

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie



قسم الري

Département d'Hydraulique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Eau sol et aménagement

Thème

Contribution à l'aménagement hydraulique d'un site karstique cas des grottes de Beni Add

Soutenu le 13 Juin 2016

Par : DAHMANI Rachid & MORSLI Samir

Devant le jury composé de :

Mr CHERIF Z.E.A.	MAA	Président	<i>Univ.Tlemcen</i>
Mr BENMANSOUR A.	Professeur	Examineur	<i>Univ.Tlemcen</i>
Mlle FANDI W.	MAA	Examinatrice	<i>Univ.Tlemcen</i>
Mme ADJIM F.	Professeur	Encadreur	<i>Univ.Tlemcen</i>
Mr ADJIM M.	Professeur	Co-Encadreur	<i>Univ.Tlemcen</i>

Promotion : 2015-2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui m'ont soutenu tout au long de mes années d'étude.

A ma sœur et son mari, ainsi que mes frères.

A mes cousins et amis et à mon binôme « Samir »

Rachid

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents en signe de respect et de reconnaissance, de leur tendresse et affection, leur dévouement et sacrifice.

A mes frères et sœurs, et à mon cher neveu « Merouane » et ma nièce « Farah »

A mes amis, et à mon binôme « Rachid »

Samir

Remerciements

Nous tenons avant tout à remercier Dieu pour nous avoir inspiré la volonté et le courage d'acheminer ce travail jusqu'à la fin.

Nous tenons tout d'abord à remercier M^{me} Adjim pour nous avoir accordée sa confiance en acceptant d'encadrer ce travail, pour son soutien, sa constante disponibilité, ainsi que tous les conseils qu'elle nous a promulgués et pour l'aide précieuse qu'elle nous a fournie.

Nous présentons aussi nos plus vifs remerciements a Monsieur ADJIM qui a toujours répondu favorablement à toute sollicitation, et pour son suivi de la progression de travail, et qui nous a beaucoup appris.

Nos vifs remerciements et nos respects les plus distingués vont à Monsieur CHERIF pour avoir accepté de présider ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance M' BENMANSOUR ainsi qu'à M^{elle} FANDI et qui ont bien voulu examiner ce travail et faire partie du jury de ce mémoire.

Nous n'oublions pas de présenter nos chaleureux remerciements à tous nos enseignants de notre département auxquels nous devons beaucoup pour notre formation.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont collaboré, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste mémoire.

Résumé

Le site de Béni Add représente aujourd'hui un intérêt touristique et géologique que nous devons protéger. En effet ces dernières années, un essor économique, particulièrement touristique a eu lieu. Ce dernier a provoqué d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et d'autre part, la dégradation du milieu quant à l'évacuation des eaux usées. L'objectif principal de ce travail est d'apporter une contribution au développement durable de ce site par l'utilisation d'outils tel que la cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution.

Le travail a consisté d'abord à produire une carte de vulnérabilité basée sur les paramètres géologiques et hydrogéologiques des formations de la zone étudiée et qui a donné cinq degrés de vulnérabilité du plus faible au plus élevé. Ensuite la carte d'aléa élaborée à partir d'un inventaire des données disponibles actuellement sur les foyers de pollution potentiels existants dans le secteur étudié. La superposition de la carte d'aléa et la carte de vulnérabilité a permis d'établir la carte de risque de pollution avec trois degrés de risque faible, modéré et élevé. Cette carte a permis aussi de mettre en évidence le risque élevé que représentent les rejets d'eaux usées en milieu naturel sans traitement, au niveau de ce site à vocation touristique.

La cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines s'avère donc un document indispensable pour la protection de ces eaux et pour une meilleure orientation de l'aménagement du territoire des grottes de Béni Add.

Mots clés : eaux souterraines – karst – aménagement touristique - grottes de Béni Add – cartographie – vulnérabilité - risque de pollution - protection.

ملخص

يعتبر موقع بني عاد من أهم المواقع السياحية والجيولوجية التي يجب علينا حمايتها. وبظهور التطور الاقتصادي في السنوات الأخيرة، وخاصة في الميدان السياحي الأمر الذي أدى من جهة إلى الحاجة المتزايدة للمياه و من جهة أخرى تدهور صرف المياه الصحية . الهدف الرئيسي من هذا العمل هو المساهمة في التنمية المستدامة للموقع باستخدام أدوات مثل رسم خرائط مواطن الحساسية وخطر التلوث.

يهدف العمل أولاً إلى إنتاج خريطة الحساسية على أساس المعلمات و التشكيلات الجيولوجية والهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة ، والتي أعطت خمس درجات ضعف من الأدنى إلى الأعلى. ثم خريطة المخاطر التي تم فيها جرد البيانات المتاحة حالياً على تفشي ظاهرة التلوث الموجودة في منطقة الدراسة. سمح تراكم خريطة المخاطر المنجزة والحساسية من تشكيل خريطة مخاطر التلوث مما أتاح تصنيف الأخطار إلى ثلاثة مستويات منخفضة، متوسطة وعالية كما سمحت هذه الخريطة إلى تسليط الضوء على المخاطر العالية التي تفرضها مياه الصرف الصحي غير المعالجة في البيئة الطبيعية على مستوى هذا الموقع السياحي .

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية - كارست - تطوير السياحة-مغارات بني عاد - خرائطية - حساسية - خطر

التلوث - الحماية.

Abstract

The Beni Add site today is a touristic and geological interest that which must protected. Indeed in recent years, an economic boom, particularly tourism took place. This caused one hand, the increased need for water and the other, environmental degradation as to the sewage. The main objective of this work is to contribute to sustainable development of the site by using tools such as vulnerability mapping and risk of pollution.

The work was first involved producing a geological vulnerability map based on the parameters and hydrogeological formations in the study area and gave five degrees to the lower vulnerability to highest. Then the hazard map developed from an inventory of currently available data on existing pollution potential households in the study area. The superposition of the hazard map and vulnerability map has to map pollution risk with three levels of low, moderate and high. This card also allowed highlighting the high risk posed by sewage discharges into the natural environment without treatment, at this site for tourism.

The vulnerability mapping and risk of groundwater pollution is therefore an indispensable document for the protection of these waters and for better orientation of the land of Beni Add caves.

Keywords: groundwater - karst – tourism development - caves of Beni Add - mapping - vulnerability - risk of pollution - protection.

Table des matières

Dédicaces	I
Remerciements	II
Résumé	III
ملخص	IV
Abstract	V
Table des matières	VI
Abréviations	XII
Liste des figures	XIII
Liste d'annexes	XVI
Introduction générale	1

Chapitre I: Gestion durable de l'environnement karstique

I. Introduction	3
II. Objectifs de développement durable	3
III. Caractéristiques du karst	3
IV. Le karst et ses spécificités	6
IV.1. La karstification	7
IV.2. Fonctionnement de la grotte dans le système karstique	9
V. La vulnérabilité du milieu karstique	9
V.1. L'écotourisme	10
V.1.1 Objectifs	10
VI. L'impact des aménagements sur les grottes	10
VI.1. Les seuils d'énergie et de fréquentation	11
VI.1.1. L'éclairage dans la grotte	11
VI.1.2. Gestion et impact de la fréquentation touristique	12
VI.2. Les déstabilisations thermiques et aérodynamiques	12
VI.2.1. Identification par la température	13
VI.2.2. Identification par l'humidité relative	13

VI.3. Les ruissellements.....	14
VII. Protection du milieu karstique	14
VII.1. Le problème de la conservation	15
VIII. Le développement en milieu karstique	15
VIII. Relation entre la protection et le développement karstique.....	16
X. Différentes formes touristiques d'aménagements karstiques	17
X.1. Cavités naturelles aménagées à entrée libre.....	17
X.2. Cavités naturelles aménagées à entrée payante	18
XI. Critères de durabilité du tourisme souterrain	19
XI.1. Durabilité environnementale	19
XI.2. Durabilité fonctionnelle	20
XI.3. Durabilité temporelle	21
XII. Travaux d'aménagement des grottes touristiques	23
XII.1. Tendances actuelles.....	23
XII.2. Difficultés techniques.....	24
XII.3. Difficultés réglementaires	24
XIII. Législation et préservation des grottes.....	25
XIV. Le Tourisme à Tlemcen	25
XV. L'intérêt de l'aménagement.....	28
XV.1. Le profil du « nouveau touriste »	28
XV.2. Motivation du projet d'aménagement du site de la grotte de Béni Add.....	29
XVI. Conclusion	30

Chapitre II :Caractérisation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude	31
I.1. Situation géographique et description de la zone d'étude	31
I.1.1. Aperçu descriptif des grottes de BéniAdd.....	32
I.1.2. Grottes de Seghendouna	34
II. Hydrographie	35
II.1. Carte du réseau hydrographique.....	35

III. Relief et topographie.....	36
III.1. Les plaines	37
IV. Contexte Climatique.....	38
IV.1. Détermination de l'étage climatique.....	38
IV.1.1. Choix de la période et de la durée	39
IV.1.2. Choix de la station météorologique	39
IV.2. Les facteurs climatiques :	39
IV.2.1 Précipitations	39
IV.2.2. Températures	44
IV.3. Synthèse bioclimatique.....	46
IV.3.1. Indice De Martonne	48
IV.3.2. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson	49
IV.3.3. Le Quotient pluviothermique d'Emberger	50
IV.4. Conclusion	52
V. Aperçu géologique.....	53
V.1. Jurassique supérieur.....	53
V.1.1. Les grés de Boumediene	53
V.1.2. Les calcaires de Zarifet	53
V.1.3. Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal).....	54
V.1.4. Les calcaires de Stah.....	54
V.1.5. Marno-calcaires de Raourai (Tithonique basal).....	54
V.1.6. Les calcaires du Lato	54
V.1.7. Dolomies de Terni (Tithonique inférieure).....	55
V.1.8. Marno-calcaire de Hariga (base de Tithonique supérieur)	55
V.2. Le Quaternaire	55

V.3. Log lithostratigraphique.....	56
V.4. Carte géologique	56
VI. Contexte hydrogéologique.....	57
VI.1. Caractéristiques hydrogéologiques des formations	57
VI.2. Les points d'eau.....	59
VII. Aperçu pédologique	59
VII.1. Les sols squelettiques	60
VII.2. Les sols peu évolués d'érosion et d'apport.....	60
VII.2.1. Sols colluvionnés rouges recarbonatés.....	60
VII.3. Les sols calcimagnésiques.....	60
VII.3.1. Rendzine sur terra rossa avec affleurement de dolomie.....	61
VII.3.2. Sols peu évolués calcaire brun jaunâtres	61
VII.3.3. Sols brun calcaire	61
VII.4. Sols fersiallitiques	61
VII.4.1. Sols fersiallitiques brun rouges décarbonatés	61
VII.4.2. Mosaique terra rossa peu profonde / dolomie	62
VII.4.3. Terra fusca :	62
VIII. Le couvert végétal.....	63
IX. Conclusion	64

Chapitre III : Propositions pour un aménagement touristique

I. Objectifs	65
II. Etat de l'aménagement actuel	65
II.1. La zone d'accueil des grottes	65
II.2. Situation existante d'alimentation en eau potable.....	66
II.3. Situation existante de l'assainissement	67
II.3.1. Analyse de l'état actuel	70
II.4. Impact de la fréquentation des grottes sur leur température ambiante intérieure	70

