$  ;  $E_{tot}$  l'épaisseur totale de la zone non saturée et  $n$  le nombre de couches de la zone non saturée.

À titre d'exemple, le *tableau I* met en évidence la grande variabilité spatiale de la vulnérabilité de la zone non saturée de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane pour le scénario 4 et les superficies des différentes classes.

### 3. Résultats et discussion

Conformément à l'approche du modèle Drastic, les cartes de vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane ont été élaborées pour chacun des quatre scénarios proposés. Elles montrent que la répartition spatiale des classes de vulnérabilité à la pollution de l'aquifère, exprimée par les valeurs de l'indice drastique  $ID$ , est dynamique d'une année à l'autre. L'évolution de la vulnérabilité de la nappe est tributaire des paramètres dynamiques du modèle Drastic, à savoir la profondeur de la nappe, la recharge efficace, l'impact de la zone non saturée et la lithologie de la zone saturée de l'aquifère. Les cartes de la *figure 3* mettent en évidence la variabilité spatio-temporelle manifeste de la vulnérabilité intrinsèque de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane alors que le *tableau II* récapitule les superficies par degré de vulnérabilité pour chaque scénario.

Pour le 1<sup>er</sup> scénario (1961-1962 – avant la mise en irrigation en 1981) : la quasi-totalité de la zone d'étude se caractérisait par une vulnérabilité de modérée (43,7 %) à moyenne (32 %) ; soit 75,7 % de la superficie totale de la zone d'étude. Les zones de forte vulnérabilité couvrent 11,2 % environ de la superficie totale de la nappe et s'étendent le long des oueds (oued Sakh-Sokh, Smid-El Ma et l'oued Dahnoun) où la nappe est très peu profonde (inférieure à 1 m/sol).

Pour le 2<sup>e</sup> scénario (1986-1987 – année sèche et après la mise en irrigation de 73 % du périmètre irrigué de Loukkos) : les secteurs qualifiés de vulnérabilité faible ou modérée totalisent 64,2 % de la superficie totale de la zone d'étude ; avec des valeurs respectives de 26,5 % et 37,7 %. Quant aux zones de moyenne à forte vulnérabilité, elles représentent 27,6 % et couvrent la partie méridionale où le niveau piézométrique de la nappe a subi une remontée de 6 m en moyenne à la suite de la mise en irrigation en 1981 par les eaux de surface du barrage

oued El Makhazine. Par comparaison au scénario 1, la réduction de 15,5 % de la superficie des zones moyennement à fortement vulnérables au nord de Rmel se rapporte à la baisse du niveau piézométrique de la nappe (3 m en moyen) due au déficit pluviométrique conjugué à la surexploitation de la nappe pour les besoins agricoles et pour l'alimentation en eau potable.

Pour le 3<sup>e</sup> scénario (1995-1996 – année humide et après achèvement des travaux d'aménagement hydro-agricole du périmètre irrigué) : 74,4 % de la superficie totale de la zone d'étude se qualifiait de vulnérabilité modérée à moyenne ; soit 34,1 % de la superficie pour les secteurs de vulnérabilité modérée et 40,3 % pour ceux de vulnérabilité moyenne. L'accroissement de 180 %, par rapport au scénario 2, de la superficie des zones de moyenne à forte vulnérabilité s'explique par le doublement de la recharge de la nappe par infiltration des pluies qui en 1995-1996 ont dépassé 1 200 mm/an et par l'augmentation de la recharge par percolation des apports d'eau d'irrigation à la suite de l'extension de l'irrigation à 2 333 ha, totalisant ainsi 8 576 ha.

Enfin, pour le 4<sup>e</sup> scénario (2013-2014 – état actuel avec nappe très sollicitée) : 77,3 % de l'extension de la zone d'étude est caractérisée par des vulnérabilités modérées ou moyennes ; avec 42,1 % de vulnérabilité modérée et 35,2 % de vulnérabilité moyenne. Par comparaison au scénario 3, la réduction de la superficie des secteurs de vulnérabilité moyenne au profit de ceux de vulnérabilité modérée s'explique par le déficit des apports pluviométriques conjugué à l'accroissement des pompes agricoles.

L'étude comparative des cartes de vulnérabilité des quatre scénarios montre que les secteurs les plus vulnérables à la pollution des eaux souterraines se situent dans la partie centrale de la moitié sud de la plaine de Rmel et correspondent au périmètre irrigué de la grande hydraulique du Loukkos dont les premières mises en eau remontent à 1981 à partir du barrage oued El Makhazine. Les secteurs situés au sud-est de la plaine, au niveau de la zone des Oulad Ogbane, sont considérés comme étant les moins vulnérables en raison de l'absence de l'agriculture irriguée et des sols de type Tirs réputés très peu perméables. Ailleurs, dans les parties septentrionale et occidentale de la plaine de Rmel et le long des oueds, la vulnérabilité de la nappe est tributaire de la variation spatio-temporelle des précipitations, des volumes prélevés par pompes agricoles et des pompes pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Larache. Cependant, la vulnérabilité de la nappe est généralement modérée à moyenne à l'aval hydraulique qui correspond aux zones de cordons