III. Outils pour un aménagement	74
III.1. Exécution à la cartographie.....	75
III.1.1. Carte des sols	75
III.1.2. Carte d'occupation des sols	77
III.1.3. Carte des pentes	78
III.2. Cartographie de la vulnérabilité.....	80
III.2.1. Présentation de la méthode RISK	80
III.2.2. Principe de la méthode RISK.....	81
III.2.3. Caractérisation des Critères	83
III.2.4. Indice globale de vulnérabilité.....	90
III.3. La cartographie du risque de pollution de la zone d'étude	91
III.3.1. L'évaluation d'aléa	92
III.3.2. L'évaluation du risque de pollution	96
III.3.3. Discussion.....	98
IV. Propositions de l'aménagement projeté	99
IV.1. Alimentation en eau potable	99
IV.1.1. Estimation des besoins en eau potable	99
IV.2. Système d'assainissement.....	103
IV.2.1. Evacuation des eaux usées.....	103
IV.2.2. Evacuation des eaux pluviales	104
IV.2.3. Bilan des eaux usées	104
IV.3. Aménagement de la zone d'accueil	106
IV.3.1 Reboisement	109
IV.3.2. Les infrastructures de liaisons	109
IV.3.3. Gestion et rendement économique du site touristique.....	110

Table des matières

V. Conclusion	110
Conclusion générale et recommandations	112
Bibliographie	115
SITES WEB.....	119
Annexe A.....	120
Annexe B	122
Annexe C	123

Abréviations

<i>OMT</i>	Organisation mondiale de tourisme
<i>CO₂</i>	dioxyde de carbone
<i>RN7</i>	route nationale numéro 7
<i>P</i>	précipitation
<i>M</i>	maxima
<i>m</i>	minima
<i>DRE</i>	direction des ressources en eaux
<i>AEP</i>	Alimentation en eau potable
<i>MMT</i>	modèle numérique du terrain
<i>SIG</i>	système d'information géographique
<i>Ca²⁺</i>	calcium
<i>Mg²⁺</i>	magnésium
<i>ZE</i>	Zone d'étude
<i>UNESCO</i>	L'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

Liste des figures

Figure I. 1 : Représentation schématique du système karstique et des éléments grotte et vestiges pariétaux en tant que parties intégrantes du système	5
Figure I. 2 : La grotte dans la zone d'infiltration, sa place et ses rapports avec les autres parties du système karstique.....	5
Figure I. 3 : Bloc diagramme résumant les principales particularités géomorphologiques (paysagères) et hydrologiques du milieu karstique	7
Figure I. 4 : Le processus de la karstification.	8
Figure I. 5 : Gestion durable du karst : problèmes et atouts.....	17
Figure I. 6 : Modèles de cavités naturelles aménagées	18
Figure I. 7 : Interactions entre la cavité naturelle et son exploitation touristique	20
Figure I. 8 : Tourisme souterrain et durabilité à l'échelle d'une cavité	23
Figure I. 9: Flux des touristes vers la wilaya de Tlemcen.	26
Figure I. 10 : Flux des touristes vers les grottes de Béni Add pour l'année 2013 et 2015	27
Figure I. 11 : Flux annuels de touristes vers les grottes de Béni Add.....	27
Figure II. 1: Situation géographique de la région de Béni Add	31
Figure II. 2 : Salles des grottes de Béni Add	33
Figure II. 3 : La grotte de Seghendouna	34
Figure II. 4 : Carte du réseau hydrographique	36
Figure II. 5 : Modèle conceptuel des relations entre processus, formes géomorphologiques et relief	37
Figure II. 6 : Distribution annuelle des précipitations	42
Figure II. 7 : Distribution mensuelle des précipitations.....	43
Figure II. 8 : Régime saisonnier des précipitations (1980-2013).....	44
Figure II. 9 : Distribution mensuelle des températures.....	45
Figure II. 10 : Indice d'aridité d'après le climagramme de Martonne (1990-2005).....	49
Figure II. 11 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (Station Meffrouche 1990-2005).....	50
Figure II. 12: Climagramme du quotient pluviothermique d'Emberger Q ₂	52
Figure II. 13 : Log lithostratigraphique de la région de Beni Add	56

Figure II. 14: Carte géologique de la zone étudiée	56
Figure II. 15.: Les ressources en eaux souterraines, dans la Wilaya de Tlemcen. « Zones plus ou moins favorables pour l'implantation des forages et des puits »	58
Figure III. 1 : Captage de la source d'Ain Souiga	67
Figure III. 2: Rejet d'eau usée à l'aval de la grotte de Béni Add (Photo Morsli et Dahmani., 2016).....	68
Figure III. 3 : Plan d'état actuel de l'A.E.P et d'assainissement.....	69
Figure III. 4 : Levé topographique de la grotte de Béni Add.....	71
Figure III. 5 : Evolution de température par rapport aux nombres de visiteurs en fonction du temps	73
Figure III. 6 : Evolution de la température ambiante des grottes de Béni Add au niveau des 5 stations.....	74
Figure III.7 : Variations de la température mesurée à deux niveaux : sur et loin de la passerelle.	75
Figure III. 8 : Carte des Sols de la Z.E	76
Figure III. 9 : Carte d'occupation du sol de la Zone étudiée	78
Figure III. 10 : Carte des pentes de la Z.E	79
Figure III. 11 : Les critères de la vulnérabilité intrinsèque de la méthode RISK [23].	81
Figure III. 12: superposition des cartes de la méthode RISK [23]	82
Figure III. 13 : Représentation de critère « R »	84
Figure III. 14: Représentation de critère « I »	85
Figure III. 15 : Représentation de critère « S ».....	88
Figure III. 16 : Représentation de critère « K »	89
Figure III. 17: Carte de vulnérabilité par la méthode RISK	90
Figure III. 18 : Schéma d'illustration de la méthodologie d'évaluation du risque	97
Figure III. 19 : Carte de risque de la Z.E	100
Figure III. 20 : Présentation de la première variante	103
Figure III. 21 : Présentation de la deuxième variante	104

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Coordonnées géographiques et Lambert des grottes de Béni Add	32
Tableau II. 2 : Coordonnées géographiques et Lambert des grottes de Seghendouna	34
Tableau II. 3 : Données géographiques de la station météorologique	39
Tableau II. 4 : Type de climat en fonction d'amplitude	46
Tableau II. 5 : Etages bioclimatiques	46
Tableau II. 6 : Classification des sous étages bioclimatiques en fonction de « m ».....	47
Tableau II. 7 : Classification en fonction des sous variantes thermiques	47
Tableau II. 8 : Indice de Martonne	48
Tableau II. 9 : Quotient pluviothermique d'Emberger et de Stewart	51
Tableau III. 1 : classification des pentes	80
Tableau III. 2 : Caractéristiques du critère R « roche aquifère ».....	83
Tableau III. 3 : Caractéristiques du critère I« conditions d'infiltration ».....	85
Tableau III. 4 : pourcentage des éléments constituant le sol	86
Tableau III. 5 : Nature du sol.....	87
Tableau III. 6 : la vulnérabilité du sol	87
Tableau III. 7 : Caractéristiques du critère S « Sol et couverture protectrice ».....	88
Tableau III. 8 : Caractéristiques du critère K « karstification »	89
Tableau III. 9 : Classification d'indice global de vulnérabilité	91
Tableau III. 10 : Les catégories des aléas	93

Liste d'annexes

Tableau A 1 : Moyenne mensuelle des précipitations de 1980-2013	120
Tableau A 2 : Moyenne mensuelle des précipitations et des températures de 1990-2005.....	120
Tableau A 3: Répartition saisonnière des précipitations en mm 1980-2014.....	121
Tableau A 4 : Moyennes des minima et maxima de 1990-205	121
Figure B 1 : Analyse bactériologique de la source d'Ain Souiga.....	122
Figure C 1: Les valeurs de poids d'aléas.....	124

Introduction générale

Le mouvement pour la conservation des ressources naturelles ou culturelles est connu depuis longtemps. En effet, conserver et restaurer une grande diversité de milieux de vie est une condition indispensable à la pérennité des espèces de notre flore et de notre faune et de leurs communautés.

La conservation de la nature apparaît alors comme une urgente nécessité pour la santé physique et morale des populations urbaines. Il ressort de ceci que la demande du public en matière de loisirs et de détente en sites naturels se fait très fortement sentir...de nos jours, le tourisme se prescrit comme une thérapeutique.

Les grottes de Béni Add attirent beaucoup de touristes pour l'originalité et la particularité de toutes les formes karstiques qu'on peut observer à l'intérieur, par exemple les stalagmites et stalactites, l'ampleur des grands vides qui sont dus à l'action des eaux souterraines et la fraîcheur de l'air ambiant .

Nous avons choisi de contribuer à l'aménagement du site de la grotte de Beni Add pour deux motifs :

- a) Un motif scientifique : contribuer à l'aménagement hydraulique dans une zone Karstique
 - b) Objectif économique : contribuer au développement du tourisme de la région qui est une de ses sources de revenus.
- ◆ Le mémoire présenté a pour but de développer la recherche de solutions pour la mise en valeur du site de Béni Add, méconnu par de nombreux citoyens.
 - ◆ Bien que ce sujet n'ait pas été abordé par un grand nombre de chercheurs nous avons tenté un travail original tendant à développer une belle région. Cette mission difficile a été effectuée dans des conditions délicates, vu la faible documentation mise à notre disposition.

Notre travail sera présenté en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons donné une présentée une étude bibliographique sur la protection et la gestion durable du milieu karstique puisque le site d'étude se trouve dans une zone karstique très sensible à la pollution, ensuite nous avons tenté de mettre en évidence la vocation touristique de la zone d'étude. Nous présentons quelques chiffres sur les

statistiques des touristes affluant vers la wilaya de Tlemcen en général et la grotte de Beni Add en particulier.

Dans le deuxième chapitre nous donnons un aperçu sur le contexte géographique, géologique, hydrogéologique et le réseau hydrographique de la région étudiée. Après cela nous sommes intéressés au climat de la région sachant que c'est un paramètre important dans toute étude d'aménagement. Ensuite, nous avons étudié la pédologie et le couvert végétal de la région.

Dans le troisième chapitre, nous collaborons à la création d'un site touristique dans la région des grottes de Béni Add en donnant les outils nécessaires pour un aménagement durable de ce site merveilleux par ces formations souterraines, son originalité régionale et nationale voire internationale.

Pour cela nous avons tout d'abord présenté la méthode RISK pour la réalisation de la carte de risque des eaux souterraines dans le but de protéger les ressources souterraines les plus menacées. Pour arriver à notre objectif, nous avons fait donc un inventaire des données existantes et nécessaires à l'élaboration de la carte de vulnérabilité et de risques de pollution en appliquant la méthodologie proposée par le COST 620..

Ensuite nous avons étudié l'état des lieux à savoir le captage, la conduite de refoulement, le réservoir de stockage, le système d'évacuation des eaux usées ainsi que la situation existante de la zone d'accueil des grottes de Béni Add en donnant les perspectives de développement du site à l'horizon 2040, en proposant des solutions adéquates concernant l'AEP et l'assainissement.

Cet aménagement nécessite une étude avec beaucoup de réflexion dans la mesure où il faudra concilier entre la recherche des divertissements, des loisirs, du repos et la nécessité de rééquilibrer ce site naturel et de le protéger contre tout type de pollution.

Enfin nous terminons par une conclusion générale ainsi que des recommandations pour que tout aménagement futur du site soit fait dans les règles de l'art et dans le cadre d'un développement durable.

Chapitre I

**Gestion durable de
l'environnement karstique**

I. Introduction

Comme de nombreux sites naturels trouvés dans le monde, les grottes gagnent au fil des décennies les faveurs de quelques passionnés, puis rapidement d'un public plus large. Les grottes deviennent alors des sites touristiques et leurs aménagements leur confèrent une renommée régionale ou nationale voire internationale. L'exploitation touristique des cavernes a été commencée au XIX^{ème} siècle.

De ce fait, nous sommes intéressé aux grottes touristiques aménagées pour le public qui peuvent initier l'activité touristique souterraine utilisant le karst comme support, puis nous observerons comment cette activité touristique s'inscrit dans la durabilité de sa forme.

II. Objectifs de développement durable

Le concept de développement durable a été propagé par le rapport « Notre avenir à tous » de la Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement (Rapport Brundtland) en 1987. Cette formule vise à réconcilier le développement économique et social, la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles. D'une autre façon, le bien-être social peut être considéré comme étant le résultat d'un équilibre entre le bon fonctionnement de l'économie et la conservation d'un environnement agréable, favorisant une bonne qualité de vie. C'est donc sur cette opposition entre développement économique et conservation de l'environnement que reposent les conditions de base nécessaires à l'application du concept de développement durable [1].

Pour l'application de ce concept, nous allons essayer d'esquisser quelques pistes permettant de situer les points d'opposition spécifiques au milieu karstique entre développement et conservation de l'environnement. Nous verrons également que pour certains aspects ces deux notions rivales peuvent converger vers un intérêt commun.

III. Caractéristiques du karst

Le karst est un milieu naturel formé par les phénomènes de dissolution des roches générés par des écoulements d'eau. La karstification crée ainsi des vides à des échelles différentes et organisés hiérarchiquement suivant une structure complexe [1].

Certains sont pénétrables par l'homme, il s'agit souvent d'anciens drains pour l'eau qui forment l'essentiel des grottes connues.

Le karst est un milieu de transfert où des flux d'eau mais aussi d'air transitent en permanence. Son fonctionnement est celui d'un aquifère qui présente des hétérogénéités et une complexité telles que les approches classiques de l'hydrogéologie ne peuvent s'appliquer [1].

L'aquifère karstique est le seul type d'aquifère où c'est la circulation d'eaux dans la formation géologique qui façonne les vides de l'aquifère et induit des caractéristiques aquifères spécifiques [8].

D'une part, Les travaux entrepris depuis plus de 30 ans, en particulier au sein de l'équipe d'Alain Mangin placent la grotte au sein d'un système karstique actif. La définition d'un système karstique et l'intégration des études de grottes dans le cadre plus large du fonctionnement karstique a progressivement éclairé la compréhension du fonctionnement naturel de ces sites souterrains et nécessitent leur préservation contre les problèmes posés par l'impact anthropique sur leur conservation [1].

Le système karstique a été défini comme une unité de drainage organisée incluant le bassin versant, le volume de roche et de vides où l'eau transite ou se stocke momentanément. Les propriétés fonctionnelles du milieu sont exprimées dans le cadre de relations entrée /sortie [1].

Pour le karst, les entrées sont principalement des flux déterminés par les paramètres du climat extérieur (pluie, pression, température) ; les sorties sont générées par des flux identifiés par les paramètres souterrains (températures, débits d'air ou d'eau compositions) [1].

Les flux d'entrée ont des relations avec les flux de sorties sortie qui permettent de déterminer les conditions d'équilibre du système (figure I.1)

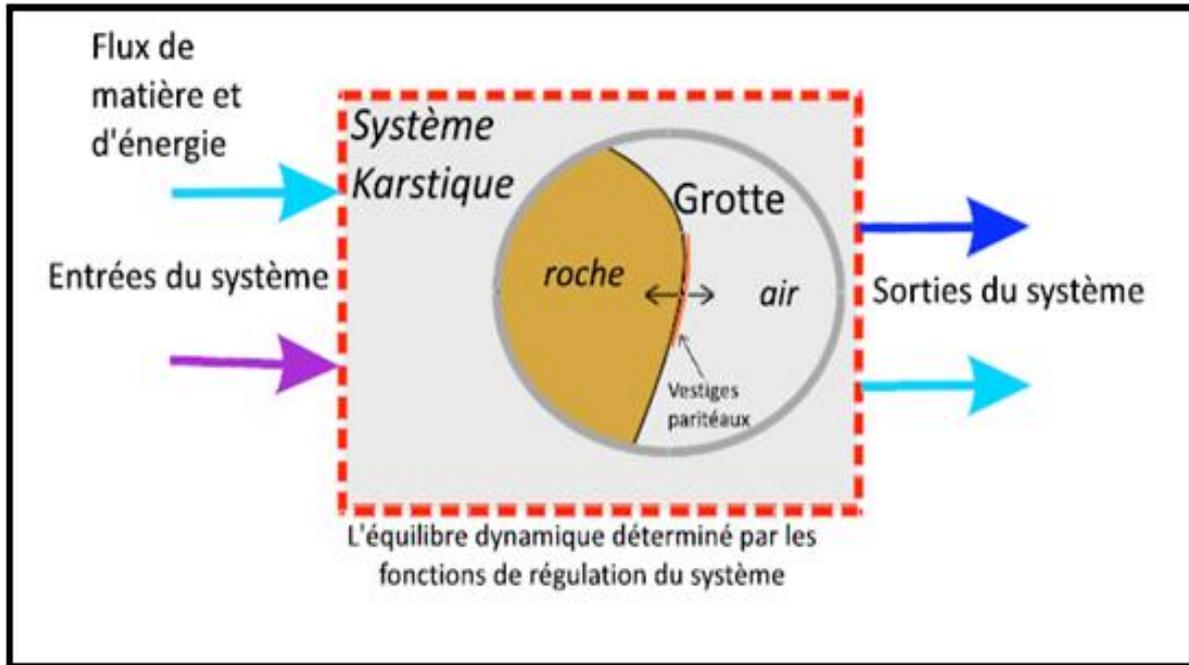


Figure I. 1 : Représentation schématique du système karstique et des éléments grotte et vestiges pariétaux en tant que parties intégrantes du système [1].

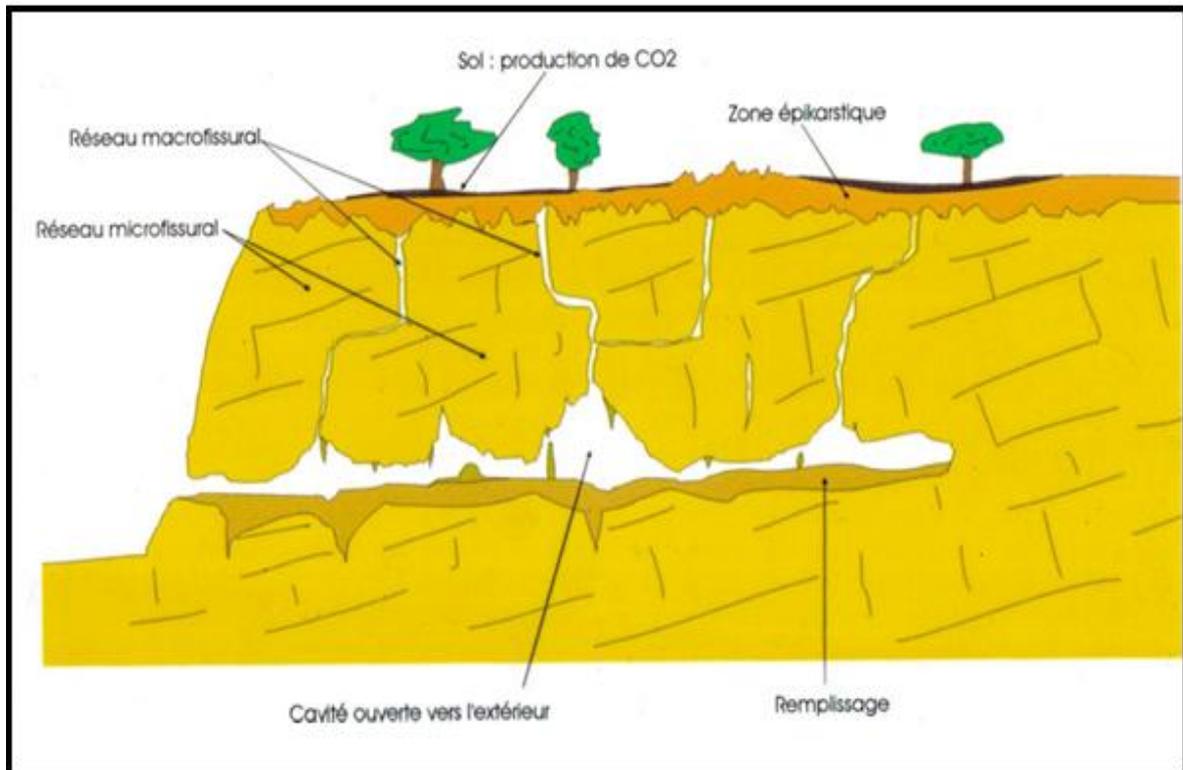


Figure I. 2 : La grotte dans la zone d'infiltration, sa place et ses rapports avec les autres parties du système karstique [1].

Les avantages de cette approche sont, d'une part, l'identification des limites du système et, d'autre part l'existence et le développement d'outils d'analyse des flux qui rendent possibles l'appréhension de la dynamique de fonctionnement et, par-delà fournissent une information sur le niveau de complexité ou d'hétérogénéité du milieu [1].

IV. Le karst et ses spécificités

Le milieu karstique est caractérisé par une série de particularités géomorphologiques et hydrologiques dont :

Les particularités géomorphologiques principales sont résumées sur la figure I.3. Les lapiés, dolines, bassins fermés, grottes, gouffres, pertes et sources sont autant de formes spectaculaires, propres au milieu karstique. Moins visibles, mais tout aussi importants, les réseaux de conduits souterrains sont même indispensables au développement de la plupart des formes superficielles [1].

Les particularités hydrologiques des régions karstiques sont également schématisées sur la figure I.3. L'absence de rivière en surface en dehors des vallées principales s'explique par l'existence d'une couche altérée, très perméable située au sommet des calcaires (épikarst), capable d'absorber les eaux de surface. Une partie de l'eau est drainée directement par les conduits karstiques subverticaux traversant la zone non-saturée (vadose) caractérisant les milieux karstiques [1].

Une autre partie de l'eau descend lentement à travers les petites fissures des calcaires. A partir d'une certaine profondeur, les eaux peuvent rencontrer un toit imperméable qui va les collecter et former des rivières souterraines. Souvent, les eaux atteignent la zone noyée avant d'atteindre un niveau imperméable. Dans cette zone où les fissures et les conduits sont tous remplis d'eau, l'écoulement n'est plus vertical, mais dirigé vers l'exutoire du système : la source karstique [1].