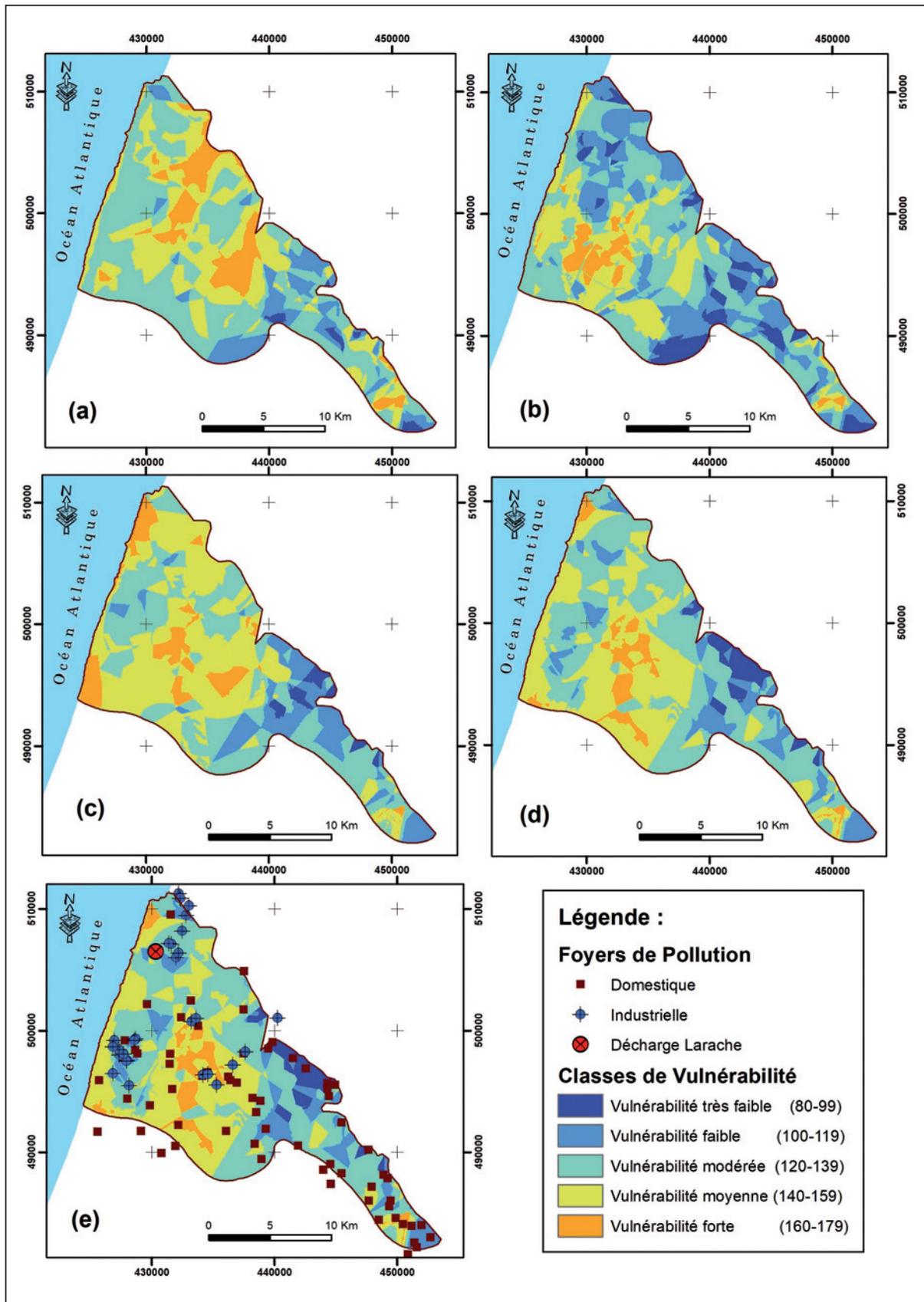


Figure 3. Cartes de vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère de Rmel-Oulad Ogbane établies par le modèle Drastic : (a) Scénario 1\_AvMI 61-62, (b) Scénario 2\_ApMI 86-87, (c) Scénario 3\_ApMI 95-96, (d) Scénario 4\_ApMI 13-14\_ Etat actuel, (e) Projection des foyers de pollution sur la carte de vulnérabilité de l'aquifère du Scénario 4\_ApMI 13-14



JE VOIS...  
JE VOIS...  
TRÈS TRÈS BELLES  
PERFORMANCES !

ENGAGÉS  
POUR UN  
**ANC**  
DURABLE

## POUR VOTRE ASSAINISSEMENT AUTONOME À QUI FAIRE CONFIANCE ?

Convaincu qu'il est essentiel d'être transparent sur les performances des produits, le fabricant peut faire le choix de les afficher publiquement (ainsi que les conditions dans lesquelles elles ont été obtenues) dans une **DÉCLARATION VOLONTAIRE**.

Par cette initiative, les usagers et intervenants de l'industrie (SPANC, distributeurs, installateurs, sociétés de service, etc.) seront mieux informés et capables de recommander et de choisir en toute connaissance de cause un dispositif d'ANC de qualité, conforme durablement aux normes de rejets de la réglementation française, dans le respect du budget des usagers tout en leur assurant de profiter pleinement de leur propriété.