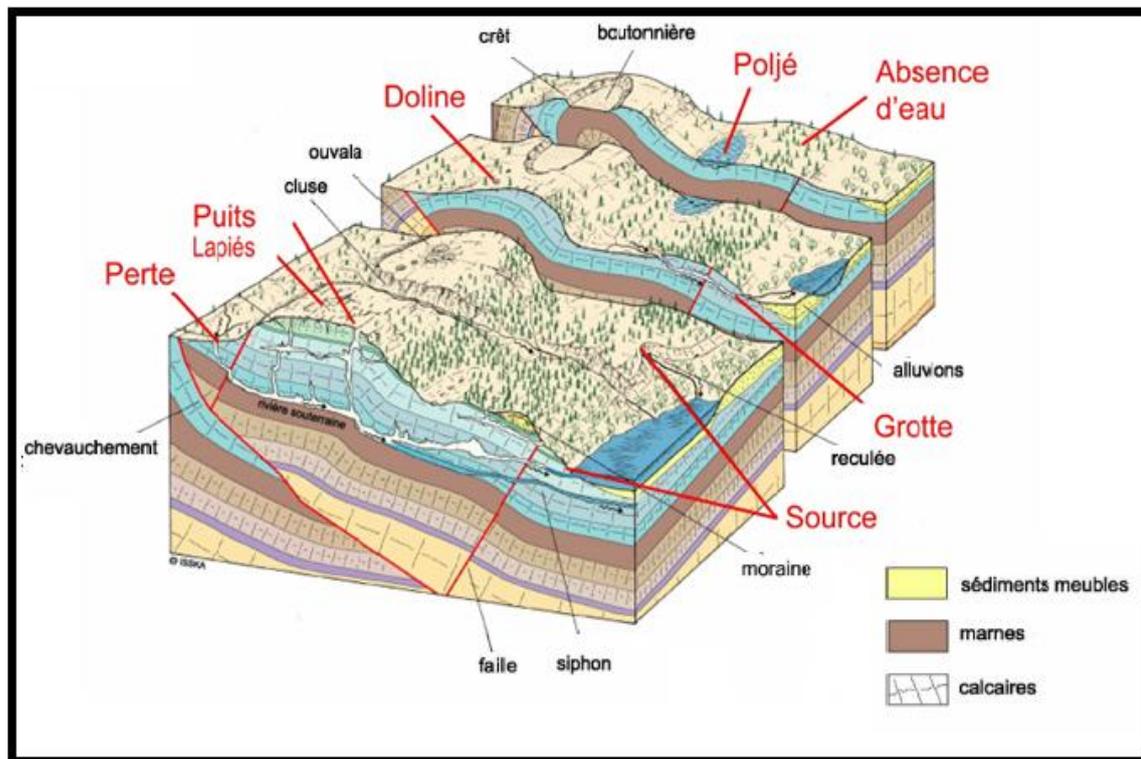


Figure I. 3 : Bloc diagramme résumant les principales particularités géomorphologiques (paysagères) et hydrologiques du milieu karstique [1].

IV.1. La karstification

La figure I.4 résume le principe général de la karstification et les facteurs qui la contrôlent. La porosité de la roche permet à l'eau de circuler, ce qui permet de dissoudre la roche et d'agrandir les pores. Le processus se développe tout seul et n'est limité que par la quantité d'eau d'infiltration disponible. L'application de ce schéma et l'observation des facteurs contrôlant la karstification permettent, dans certains contextes, de prévoir la position des Conduits.

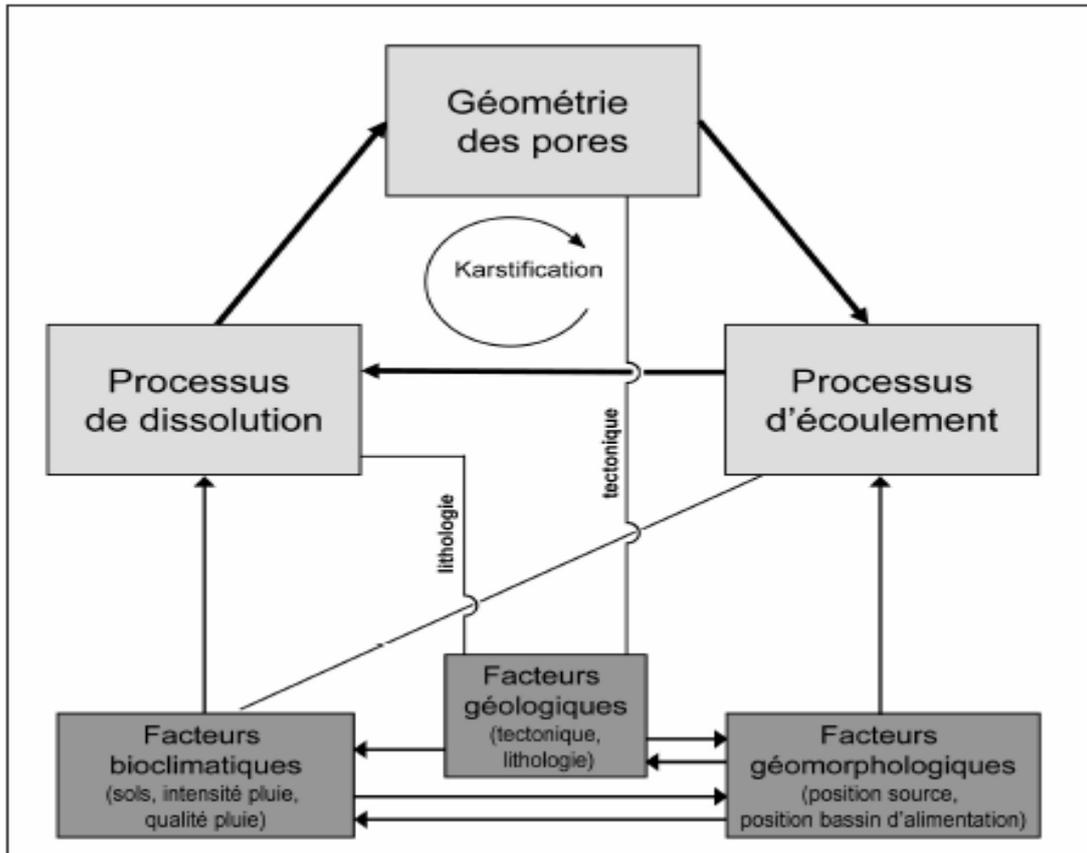


Figure I. 4 : Le processus de la karstification [1].

Peu à peu, la proportion d'eau s'infiltrant dans les fissures va s'accroître, car les eaux de pluie, très peu minéralisées, dissolvent progressivement les parois des fissures et des vides initiaux. Il faudra plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de milliers d'années, pour que la dissolution parvienne à créer des ouvertures de quelques millimètres au sein même de la roche. Evidemment, au fur et à mesure que les vides souterrains grandissent, l'eau s'infiltrer de plus en plus facilement et circule de plus en plus rapidement, faisant disparaître progressivement tout écoulement en surface [1].

La dissolution de la roche en profondeur s'en trouve considérablement accélérée. Les vides souterrains s'agrandissent de plus en plus vite, augmentant encore le débit souterrain, accélérant la dissolution et l'élargissement des vides. Le processus s'accélère alors de manière fulgurante.

Le processus de la karstification est contrôlé principalement par la géométrie initiale des pores, les facteurs bioclimatiques (qualité et quantité des eaux d'infiltration), les facteurs

géomorphologiques (position de la zone d'infiltration et des exutoires) et les facteurs géologiques (nature de la roche et discontinuités) [1].

IV.2. Fonctionnement de la grotte dans le système karstique

Le karst présente deux zones principales : la zone d'infiltration et la zone noyée.

Dans la zone d'infiltration où se trouvent les grottes, des réseaux de grandes fissures drainent rapidement des eaux de ruissellement vers la zone noyée. Il existe aussi un type d'infiltration de type diphasique, c'est-à-dire d'air et d'eau à la fois qui transitent, de façon concomitante vers le bas au travers d'un réseau microfissural (figure I.2).

Dans la grotte, l'essentiel du transfert de l'eau de l'infiltration diphasique évite la cavité et ne se manifeste que par des égouttements, en général non représentatifs de la dynamique générale. En revanche, l'air est massivement drainé dans ces galeries et s'évacue vers l'extérieur. C'est ce flux permanent d'air (et son mélange plus ou moins important avec de l'air extérieur) qui constitue l'atmosphère des cavités karstiques. Ainsi, avec la dynamique de l'eau, plus classiquement étudiée, la dynamique de l'air permet aussi de caractériser certains aspects du fonctionnement du système [2].

La zone noyée est structurée par l'organisation des vides, des drains qui assurent une fonction de transfert et des systèmes annexes formant de grands volumes assurent la fonction de réservoir. L'abaissement des niveaux d'eau dans certains karsts a fait passer ces vides dans la zone d'infiltration ; on retrouve cependant les vestiges de l'organisation du drainage dans les réseaux souterrains de grottes [2].

V. La vulnérabilité du milieu karstique

La vulnérabilité naturelle fut renforcée par des aménagements malencontreux dans plusieurs sites naturels karstiques.

Par exemple, une fermeture artificielle modifiée les volumes intérieurs de la grotte et la circulation de l'air. Une autre perturbation significative était due à la fréquentation touristique par la présence de groupes et leur circulation dans le site ainsi que par les effets de l'éclairage qui s'ajoutent à l'impact thermique des visiteurs et contribuent par la chaleur dégagée et les longueurs d'onde de la lumière émise à la prolifération des contaminants biologiques en favorisant l'activité photosynthétique [2].

Différentes méthodes de vulnérabilité développées et normalisées sont présentées. Toutes ces méthodes sont basées sur des systèmes paramétriques : le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité.

V.1. L'écotourisme

Le concept d'écotourisme s'est développé parallèlement à la nouvelle conscience environnementale apparue il y a une trentaine d'années. Ce terme, créé dans les années 80 par des biologistes au Costa Rica, est une notion relativement récente portée par l'intérêt grandissant des touristes pour l'environnement. Ce tourisme vert souligne les principes d'éthique et d'écocitoyenneté. Le respect de la nature et la préservation du patrimoine, tant culturel que naturel, sont les bases de cette nouvelle forme de voyage citoyen (2).

Contrairement au tourisme durable qui est une notion large englobant tous les acteurs de ce secteur, l'écotourisme, lui, ne se pratique que dans la nature par le biais de petites structures.

La Société Internationale de l'Ecotourisme, définit en 1991 l'écotourisme comme "une forme de voyage responsable dans des espaces naturels, qui contribue à la préservation de l'environnement et au bien-être des populations locales" (2).

V.1.1 Objectifs

L'objectif principal de l'écotourisme est de limiter l'empreinte écologique laissée par les voyageurs sur l'environnement des pays ou régions touristiques. Généralement organisé pour des groupes restreints, il a pour but la protection des espaces naturels et sauvages. Loin de n'être qu'une démarche touristique, ce secteur comporte une part d'éducation, de compréhension et d'interprétation : il cherche à sensibiliser les voyageurs ainsi que la population locale au respect de la nature et de l'écosystème. Les acteurs doivent comprendre la nécessité de préserver le capital naturel des destinations touristiques (2).