Pour en savoir +

[www.anc-declarationvolontaire.fr](http://www.anc-declarationvolontaire.fr)



# LE FABRICANT FRANÇAIS DE MEMBRANES POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU

## pour des installations performantes et économiques



Eau potable



Eau de procédé



Réutilisation des eaux usées



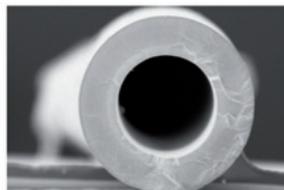
Prétraitement avant dessalement / déminéralisation

### FIBRES CREUSES

## NEOPHIL™

EXCLUSIF

La nouvelle génération de fibres creuses durablement hydrophiles et résistantes aux oxydants



### MODULES D'ULTRAFILTRATION

## GIGAMEM®

Pour des usines compactes et économiques; les seuls modules à faisceaux membranaires amovibles et carters fixes

EXCLUSIF



### SYSTEMES MEMBRANAIRES

## AQUAMEM®

ULTRAFILTRATION, OSMOSE INVERSE

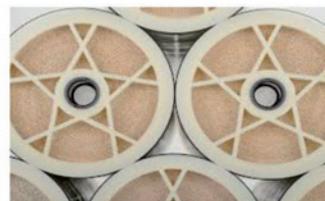
Des usines simples aux coûts d'investissement et d'exploitation réduits



### OSMOSE INVERSE

## LEWABRANE®

Distribution pour la France des membranes d'osmose inverse Lewabrane®.



**Lewabrane®**

Les autres gammes à découvrir sur notre site internet :

- Gamme Housemem pour applications domestiques
- Gamme Polymem Inside pour nos produits à façon
- Gamme de racks et skids sur mesure d'Ultrafiltration et Osmose Inverse

[www.polymem.fr](http://www.polymem.fr)

3 Rue de L'industrie - Zone de VIC  
31320 Castanet Tolosan - France  
05 61 31 78 66  
contact@polymem.fr

suivez nous sur

► dunaires et des dunes intérieures qui longent la côte atlantique. Dans ces zones, les eaux de la nappe sont peu profondes et les formations sableuses sont très perméables.

À l'échelle nationale, la nappe de Rmel-Oulad Ogbane se présente comme étant modérément à moyennement vulnérable. Par opposition, les nappes phréatiques situées au niveau des grands périmètres agricoles irrigués du Maroc se caractérisent par leur forte vulnérabilité à la pollution ; telles les nappes de Tadla [NAJINE *et al.*, 2003], du Gharb [AMHARREF *et al.*, 2007], etc. La forte vulnérabilité de ces nappes est occasionnée par la recharge, principalement par les eaux d'irrigation de surface et par la pratique du mode d'irrigation gravitaire qui engendre une forte percolation des eaux et, par la suite, la remontée du niveau piézométrique de ces nappes. Quant aux zones où l'agriculture est basée principalement sur les apports pluviométriques et sur l'exploitation des eaux souterraines, la vulnérabilité des eaux souterraines dépend du contexte climatique. Elle est faible à moyenne pour la nappe du Haouz de Marrakech [SINAN *et al.*, 2003] à climat aride et moyenne pour la nappe du bassin de Saïs [SAD-KAOUI *et al.*, 2013] à climat semi-aride. Toutefois, les nappes qui circulent dans les formations carbonatées karstiques et fracturées sont caractérisées par leur forte vulnérabilité à la pollution : nappe du causse moyen atlasique [AZZI *et al.*, 2014], nappe d'Angad, [AMHARREF *et al.*, 2015], etc.

Enfin, la projection des foyers de pollution sur la carte actuelle de vulnérabilité de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane montre que les zones de forte vulnérabilité (soit 6,3% environ de la superficie totale) sont à l'abri des risques de pollution domestique et industrielle. Cependant, la majorité de ces foyers se localisent au niveau des secteurs de vulnérabilité modérée à moyenne et sont susceptibles d'affecter la qualité des eaux souterraines de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane. Aussi, il ressort que la décharge de Larache implantée à l'aval hydraulique sur une zone de vulnérabilité modérée constitue une source potentielle de pollution des eaux souterraines. De plus, les lixiviats de cette décharge représentent dans le futur une menace des ressources halieutiques à l'exutoire de la nappe au sud de Larache, comme il a été constaté dans le cadre d'une étude antérieure [ABHL, 2013].

## Conclusion

L'évaluation de la vulnérabilité à la pollution entreprise dans le cadre de ce travail consiste à étudier l'évolution spatio-temporelle de la sensibilité à la pollution des

eaux souterraines de la nappe de Rmel-Oulad Ogbane. Pour ce faire, une plateforme « Drastic Model » a été conçue sous ModelBuilder/ArcGIS pour la modélisation de la vulnérabilité selon quatre scénarios. Les résultats de la cartographie de la vulnérabilité a mis en évidence une grande variabilité spatio-temporelle engendrée par l'hétérogénéité des paramètres intrinsèques du modèle Drastic, principalement les paramètres dynamiques. Ces derniers sont tributaires des régimes pluviométriques, de l'irrigation par les eaux de surface, des pompages agricoles et des pompages AEP.

Avant l'aménagement du périmètre irrigué du Loukkos et sa desserte par les eaux de surface du barrage oued El Makhazine, les zones de forte vulnérabilité se manifestaient le long des oueds surtout pendant les années très pluvieuses. Les oueds qui parcourent la plaine sont en relation hydraulique avec la nappe et contribuent à sa recharge.

La mise en irrigation par les eaux de surface, à partir de 1981, de la partie centrale-sud de la plaine, a engendré l'accroissement de la recharge de la nappe et la remontée du niveau piézométrique par percolation des eaux d'irrigation. À l'état d'aménagement hydro-agricole actuel, la vulnérabilité des eaux souterraines de Rmel-Oulad Ogbane est occasionnée principalement par les apports pluviométriques et en partie par les apports en eau d'irrigation de surface qui, à leur tour, dépendent de la pluviosité. Ainsi, pendant les années peu pluvieuses ou déficitaires, les dotations en eau d'irrigation de surface sont réduites pour assurer les différents besoins en cas de pénurie d'eau durant les années qui suivent. D'une manière générale, les superficies des secteurs de vulnérabilité moyenne à forte représentent 40% à 50% environ de l'extension totale de la zone d'étude entre une année déficitaire et une autre très pluvieuse. Ces secteurs se situent dans la partie centrale de la moitié sud de la plaine et le long de la zone côtière.

Encore, l'agriculture irriguée qui couvre 32% de la superficie de la plaine est marquée par l'usage intensif des fertilisants et des pesticides qui représente un risque majeur de pollution diffuse et accuse la qualité des eaux souterraines. Parallèlement, les lixiviats non traités de la décharge publique non contrôlée de la ville de Larache installée sur une zone de vulnérabilité modérée constituent, avec les rejets domestiques dans le milieu naturel, des sources indéniables de pollution des eaux de la nappe. Cette dernière représente la principale source d'alimentation en eau potable des villes de Larache et de Ksar-El-Kébir et de la population rurale de la plaine. De ce fait, des mesures de protection contre la pollu-

tion agricole diffuse et la pollution ponctuelle par la décharge de Larache et les rejets domestiques doivent être entreprises. Par conséquent, un état des lieux doit être dressé par l'inventaire exhaustif des foyers de pollution et par le suivi régulier de la qualité des eaux souterraines dans toute la plaine.

À la lumière de ces résultats, l'autorisation dans les secteurs vulnérables de toute activité susceptible d'engendrer une pollution doit répondre de manière rigoureuse à la réglementation fixée par la loi 15-36 (2015) sur l'eau au Maroc. Les établissements industriels, dont la grande partie sont des agro-industries, doivent être dotés de systèmes d'épuration autonomes et spécifiques de leurs rejets. Pour les rejets domestiques, le programme national d'assainissement liquide et d'épuration des eaux usées (PNA) doit intégrer les agglomérations rurales par leurs raccordements à des réseaux locaux et par la mise en place de systèmes locaux d'épuration appropriés. Quant aux rejets individuels, ils doivent se faire dans des fosses septiques selon les normes de conception et d'entretien appliquées dans les pays européens voisins. Cependant, une réflexion doit être engagée pour l'élaboration d'un cadre législatif pour l'assainissement collectif et individuel à l'échelle rurale au Maroc. En ce qui concerne la décharge de la ville de Larache, la fermeture de cette dernière s'impose avec, d'une part, la mise en place d'un réseau de collecte et le traitement des lixiviats et, d'autre part, la couverture et le réaménagement du site. L'agence allemande de coopération technique (GTZ) sous la supervision du secrétariat d'État de l'Environnement marocain a réalisé une étude de présélection d'un site de décharge collective intercommunale/provinciale [PDAIRE, 2010]. Ce site, situé à l'extérieur de la zone d'étude, doit être aménagé et équipé incessamment pour constituer un centre d'enfouissement technique des déchets solides (décharge contrôlée) confor-

mément à la loi 28-00 (2006) relative à la gestion des déchets et à leur élimination.

Enfin, la stratégie de développement agricole du pays formulée et érigée dans le cadre du plan Maroc vert 2008 est axée sur la durabilité et le développement dans sa totalité; y compris la valorisation de l'eau. Dans cette perspective, le plan national d'économie d'eau d'irrigation (PNEEI) mis en œuvre vise la promotion des techniques d'irrigation économes pour une meilleure valorisation de l'eau par conversion aux systèmes d'irrigation efficaces; il s'agit de la technique du goutte-à-goutte. Pour le périmètre irrigué du Loukkos qualifié comme étant la zone la plus vulnérable à la pollution (vulnérabilité moyenne à forte), l'irrigation se fait principalement par aspersion et en partie par le mode gravitaire. La conversion programmée vers le mode goutte-à-goutte entraînera la réduction de la recharge de la nappe par les eaux d'irrigation de surface et l'atténuation de la vulnérabilité des eaux souterraines. Toutefois, la rationalisation de l'utilisation des engrais et des pesticides en faveur de la réduction des risques de pollution diffuse est toujours mise en question, et doit être accompagnée par des campagnes de sensibilisation et des cycles de formation sur le terrain.

## Remerciements

Ce travail de recherche est en partie réalisé dans le cadre d'une convention entre l'École Mohammadia d'ingénieurs (EMI), le ministère délégué chargé de l'Eau (DRPE) et l'Agence du bassin hydraulique du Loukkos (ABHL). Il fait partie aussi d'une thèse de doctorat du premier auteur à l'EMI, Université Mohamed V de Rabat, supervisée par Mohamed Faouzi et Abdelkader Larabi. À cette occasion, les auteurs remercient le ministère délégué chargé de l'Eau et l'ABH du Loukkos pour l'accès aux données, rapports techniques et pour la logistique accordée pendant les missions de terrain.

## Bibliographie

- ABHL (AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU LOUKKOS) (2012) : *Fiches techniques des sondages N°IRE/3*. Agence du bassin hydraulique du Loukkos, 1011 p.
- ABHL (AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU LOUKKOS) (2013) : *Étude de la pollution de la nappe de Rmel, province de Larache*. Agence du bassin hydraulique du Loukkos, CID, I3° Consulting, Marché n° 23/ABHL/2013, 44 p.
- ABHL (AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU LOUKKOS) (2016) : *Variation annuelle des prélèvements de Larache et de Ksar-El-Kébir de la nappe de Rmel-O. Ogbane et la variation*

*mensuelle des paramètres climatiques des stations du bassin hydraulique du Loukkos*. Agence du bassin hydraulique du Loukkos, 10 p.