VI. L'impact des aménagements sur les grottes

Les aménagements touristiques des grottes peuvent entraîner des dommages irréversibles au milieu souterrain. Citons par exemple les modifications topographiques (percées de galeries nouvelles, lacs artificiels, sorties et entrées nouvelles, aménagements

d'escaliers, de passerelles...) qui, réalisées sans une étude préalable d'incidence sur l'écosystème karstique, peuvent conduire une grotte à la mort "biologique" et au dessèchement des concrétions.

Ces modifications altèrent la cavité sans qu'il ne soit jamais possible de les restaurer pour retrouver leur état d'origine. Outre leur aspect souvent inesthétique, elles provoquent fréquemment des modifications profondes du climat souterrain. Les échanges chimiques entre différentes parties de la cavité ainsi qu'avec l'extérieur sont ainsi perturbés alors qu'il s'agit d'un équilibre très fragile et propre à chaque grotte [10].

L'étude sur l'environnement physique doit porter sur:

- ✓ le comportement de certains paramètres climatiques (ventilation, température de l'air et de la paroi, concentration en gaz carbonique, humidité relative...);
- ✓ les relations qu'entretient la grotte avec l'extérieur ;
- ✓ l'incidence des visites sur l'environnement de la grotte ;
- ✓ l'influence du mode d'éclairage (nature et répartition spatiale et temporelle) [2].

VI.1. Les seuils d'énergie et de fréquentation

Les seuils de fréquentation déterminés par la thermique et l'hygrométrie indiquent des valeurs voisines. Puisque les visiteurs et l'éclairage sont les seules sources d'énergie introduites artificiellement dans le système, il est possible de calculer l'énergie thermique correspondant à un nombre de visiteurs par jour (valeur basse du niveau de fréquentation admissible).

En considérant le temps de visite moyen (minutes), la puissance dissipée par personne, qui donne le nombre moyen de groupes, et sachant que le système électrique dissipe une certaine énergie (kcal) pour chaque visite, qui permet de déterminer la valeur du seuil par jour. Cette information permet d'optimiser la fréquentation et les aménagements de façon à ce que l'exploitation du site pour le tourisme n'affecte pas sa conservation [2].

VI.1.1. L'éclairage dans la grotte

L'éclairage dans la grotte représente une perturbation majeure des conditions naturelles et doit être considérée en terme d'impact global sur l'environnement ou doit être évalué par l'énergie thermique introduite dans la cavité. Dans la Grotte on peut, identifié un seuil

d'énergie qui correspond à une modification de la régulation naturelle. Il est donc nécessaire de gérer la cause de perturbation dû à l'effet du système d'éclairage, de façon à ne pas dépasser ce seuil.

L'éclairage optimisé peut diminuer les pertes thermiques et permettre d'accueillir sans danger un plus grand nombre de visiteurs. Même si le système d'éclairage à un impact négligeable, des effets locaux autour de chaque source peuvent causer des dégradations irréversibles aux peintures.

Des expérimentations dans la grotte de Moulis montrent que l'éclairage peut causer des modifications du fonctionnement de l'interface air/roche du fait de l'absorption importante d'énergie thermique par la paroi. Ces expérimentations permettent de proposer différents niveaux de risque pour l'éclairage [3].

VI.1.2. Gestion et impact de la fréquentation touristique

Une augmentation disproportionnée et surtout non maîtrisée de la fréquentation entraîne des conséquences fâcheuses voire irréversibles sur une grotte.

Il est difficile de connaître avec précision l'évolution de la fréquentation d'un site, par contre les connaissances scientifiques d'aujourd'hui permettent d'étudier différents facteurs physicochimiques du milieu afin de définir les conditions de visite.

Lorsque les visites sont trop rapprochées ou les groupes admis trop importants, des perturbations de l'équilibre atmosphérique sont constatées surtout dans les moyennes et petites cavités. Ces perturbations peuvent provoquer l'assèchement des concrétions ainsi que la dégradation de leur support. Afin d'éviter cette situation nuisible à la cavité et à son exploitation touristique, une étude climatique peut être réalisée afin de déterminer la capacité d'accueil. Des aménagements et un niveau de fréquentation compatible avec des conditions de conservation satisfaisantes sont alors définis [2].

Un protocole de visite qui permet de déterminer la taille et le nombre de groupe peut être alors établi.

VI.2. Les déstabilisations thermiques et aérodynamiques

De fortes amplitudes thermiques journalières et saisonnières au sein de la cavité ainsi que des écarts importants entre la température de l'air et des parois sont particulièrement

nocifs. Les écarts les plus importants sont induits par les visiteurs qui génèrent de la chaleur et de la respiration ce qui augmente le taux d'humidité, celui-ci devant rester autour de 95 % pour éviter la condensation. L'évolution climatique extérieure engendre également un déséquilibre du climat souterrain qui se marque particulièrement entre les saisons chaudes et froides. Les changements rapides de température et d'humidité de la cavité provoquent de la condensation qui génère un développement de micro-organismes ainsi qu'un état pulvérulent de la paroi dû à la corrosion de la calcite [4].

La formation de calcite sur les parois est également provoquée par une teneur trop élevée en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cette production de CO₂ provient de la respiration des visiteurs qui génère une acidification de la vapeur d'eau à l'origine de la corrosion de la paroi [4].

Les perturbations thermiques et aérodynamiques du milieu souterrain sont de phénomènes très complexes dont il est difficile de cerner tous les éléments.

VI.2.1. Identification par la température

La température de l'atmosphère des cavités souterraines dépend, en réalité, de nombreux facteurs d'ordre physique, géologique ou géographique. La température extérieure, entre autres, exerce une influence indéniable sur la température intérieure.

Les courants d'air souterrains sont dus essentiellement à des effets thermiques. On peut dire que le courant d'air, par le fait qu'il transporte de l'énergie cinétique, résulte d'une transformation d'énergie thermique en énergie mécanique. Les cavités se comportent donc comme un moteur thermique. Elles fournissent du travail à partir de deux sources de chaleur. L'une des sources est la grotte elle-même, à peu près isotherme, l'autre source est en général l'atmosphère extérieure dont la température varie. Ce sont justement ces variations de températures qui permettent les courants d'air. L'étude des courants d'air ne peut donc pas faire l'impasse de l'étude thermique des cavités [5].

VI.2.2. Identification par l'humidité relative

Le taux d'humidité dans la cavité est régulé naturellement à des valeurs situées entre 98 et 99%. En situation de régulation, les variations de l'humidité ne sont en relation ni avec les visites, ni avec la température, car la respiration des visiteurs et les variations thermiques du milieu souterrain ne provoquent directement que des variations d'hygrométrie négligeables.

En revanche, durant la période de forte fréquentation touristique, la signature des visites apparaît clairement dans le signal de l'humidité et une analyse croisée des deux paramètres confirme la relation de cause à effet [2].

Lorsque l'effet thermique des visiteurs atteint un niveau critique, ne peut plus être dissipé par la régulation de la cavité et se marque dans l'humidité [2].

Cette modification de fonctionnement représente une perte de stabilité et un risque conservatoire pour la cavité.

VI.3. Les ruissellements

Des facteurs naturels affectent la conservation des figurations avant même leur découverte. C'est le cas de l'eau de ruissellement qui peut causer des dégradations des peintures par la formation d'encroûtements calcaires. Lors d'épisodes pluvieux, la nappe phréatique peut déborder et se déverser dans les galeries. Selon la saison, cette eau peut être plus froide ou plus chaude que l'air de la cavité.

Ainsi, l'eau circulant dans la grotte a un rôle majeur dans l'équilibre climatique de celle-ci. Lorsque la température de l'air augmente rapidement, de la vapeur d'eau se dépose sur les parois ce qui peut entraîner une disparition des peintures [4].

Finalement c'est la présence humaine combinée à la stratification qui cause les problèmes de conservation : le taux d'humidité, le dioxyde de carbone, et la pollution induits par les visiteurs ne sont plus évacués vers l'extérieur mais doivent se disperser dans les parois [2].

VII. Protection du milieu karstique

Certains paysages qui donnent leur caractère aux massifs karstiques, sont menacés : quelques lapiés sont aplanis pour faciliter le passage des skieurs, les dolines sont souvent comblées de terre, ou pire de déchets pour rendre la terre agricole plus praticable. Sans y prendre garde, l'essentiel du paysage typique des régions karstiques disparaît progressivement sous nos yeux. Dans l'idée d'un développement durable, des actions doivent être entreprises pour préserver ces paysages très typiques.

Les paysages souterrains renferment une richesse patrimoniale exceptionnelle. Par exemple, la simple forme des galeries ou la présence de sédiments permet de reconstituer

l'évolution du paysage superficiel au cours des temps géologiques. Les fossiles, cristaux et concrétions ornant les parois des grottes ne sont pas que de simples décors féeriques, mais aussi des mines de renseignements sur l'évolution des climats passés.

Les grottes renferment également de nombreux ossements d'animaux disparus ou des vestiges. La faune souterraine est certes clairsemée et peu spectaculaire, elle n'en demeure pas moins riche du point de vue des espèces et surtout de leur évolution. Bien que naturellement protégés, ces éléments de notre patrimoine naturel sont menacés. La pollution des eaux d'infiltration, le tourisme spéléologique de masse dans des galeries peu adéquates, l'étanchement de certains secteurs, la modification significative des écoulements souterrains liée à certains ouvrages importants (p.ex. tunnel) sont autant de facteurs qui mettent en péril la conservation du milieu souterrain [1].

VII.1. Le problème de la conservation

Le fonctionnement du système karstique amortit les variations des entrées (effets climatiques impacts anthropiques) produisant une régulation des flux de sortie. Ce pouvoir de régulation du milieu naturel détermine la stationnarité et constitue ainsi un critère essentiel de la qualité de conservation dans les grottes.

L'inertie thermique du volume rocheux, les effets aérodynamiques, les durées et les processus d'infiltration du karst sont les phénomènes régulateurs qui participent physiquement à la stabilité du milieu. Cette régulation du milieu se manifeste dans la grotte par de gradients physiques et chimiques très réduits, par contre ces phénomènes peuvent altérer le milieu et faire disparaître de façon définitive l'équilibre dynamique garant de l'intégrité physique du milieu (perte de la stationnarité). Cette déstabilisation peut enclencher des processus de régulation secondaires (par exemple condensation en paroi) [2].

VIII. Le développement en milieu karstique

Les particularités du milieu karstique suscitent certains développements, en particulier le tourisme, toujours friand de paysages insolites. Le calcaire étant un bon matériau de construction, les carrières ou mines y sont également nombreuses. Les karsts très anciens (paléokarsts) renferment souvent des minerais. De nos jours, des gisements importants de Zinc, Plomb et Aluminium proviennent de terrains karstiques.

Le karst peut représenter une intéressante ressource en eau, soit pour de l'eau potable, soit pour produire de l'énergie hydro électrique. En effet, l'efficacité du drainage karstique souterrain produit des sources au débit considérable. Ces sources ont d'ailleurs une température très constante, ce qui peut représenter un intéressant potentiel pour une exploitation géothermique [1].