- ALLER L., BENNET T., LEHR J., PETTY R. (1987) : *Drastic: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C.: EPA 600/2-87-035, 622 p.
- ALWATHAF Y., EL MANSOURI B. (2011) : « Assessment of aquifer vulnerability based on GIS and ARCGIS methods: A case study of the Sana'a Basin (Yemen) ». *Journal of Water Resource and Protection*; 3(12) : 845-55. ►

# Spécialiste du matériel de contrôle de compactage et de portance

WWW.SOL-SOLUTION.COM

GAMME COMPLÈTE  
DE PÉNÉTROMÈTRES  
DYNAMIQUES

- PANDITO®
- PANDA®
- GRIZZLY®

ESSAIS DE  
PORTANCE

- Plaque dynamique légère
- Plaque statique

**SOL SOLUTION**  
*L'innovation sur de solides appuis*

SOL SOLUTION

ZA des Portes de Riom Nord  
23 avenue Georges Gershwin  
BP 178 - 63204 RIOM Cedex

T : +33 (0)4 73 64 74 84

F : +33 (0)4 73 64 74 80

M : contact@sol-solution.com

Création : AGRÉSTUDIO



www.save-innovations.com

PICOGEN®



## PICOGEN®, l'énergie pour une intelligence des réseaux d'eau potable

L'innovation PICOGEN® offre, sur le lieu de consommation, l'accès à une énergie renouvelable, disponible, et à ce jour inexploitée pour aller vers un mix énergétique plus responsable et une consommation raisonnée.

La technologie multi-brevetée PICOGEN® élargie le champ des possibles par la valorisation énergétique des faibles flux.

La facilité d'installation et la maintenance réduite de la solution PICOGEN® découlent d'un design épuré pensé pour faciliter la tâche de l'utilisateur.

La turbine PICOGEN® est une réponse unique aux besoins du marché : elle permet l'alimentation autonome d'équipements électriques en tout point des réseaux, y compris pour les sites isolés, les sites à faibles débits d'eau et les sites avec une faible perte de charge admissible. ■



**Site de production préfabrication :**

- 🚧 Orgon (13)
- 🚧 Totana (Espagne)



**Etude et conception,  
Réalisation,**

**Supervision, coordination et pilotage de travaux**

**Préfabrication chaudronnerie et tuyauterie en inox, acier, aluminium et plastique**



**Méthodologie et montage**

**Mise en service d'installation**

**Plasturgie, ventilation et calorifuge**

**Electricité et automatisme**



**En gage de la qualité de nos services,  
notre société est certifiée :**



**SIEGE SOCIAL :**

Quartier La Lauzette  
Chemin du Pied Gauthier  
13660 ORGON  
☎ 04.90.73.05.71  
06.09.78.94.87  
Fax : 04.90.73.39.59

- Service COMMERCIAL : [georges.leygues@idem-eau.fr](mailto:georges.leygues@idem-eau.fr)
- Service TECHNIQUE : [jacques.liebert@idem-eau.fr](mailto:jacques.liebert@idem-eau.fr)
- Service ADMINISTRATIF : [anuata.ceas@idem-eau.fr](mailto:anuata.ceas@idem-eau.fr)

**Secteur d'activités :**

Traitement des eaux  
(usines d'eau potable et d'eaux usées)  
Incinérateur (circuit vapeur et fluide)  
Industrie chimique et agroalimentaire