Toutes les régions cherchent à se développer, indépendamment du milieu dans lequel elles se trouvent. Ainsi, les zones urbanisées s'étendent, l'agriculture cherche à rendre les terres aussi planes que possibles, les décharges fleurissent, sans parler des voies de communication et autres conduites qui entaillent le terrain. [1]

Le développement est donc lié à la présence de l'Homme dans une région ; il ne pourra pas être arrêté. Il faut donc plutôt chercher à le guider.

VIII. Relation entre la protection et le développement karstique

La protection des richesses du milieu karstique est une tâche difficile dans la mesure où une grande partie de ces richesses n'est même pas connue. En effet, il n'est pas rare de découvrir un site ostéologique pendant des travaux de terrassement. Les inventaires de sites dignes de protection ne sont par conséquent jamais complets et des objets de très grande valeur peuvent être trouvés dans des zones problématiques à protéger. L'amélioration de la connaissance du milieu est donc un élément important dans la gestion de sa protection [1].

Le développement est également souvent difficile, car les spécificités du milieu posent des problèmes pratiques. Certaines zones urbaines sont instables car posées sur des dolines, d'autres zones ont des problèmes de qualité d'eau dans leur captage d'eau potable, Seule une amélioration de la connaissance du milieu et de ses spécificités permet de gérer ces problèmes pratiques d'exploitation [1].

Comme l'illustre la figure I.5, il y a un *point commun* entre protection et développement, qui est celui de mieux connaître le milieu pour mieux le gérer. Ce constat peut paraître trivial, mais dans le cas du karst, ce sont réellement les mêmes connaissances qui sont requises pour faire face aux problèmes de conservation et de développement.

L'existence d'un point commun entre protection et développement dans les milieux karstiques laisse place à quelques espoirs de tendre vers une gestion de plus en plus durable de cet environnement.

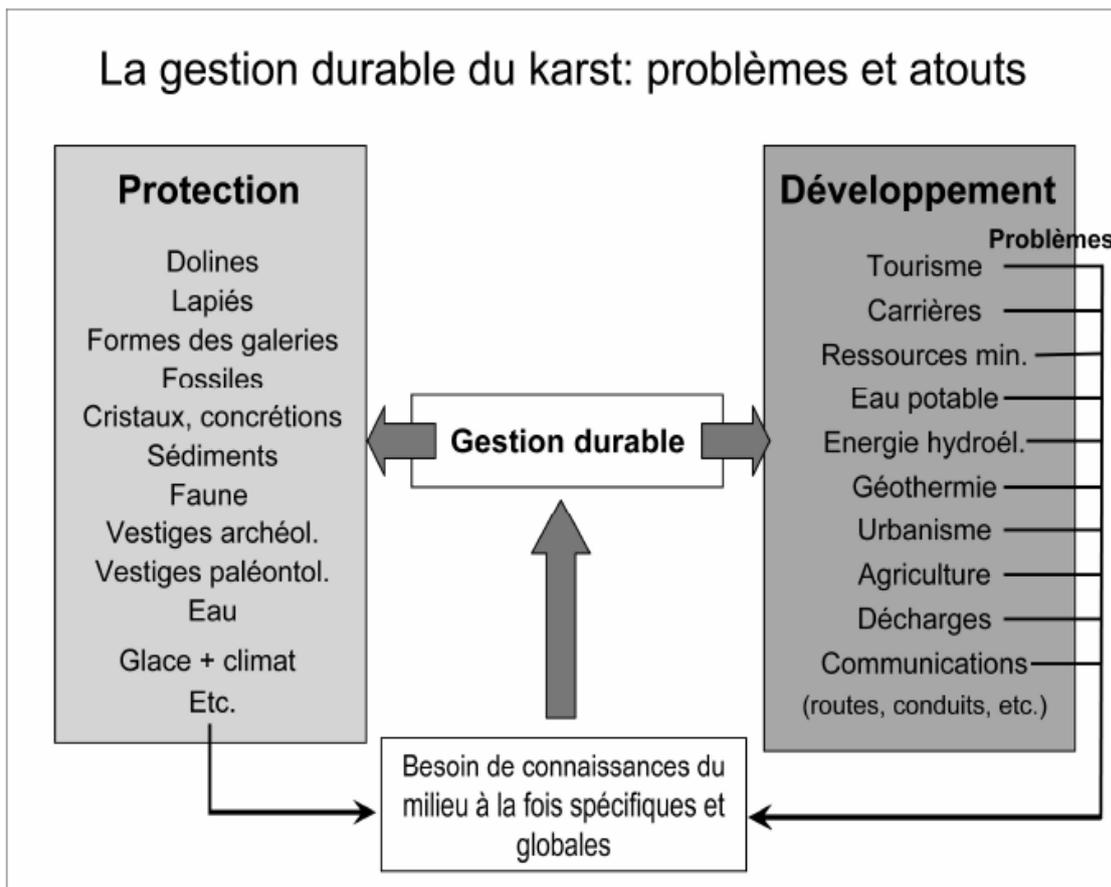


Figure I. 5 : Gestion durable du karst : problèmes et atouts [1].

X. Différentes formes touristiques d'aménagements karstiques

Nous distinguons deux types d'aménagements touristiques souterrains : ceux à caractère non marchand (entrée libre) et ceux à caractère marchand (entrée payante) (voir figure I.6).

Les cavités connues seulement des spéléologues ou qui sont l'objet d'une pratique de guidage, et qui ne sont pas le fruit d'une pratique touristique grand public, n'entrent pas dans ces ensembles.

X.1. Cavités naturelles aménagées à entrée libre

Ces types de cavité sont des lieux où des installations ont permis de faciliter l'accessibilité au site : seuls les accès sont aménagés ; le parcours souterrain n'est ni sécurisé, ni éclairé.

En raison du caractère souvent spectaculaire de certains phénomènes karstiques, lieux de promenades et d'excursions, leur accès a bien souvent été facilité à travers la réalisation de quelques aménagements. Cependant dans bien des cas, ces aménagements posent le problème de leur entretien [6].

Types de sites	Types d'aménagement	
<p><i>Cavités naturelles aménagées à « entrée libre »</i></p>	<p>L'accès extérieur est aménagé (échelle, passerelle,...) mais le parcours souterrain reste libre et gratuit</p>	 <p>La grotte des-faux monnayeurs à (Mouthier haute pierre, Suisse) (1)</p>
<p><i>Cavités naturelles aménagées à « entrée payante »</i></p>	<p>L'accès et le parcours souterrain sont aménagés. L'entrée à la cavité est sanctionnée par un droit d'entrée</p>	 <p>Entrée des grottes de Beni Add (photo Dahmani et Morsli., 2016)</p>

Figure I. 6 : Modèles de cavités naturelles aménagées [6].

X.2. Cavités naturelles aménagées à entrée payante

La visite des cavités naturelles est payante, au même titre que des gorges aménagées avec des passerelles d'accès par exemple. Les cavernes touristiques exigent la mise en place d'aménagements lourds. Il faut tout d'abord préparer l'espace d'accueil extérieur. Cela se traduit notamment par la réalisation d'une route d'accès permettant la circulation des autocars et la construction d'un bâtiment d'accueil (billetterie, boutiques souvenirs, petites restauration,...). Une fois sous terre, la visite in situ de la cavité nécessite la réalisation, coûteuse, d'un cheminement interne, de son électrification et de sa sécurisation qui demande,

de plus, un entretien régulier. Certains aménagements souterrains peuvent impliquer de lourds travaux [6].

La gestion commerciale (promotion et publicité), technique (entretien des équipements) et humaine (gestion du personnel, accueil du public, visites guidées) de tels sites a un coût. Sa rentabilisation ne peut être assurée que par la mise en place d'un droit d'entrée dont doit s'acquitter chaque visiteur.

XI. Critères de durabilité du tourisme souterrain

L'intérêt de ce passage concerne les caractéristiques de durabilité de l'activité touristique des grottes aménagées. Si le terme de « durabilité » est ici pris dans un sens différent de celui communément admis, il a le mérite de poser la question de la conservation de la ressource touristique, de la pérennité de l'attractivité touristique d'un lieu et de l'héritage de la fonction touristique. En effet, si la fonction touristique des cavités naturelles s'est établie dans des contextes bien souvent définis, cela ne semble plus suffisant aujourd'hui pour assurer sa pérennité. Il existe trois formes de durabilité, que nous présentons ci-dessous [6].

XI.1. Durabilité environnementale

Sachant que l'aménagement touristique d'une cavité porte atteinte au site, il faut alors réussir à concilier ses aménagements lourds tout en préservant le milieu souterrain. En effet, l'exploitation touristique ne doit pas défigurer le site afin qu'il conserve son attractivité [6]. Le compromis n'est alors pas évident à établir. Comme le montre la figure I.7, les atteintes peuvent être portées durant l'aménagement mais également durant l'exploitation du site.

L'aménagement touristique d'une cavité naturelle implique des atteintes directes ou indirectes pour la cavité elle-même. Elles peuvent être aussi bien liées à la présence de visiteurs dans la grotte qu'aux travaux nécessaires à l'aménagement touristique. Cependant, si les responsables s'en donnent les moyens, ces atteintes peuvent être limitées. De plus, certains aménagements sont réversibles [6].

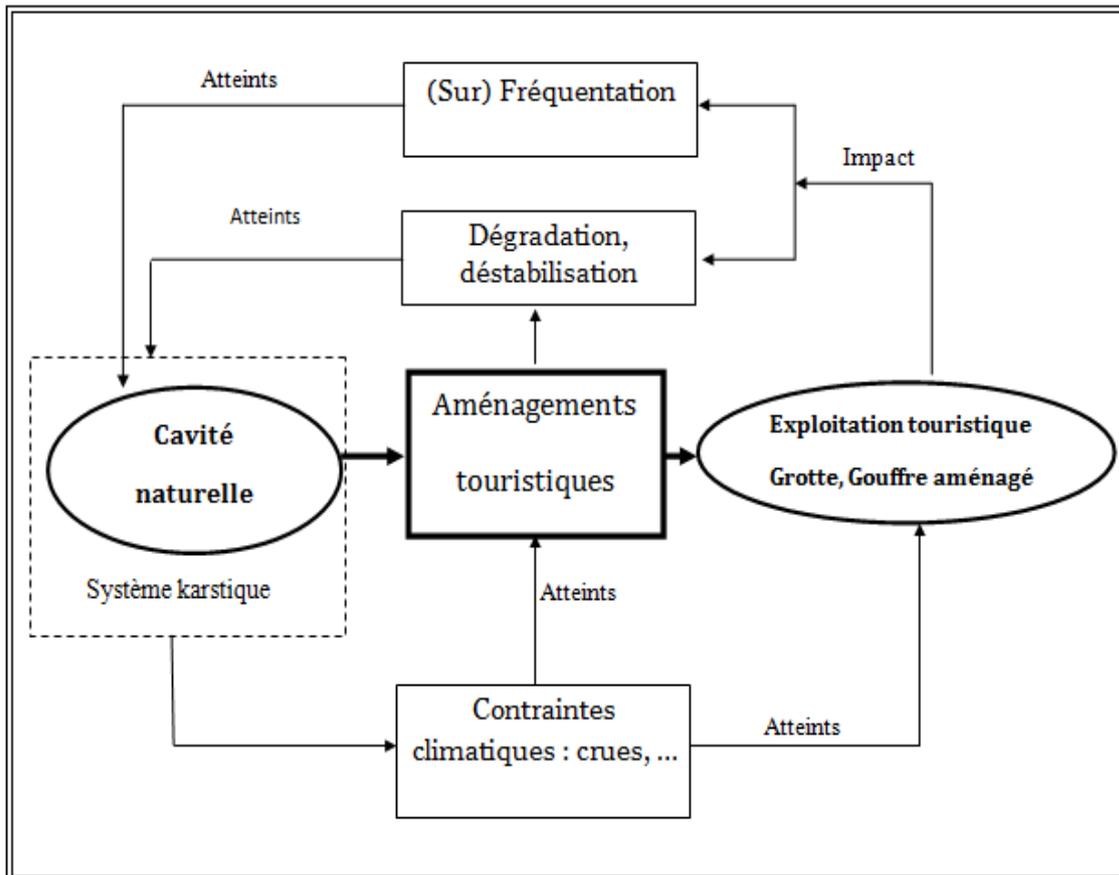


Figure I. 7 : Interactions entre la cavité naturelle et son exploitation touristique [6].