**Secteur géographique :**

Europe / Export



- AMHARREF M., AASSINE S., BERNOUSSI A.S., HADDOUCHI B.Y. (2007) : « Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : Application à la plaine du Gharb (Maroc) ». *Revue des Sciences de l'Eau*; 20(2) : 185-99.
- AMHARREF M., BOUCHNAN R., BERNOUSSI A.-S., (2015) : « Extension of drastic approach for dynamic vulnerability assessment in fissured area: application to the Angad aquifer (Morocco) ». *Environmental Earth Sciences*; 1 : 407-14.
- AZZI Y., ESSAHLAOUI A., EL HMAIDI A., EL OUALI A. (2014) : *Évaluation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique du causse moyen atlasique (région el Hajeb-Ifrane)*, par la méthode Drastic utilisant les SIG. 2<sup>e</sup> Colloque international sur les utilisateurs des SIG, Meknès, Maroc, 20-21 novembre 2014, Proceedings, p. 471-3.
- BEN-DAOUD M., MOUHADDACH O., ESSAHLAOUI A., VAN-CLOOSTER M., KESTEMONT M.P., EL JAAFARI S. (2005) : « Évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide des systèmes d'information géographique ». *Hydrocarbons Mines and Environmental Research*; 3(2) : 7-13.
- CHOUBERT G., AMBROGGI R. (1953) : « Note préliminaire sur la présence de deux cycles sédimentaires dans le pliocène marin au Maroc ». *Notes et mémoire du service géologique du Maroc*; N° 117, Tome 7, 72 p.
- DCFCC (DIRECTION DE LA CONSERVATION FONCIÈRE DU CADASTRE ET DE LA CARTOGRAPHIE) (1990) : *Carte topographique de Larache (Échelle 1/50 000)*. Ministère de l'Agriculture et de la mise en valeur agricole.
- DCFTT (DIRECTION DE LA CONSERVATION FONCIÈRE ET DES TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES) (1965) : *Carte topographique de Lalla-Mimouna (Échelle 1/50 000)*; *Carte topographique de Ksar-El-Kébir (Échelle 1/50 000)*; *Carte topographique de Arbaoua (Échelle 1/50 000)*. Ministère de l'Agriculture et de la réforme agraire.
- DRPE (DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION DE L'EAU) (1987) : *Étude hydrogéologique de la nappe de Rmel (région de Larache, Maroc)*. Direction de recherche et de planification de l'eau, No 8, 87/DRH/003/SHG. Tétouan, Maroc, 91 p.
- DRPE (DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION DE L'EAU) (2015) : *Fiches techniques des sondages N°IRE/3*. Direction de recherche et de planification de l'eau, 1269 p.
- ESGM (ÉDITIONS DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC) (1997) : *Carte géologique de Larache (Échelle 1/50 000)*. Ministère de l'Énergie et des mines, Rabat, Maroc.
- ESGM (ÉDITIONS DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC) (1999) : *Carte géologique de Arbaoua, Mechr Bel Ksiri (Échelle 1/50 000)*. Ministère de l'Énergie et des mines, Rabat, Maroc.
- JILALI A., ZARHLOULE Y., GEORGIADIS M. (2014) : « Vulnerability mapping and risk of groundwater of the oasis of Figuig, Morocco: application of Drastic and AVI methods ». *Arabian Journal of Geoscience*; 8(3) : 1611-21.
- JOURDA J.P., KOUAMÉ K.J., ADJA M.G., DEH S.K., ANANI A.T., EFFINI A.T., BIÉMI J. (2007) : *Évaluation du degré de protection des eaux souterraines : vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire) par la méthode Drastic*. Actes de la conférence francophone, SIG 2007, Versailles, 10-11 octobre 2007.
- KALIRAJ S., CHANDRASEKAR N., SIMON PETER T., SELVAKUMAR S., MAGESH N.S. (2014) : « Mapping of coastal aquifer vulnerable zone in the south west coast of Kanyakumari, South India, using GIS-based Drastic ». *Environmental Monitoring and Assessment*; 187, 4073 : 1-27.
- KNOUZ N., BOUDHAR A., BACHAOUI E.M., AGHZAF B. (2016) : « Étude de la vulnérabilité des nappes à la pollution en zones semi-arides : cas de la nappe phréatique des Béni Amir au Maroc ». *Méditerranée [Online], Ecosystems, Hydrology, document*; 6 : 1-17. Disponible en ligne : <https://journals.openedition.org/mediterranee/7853>
- MENANI M.R. (2001) : « Évaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode Drastic ». *Sécheresse*; 12 : 95-101.
- MESSAOUD M. (1963) : *Rapport hydrogéologique du bassin du Bas-Loukkos*. Tome premier, Volume II, Office national des irrigations/Direction des études générales/Centre régional de Tanger, 134 p.
- MURAT V., PARADIS D., SAVARD M.M., NASTEV M., BOURQUE É., HAMEL A., LEFEBVRE R., MARTEL R. (2003) : *Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes Drastic et GOD*. Édit. Commission géologique du Canada, 14 p.
- NAJINE A., BENALIOLHAJ N., ARIOUA A., JAFFAL M., BOUKDIR A., FILAHI M. (2003) : « Contribution à l'étude de la vulnérabilité et la sensibilité à la pollution des eaux souterraines : Cas de la nappe mio-plio-quaternalre de la plaine de Tadla (Maroc) ». *Geo-Maghreb*; 1 : 21-9.
- ONI (1963) : *Aménagement du bassin versant de l'oued Loukkos : étude des sols du plateau du Rmel à l'échelle du 1/20 000*. Office national des irrigations. 115 p.
- ORMVAL (OFFICE REGIONAL DE MISE EN VALEUR AGRICOLE DU LOUKKOS) (1976) : *Étude pédologique de Rmel II Zone thé. Ksar El Kébir, Maroc*. Office régional de mise en valeur agricole de Loukkos, 105 p.
- ORMVAL (OFFICE REGIONAL DE MISE EN VALEUR AGRICOLE DU LOUKKOS) (1977) : *Aptitude à l'irrigation du Rmel - Étude agro-pédologique, Ksar El Kébir, Maroc*. Office régional de mise en valeur agricole de Loukkos, 33 p.
- ORMVAL (OFFICE REGIONAL DE MISE EN VALEUR AGRICOLE DU LOUKKOS) (2014) : *Rapport d'activité de l'Office régional de mise en valeur agricole du Loukkos, Ksar El Kébir, Maroc*. Office régional de mise en valeur agricole de Loukkos, 158 p.
- PANAGOPOULOS G.P., ANTONAKOS A.K., LAMBRAKIS N.J. (2006) : « Optimization of the Drastic method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS ». *Hydrogeology Journal*; 14(6) : 894-911.
- PDAIRE (PLAN DIRECTEUR D'AMÉNAGEMENT INTÉGRÉ DES RESSOURCES EN EAU) (2010) : *Mission 1.1, Analyse et synthèse des connaissances actuelle dans le domaine des ressources eau. Ressources en eau souterraines, Maroc*. Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau, IN-GEMA & SCET-SCOM, 123 p.
- PISCOPO G. (2001) : *Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, Australia*. Eds: Centre for Natural Resources, NSW Department of Land and Water Conservation, 18 p.
- SADKAOUI N., BOUKRIM S., BOURAK A., LAKHILI F., MESRAR L., CHAOUNI A. A., LAHRACH A., JABRANE R., AKDIM B. (2013) : « Groundwater pollution of Saïs basin (Morocco), Vulnerability mapping by Drastic, GOD and PRK Methods, involving

Geographic Information System (GIS). » *Present Environment and Sustainable Development*; 7 : 297-308.

SICORES (SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DE COOPÉRATION POUR RÉALISATIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES) (1971) : *Étude pédologique et de reconnaissance des sols au 1/50 000, Maroc*. Société internationale de coopération pour réalisations économiques et sociales, 133 p.

SINAN M., MASLOUHI R., RAZACK. M. (2003) : *Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc*. 2<sup>nd</sup> FIG Regional Conference, Marrakech, Maroc; 2-5 décembre 2003.

THAUVIN J.P. (1971) : *Ressources en eau (tome I) : Le bassin du bas Loukkos*. Éditions Service géologique du Maroc, Rabat.

## Annexe I

### Listes des données utilisées pour la préparation des paramètres du modèle Drastic

Paramètres	Types de données	Références	Année de production production	Couche thématique
-	Cartes géologiques (Larache, Arbaoua) 1/50 000 et 1/100 000	ESGM (1999) et ESGM (1997)	1997 et 1999	Carte de base de la zone d'étude
(D) Profondeur du plan d'eau	Niveau des eaux souterraines	MESSAOUD (1963), DRPE (1987), et ABHL (2013) ,	1961-1962, 1986-1987, 1995-1996 et 2013-2014	Profondeur du plan d'eau
(R) Recharge efficace	Pluviométries et Températures mensuelles, Évapotranspiration	ABHL (2016), DRPE (1987) et ORMVAL (2014)	1961-1962, 1986-1987, 1995-1996 et 2013-2014	Recharge efficace
(A) Milieu aquifère	Coupes de 251 Forages (IRE/3) Niveau du plan de l'eau	ABHL (2012) et DRPE (2015)	1955 jusqu'à 2002	Milieu aquifère
(S) Type de sol	Cartes pédologiques (Bas-Loukkos) 1/5.000	ONI (1963), SICORES (1971) ORMVAL (1976) et ORMVAL (1977)	1963, 1971, 1976, 1977	Type de sol
(T) Pente du terrain	Cartes topographiques (Larache, Lalla Mimouna, Ksar El Kébir et Arbaou) 1/50 000	DCFCC (1990) et DCFTT (1965)	1965 et 1990	Pente du terrain
(I) Impact de la zone non saturée	Coupes de 251 forages (IRE/3) Niveau piézométrique	ABHL (2012) et DRPE (2015)	1955 jusqu'à 2002	Impact de la zone non saturée
(C) Conductivité hydraulique	59 Essais de pompages (IRE/3)	ABHL (2012) et DRPE (2015)	1955 jusqu'à 2002	Conductivité hydraulique

## Annexe II

### Paramètres intrinsèques du modèle Drastic et leurs poids relatifs

Les paramètres potentiels de l'évaluation de la vulnérabilité	Description	Poids relatifs*
(D) Profondeur du plan d'eau	Représente l'épaisseur de la colonne lithostratigraphique non saturée susceptible d'être traversée par le polluant. Plus la profondeur de l'eau est faible, plus l'aquifère est vulnérable	5
(R) Recharge efficace	La recharge nette correspond à l'infiltration efficace des pluies et sa répartition dans l'espace et dans le temps. Certaines activités anthropiques constituent des sources de recharge ; tels les apports d'irrigation, la recharge artificielle, etc. Le risque de contamination est d'autant plus plusélevé que la lame d'eau infiltrée est importante	4
(A) Milieu aquifère	Il s'agit de la zone potentielle de circulation des eaux souterraines et qui peut être alimentée par l'infiltration des eaux de pluies et/ou de surface. La migration du contaminant dans les eaux souterraines dépend de la composition, de la taille et de la texture des sols	3
(S) Type de sol	Le sol correspond à une pellicule d'altération qui recouvre la partie supérieure de la zone non saturée. Il est composé d'un mélange de fractions minérales et organiques. Les caractéristiques de la couverture du sol influencent le lessivage de l'eau et de l'aquifère la contamination des eaux	2
(T) Pente du terrain	La pente conditionne l'aptitude de ruissellement ou d'infiltration des eaux de pluie chargées en polluants dans la formation aquifère. La faible pente engendre une plus grande percolation de l'eau et le lessivage des contaminants	1
(I) Impact de la zone non saturée	La zone vadose est la couche de subsurface (sous-sol) à travers laquelle transite l'eau pour atteindre la zone saturée. Son influence sur le potentiel de pollution de l'aquifère dépend de la composition, de la taille et de la texture des formations.	5
(C) Conductivité hydraulique	La conductivité hydraulique est l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par l'eau ; plus la conductivité est grande, plus la migration du contaminant est rapide	3

\*Poids relatifs selon ALLER *et al.* [1987].