XI.2. Durabilité fonctionnelle

Une cavité touristique doit conserver son attractivité en assurant un suivi de ses équipements et de sa gestion. Sa pérennité sera assurée par un souci d'entretien de ses installations et de son amélioration en termes de prestations touristiques et en matière d'accueil du public. De cette manière, il s'agit de perpétuer la fonction touristique sur le territoire d'une grotte. Nous pouvons distinguer deux types de charge. Tout d'abord, les charges directement liées à la fréquentation touristique, c'est-à-dire :

- ◆ L'entretien des dispositifs physiques d'accueil du public : parking, toilettes, signalétique, bâtiment d'accueil et/ou billetterie, etc. ;
- ◆ La sécurité: mise et maintien aux normes de sécurité des aménagements ;
- ◆ Les interventions curatives ou préventives de l'impact de la fréquentation: ramassage des ordures, nettoyages du site extérieur et de la grotte ;

- ◆ Le contrôle et le traitement de la « maladie verte » soit le développement d'algues et de mousses résultant de la photosynthèse et de la chaleur induites par l'éclairage nécessaire dans les cavités aménagées.

Ensuite, des charges d'entretien et de gestion du milieu naturel, c'est-à-dire:

- ◆ Maintenance de l'éclairage, entretien des équipements, du cheminement dans la cavité et de son accès
- ◆ De plus, des phénomènes climatiques peuvent entraîner leur lot de dégradations. Certaines crues violentes obligent à réinstaller l'ensemble ou une partie de l'éclairage et nettoyer, voire remplacer, des passerelles ou des rambardes [6].

XI.3. Durabilité temporelle

La visite de cavités naturelles se caractérise par sa pérennité. Il s'agit d'une des formes les plus anciennes de pratique touristique.

Il existe peu d'exemples d'une telle continuité dans la carte actuelle du tourisme en Algérie. En plus d'un siècle, la visite de cavernes aménagées s'est inscrite dans la permanence d'un produit touristique, qui faisant preuve d'une grande adaptabilité aux exigences du public, a su attirer des touristes toujours plus nombreux.

Le tourisme souterrain a su profiter de conjonctures favorables à son essor :

- ◆ le thermalisme du XIX^{ème} et du XX^{ème} siècle ;
- ◆ les lieux de pèlerinage ;
- ◆ le développement du chemin de fer ;
- ◆ le développement de la pratique touristique avec, entre autres, le tourisme de «masse»
- ◆ des personnages médiatiquement présents ;
- ◆ les découvertes spéléologiques ont également contribué à cet état de fait.

Cependant, le tourisme souterrain est vieillissant et il ne lui est plus suffisant de fonctionner sur ses acquis. La fréquentation dans les grottes touristiques est en baisse. Quelques cavités arrivent à limiter cette dégringolade, mais ce n'est pas la majorité [6].

Les grottes touristiques vont devoir faire preuve d'innovation et cela aussi bien au niveau de la conception des visites qu'au niveau de leur promotion et de l'image identitaire qu'elle va véhiculer.

En effet, les grottes touristiques souffrent d'une image sclérosée et surtout d'un problème de distinction. Pour la majorité des visiteurs, en parlant d'une cavité aménagée pour le tourisme, « *une fois que l'on en a vu une, on les a toutes vues!* » Il est primordial que les cavernes arrivent à se positionner les unes par rapport aux autres. Cela est d'autant plus important lorsqu'elles se situent sur un territoire les mettant en situation concurrentielle. Ainsi, elles doivent plutôt rechercher la complémentarité tout en mettant en exergue leur spécificité. Dans ce souci de faire ressortir une identité propre, une étude sur les grottes a permis de faire émerger le thème du passage sur lequel va se restructurer le site dans un avenir proche [6].

Il s'avère également important de s'inspirer des nouvelles technologies et pratiques en matière de scénographie et de muséographie. Si les sons et lumières ont apporté une véritable valeur ajoutée dans les années 1980-90, de nouvelles voies doivent être explorées.

✓ *Exemple des grottes aménagées*

Le réaménagement de la grotte de La Balme en Isère (France) à l'automne 2004, qui fait justement appel à des techniques de scénographie, est novateur en la matière. La technologie participe donc au « renouveau » de cette grotte. Cependant, le discours de la visite guidée n'a pas évolué. Il n'est donc plus en harmonie avec cette nouvelle manière de présenter l'information scientifique [6].

Une autre possibilité existe également dans la mise en place de visites automatisées, c'est à dire se déroulant sans guide.

Des exemples existent de cavités où les stigmates des aménagements sont toujours présents: cheminement bétonné, traces des équipements d'électrification, marches taillées.

Ceci traduit bien l'absence de prise en compte de « l'après grotte touristique » lors des projets d'aménagement et d'exploitation. Ainsi, à travers le souci de conservation de l'attractivité du produit touristique « grotte » et donc de sa rentabilité économique, le tourisme souterrain participe bien souvent à la gestion durable d'une cavité.

La figure I.8 reprend les atteintes liées au tourisme souterrain dont découlent les trois déclinaisons de la durabilité décrites précédemment. Nous structurons ainsi le tourisme souterrain autour de trois cycles de durabilité. L'ensemble de ces cycles contribue à maintenir ou à relancer l'attraction touristique d'une cavité naturelle [6].

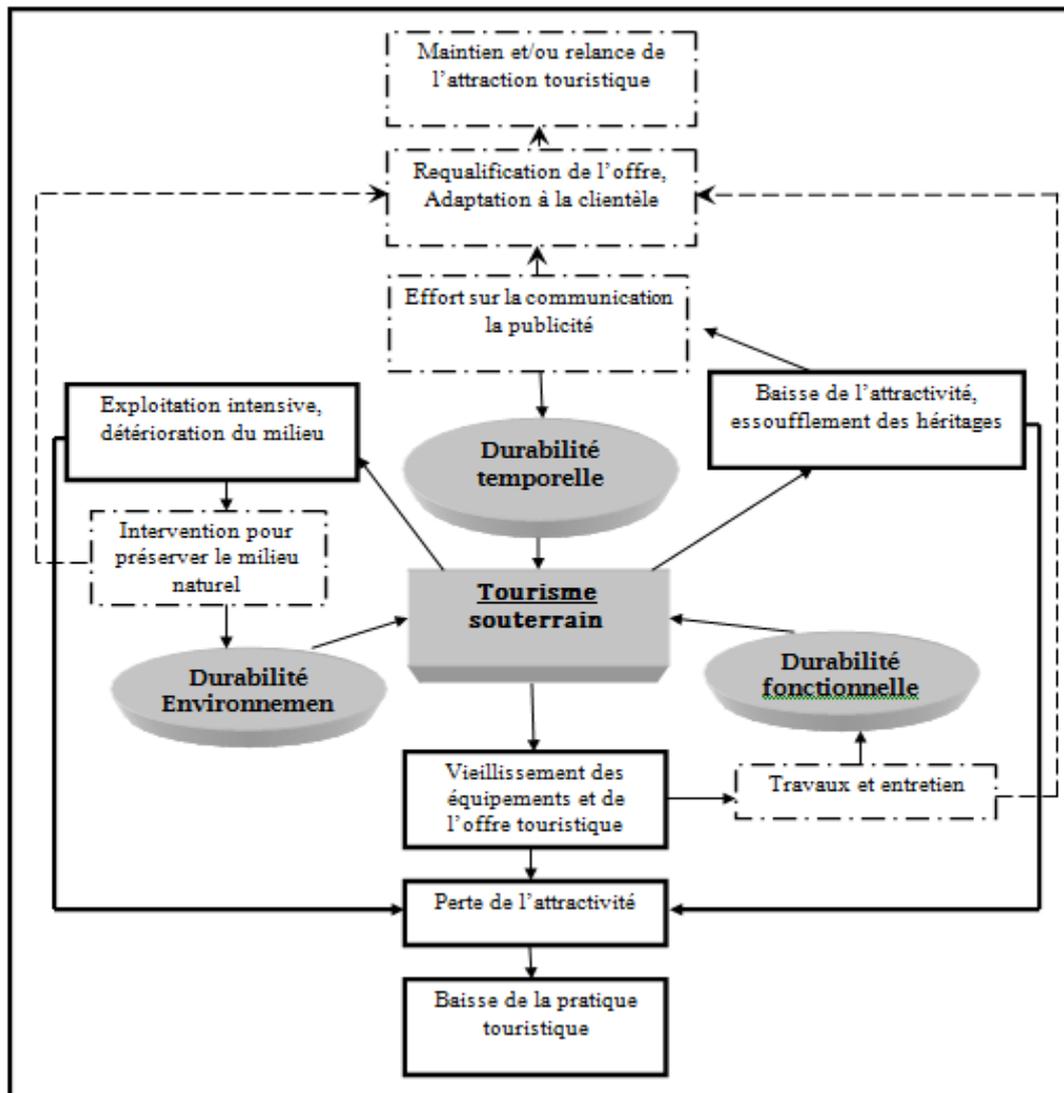


Figure I. 8 : Tourisme souterrain et durabilité à l'échelle d'une cavité [6].

XII. Travaux d'aménagement des grottes touristiques

XII.1. Tendances actuelles

Le concept d'aménagement de grottes pour le tourisme a beaucoup évolué ces dernières années. De structures lourdes, abondamment éclairées, avec sentiers, barrières, escaliers et ascenseurs, on est passé à des réalisations plus légères, ou l'emploi de matériaux sobres

et d'éclairages discrets permet aux visiteurs de mieux s'imprégner de l'atmosphère souterraine. Les commentaires folkloriques avec les sempiternelles stalagmites en forme de « vierge à l'enfant » ou de « méduse », font aujourd'hui place à des descriptions plus naturalistes du milieu souterrain. Le tourisme souterrain devient culturel et scientifique [7].

XII.2. Difficultés techniques

Les principales difficultés sont, la modification du climat souterrain, et le développement de la végétation.