## Annexe III

### Caractéristiques des sols dans la zone d'étude et leurs cotes

N°	Unités pédologiques	Caractéristiques					Situation	Cote*
		Superficie (ha)	Profondeur utilisable (m)	Texture	Capacité rétention eau	Perméabilité		
1	<b>Sols fersiallitiques</b> sols rouges et bruns méditerranéens / sols rouges méditerranéens, lessivés ou faiblement lessivés sur roche mère sableuse ou argileuse, non calcaire	14 925	> 1,5	Très sableuse	5 à 10 %	Forte à moyenne	Agrumes, avocatier, betterave, canne à sucre	Grande partie de Rmel 9
2	<b>Sols peu évolués</b> sur roche mère complexe, caractérisés en surface par une texture sableuse et par un squelette gréseux assez dense (formations dunaires anciennes) à une profondeur variable	5 052	> 1,5	Sableuse	8 à 20 %	Moyenne	Avocatier, agrumes, betterave, canne à sucre, maraîchage, céréaliculture	Aux limites orientales de Rmel et septentrionales de Oulad Ogbane 9
3	<b>Sols hydromorphes</b> , à taches et concrétions sur argiles de couleur bleuâtre gleyeuse (nappe perchée)	2 292	1	Argileuse	30 à 35 %	Faible	Zones marécageuses au nord de Rmel	1
4	<b>Vertisols</b> à caractères d'hydromorphie généralement accusés sur alluvions	7 529	1,2 à plus de 1,5	Argileuse 55 %	35 %	Faible	Zone des Oulad-Ogbane	1
5	<b>Sols alluvionnaires</b>	693	0,5	Alluvionnaire (gravier et galets)	5 %	Forte	Le long des oueds dans les parties nord de Rmel et sud-ouest de Oulad Ogbane	10

\*Cote selon ALLER *et al.* [1987].

# Tout connecter avec l'Internet des objets



Pionnier du télérelevé  
des consommations d'eau,  
Birdz déploie son savoir-faire  
pour développer  
votre Smart City.

**3**  
millions  
d'objets actifs  
en télérelevé



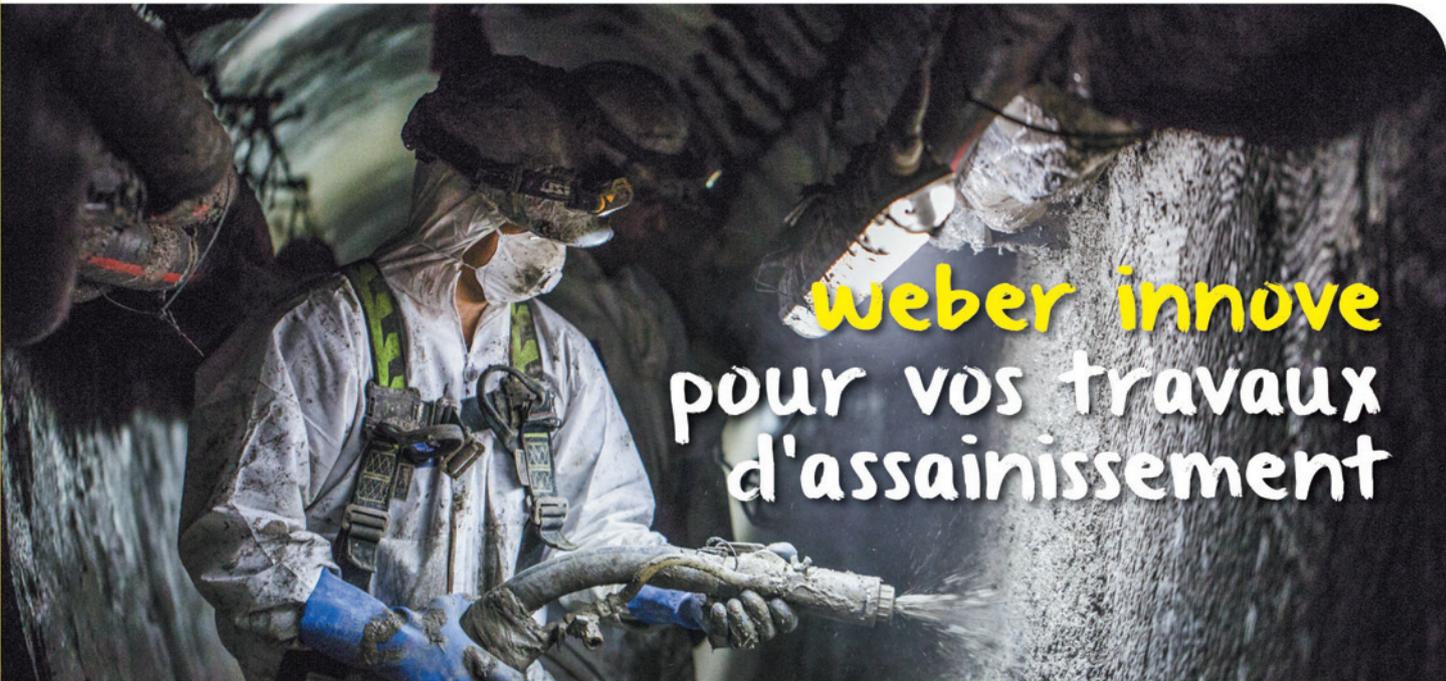
**EAU**



**ÉNERGIE**



**SMART  
CITY**



**weber innove**  
pour vos travaux  
d'assainissement



**we  
care**

Nouveauté  
2018



## weberep VM 265 et weberep VM 266

Mortiers de réparation renforcés de fibres métalliques amorphes pour réseaux hydrauliques souterrains visitables en coque mince

- Réalisation de chemisages sans treillis soudé
- Réduction de l'épaisseur de chemisage à réaliser (à partir de 3 cm)
- Pénétrabilité réduite et gain de temps sur chantier
- Résistances à la compression et à la flexion élevées ( $Fr1 = 2.7 \text{ MPa}$ )
- Projetable sur grande longueur ( $> 80 \text{ m}$ )

[www.weber.fr](http://www.weber.fr) et **WEBER FR** sur smartphone



Retrouvez-nous sur  
les réseaux sociaux

**weber**  
SAINT-GOBAIN