Une grotte est un milieu en équilibre avec son environnement. Les concrétions, dont la profusion donne le plus souvent son intérêt à la cavité, peuvent être digérables par le dessèchement de leur surface ou le développement de végétation. Le CO₂ et la vapeur d'eau, expirés par les visiteurs, modifient la composition de l'atmosphère et peuvent acidifier le film d'eau qui recouvre la roche, provoquant des phénomènes de dissolution-précipitation, qui peuvent altérer les peintures pariétales des grottes préhistoriques.

La végétation se développe grâce à la lumière artificielle qui permet la photosynthèse, à partir des graines ou spores apportées par les visiteurs ou par les percolations d'eau. Dans le passé, le traitement à souvent consiste en un nettoyage à la Javel ou en l'usage de fongicides. S'il semble difficile d'agir sur la contamination véhiculée par les visiteurs, il est par contre possible d'agir sur éclairage, en choisissant des lampes dont le spectre de radiation n'autorise pas la photosynthèse, et en réduisant la durée de l'exposition [7]. Parmi les lampes conseillées on trouve les lampes jaunes ou rouges qui sont peu favorables à la croissance des plantes, à l'inverse des bleues, vertes ou orange [7].

XII.3. Difficultés réglementaires

La grotte est considérée comme un élément du sous-sol et non comme une richesse du sous-sol. Par exemple; dans le droit français, si la propriété du sous-sol s'étend jusqu'au centre de la Terre, les richesses du sous-sol (pétrole, minerai) appartiennent par contre à l'état. L'eau est, quant à elle, un bien commun [7].

Le propriétaire d'un terrain renfermant une grotte est propriétaire de cette dernière et peut donc en disposer librement, sauf si elle contient des richesses ou des vestiges archéologiques ou préhistoriques. Il est rare qu'une grotte ne s'étende que sous une seule parcelle,

aménagement des grottes demande donc un consensus de l'ensemble de ses propriétaires [7].

XIII. Législation et préservation des grottes

La spécificité du milieu souterrain et les grottes, ce patrimoine communautaire dont l'intérêt de la préservation a été reconnu et affirmé par la Déclaration internationale des droits de la mémoire de la Terre (13.06.1991), fait qu'il ne peut plus rester sans textes légaux précis et contraignants pour le protéger (3).

Vu la rapidité de son expansion, qui sera encore trois fois plus importante d'ici 2020, le tourisme est considéré comme hautement prioritaire par les institutions financières.

Il est donc, depuis peu, devenu une préoccupation importante de bon nombre d'organisations internationales. Ainsi, la Commission du développement durable de l'UNESCO élabore, depuis sa septième session, des programmes de travail sur le tourisme durable, la Convention sur la diversité biologique génère aussi des programmes relatifs au tourisme, l'Organisation des Nations Unies a proclamé 2002 Année Internationale de l'éco-tourisme et enfin, l'Organisation Mondiale du Tourisme (OMT) a adopté le 01.10.99 un code universel de conduite touristique (4).

XIV. Le Tourisme à Tlemcen

C'est dans un site admirable, au milieu d'un écrin de verdure et par plus de 800 m d'altitude, que se dresse la ville de Tlemcen surnommée la Grenade de l'Afrique. C'est une ville touristique en raison de :

- ✓ sa proximité de la mer qui atténue les influences du continent et donne à la région un climat tempéré méditerranéen. Recevant des pluies abondantes, son territoire, qui correspond au bassin de la Tafna avec ses affluents et ses sources pérennes, est depuis longtemps le château d'eau de l'Oranie.
- ✓ Sa position sur une haute plaine de piémont, au carrefour des grandes routes reliant l'Ouest algérien au Maroc et le Tell au Sahara la prédispose à servir de lieu d'échanges entre des économies complémentaires rurale et citadine, agricole et pastorale [8].

De par leur position à la limite du parc national de Tlemcen, de par leur grandeur et leurs curiosités naturelles féeriques découvertes à l'intérieur, les grottes de Béni Add constituent un élément très important servant d'attraction à un grand nombre de touristes.

Le site des grottes de Beni-Add se caractérise par une morphologie importante d'où possibilité d'avoir des vues panoramiques en surplombant tout le paysage collinaire. Il connaît une ambiance morpho climatique car il se situe à une altitude importante.

De ce fait sa visite est favorable pendant toute l'année mais la saison idéale est le printemps où le paysage est baigné de verdure.

Grace à son histoire, sa culture et ses beaux paysages, Tlemcen connaît ces jours là un nombre important de touristes que se soit des algériens ou des étrangers qui viennent découvrir sa magie, en particulier les grottes de Béni Add (Ain Fezza).

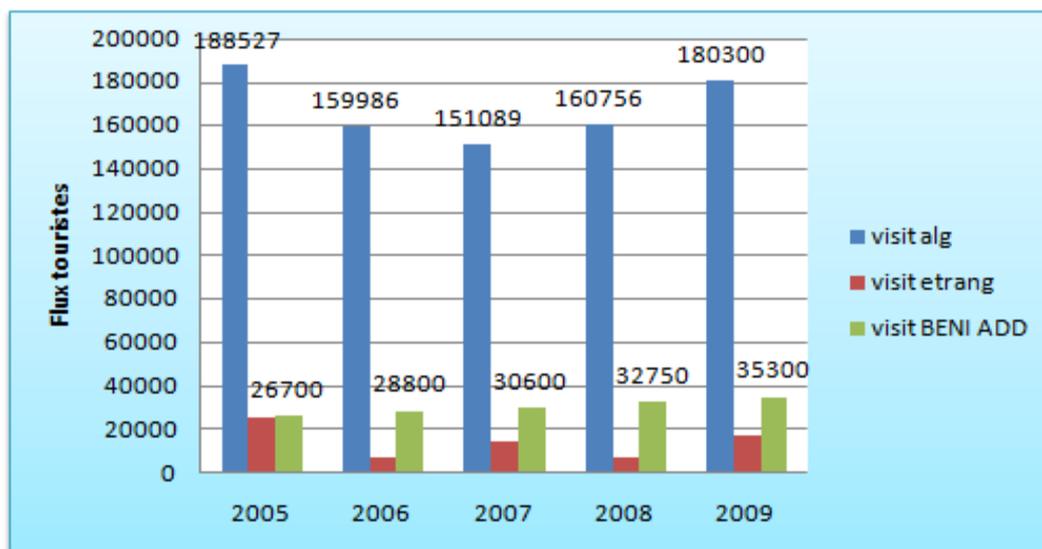


Figure I. 9: Flux des touristes vers la wilaya de Tlemcen [9].

D'après le graphe on constate un nombre important de touristes aussi bien locaux qu'étrangers qui viennent visiter les grottes de Béni Add, ce qui montre le rôle que peut jouer cette région dans le domaine du tourisme.

Durant les deux années 2013 et 2015 le service des statistiques de l'APC de Ain Fezza a enregistré un flux important de touristes, comme le montre la figure suivante (figure I.7) :

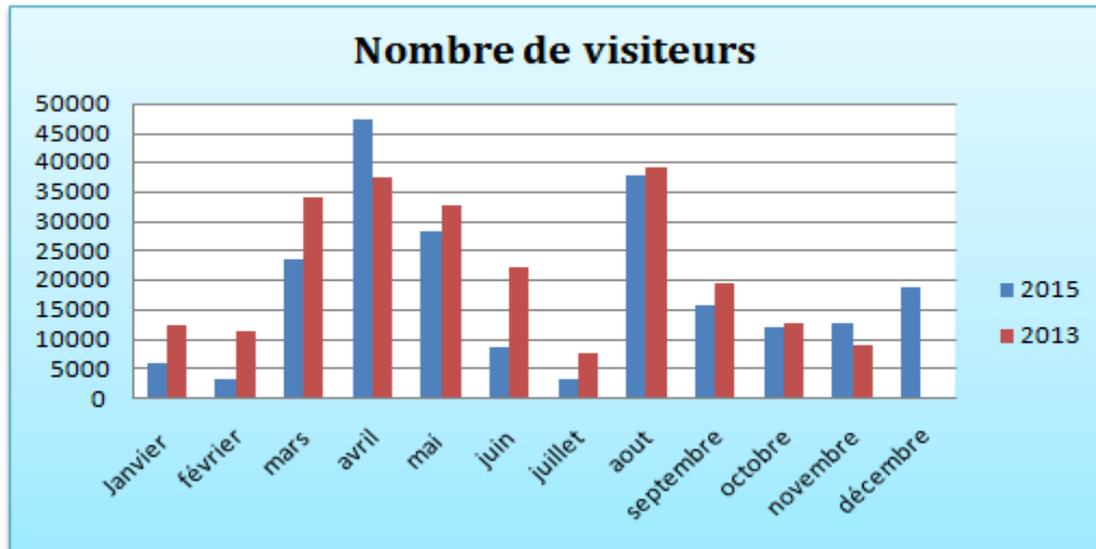


Figure I. 10 : Flux des touristes vers les grottes de Béni Add pour l'année 2013 et 2015
(source :l'APC Ain .Fezza, 2016)

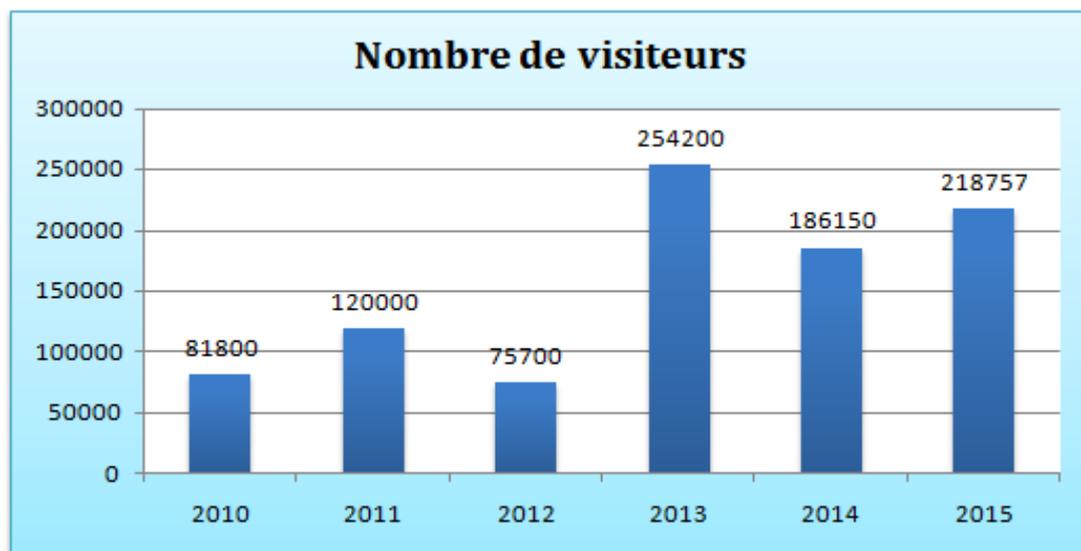


Figure I. 11: Flux annuels de touristes vers les grottes de Béni Add (source : APC Ain .Fezza, 2016)

Le graphe de la figure ci-dessus permet de constater le nombre important de visiteurs des grottes de Beni Add. Au cours de la période de 2010-2015 il apparaît que l'année 2013 soit celle qui a vu affluer le plus grand nombre de touristes soit plus de 250.000.

Quand, à la fréquentation de ces grottes, le nombre de visiteurs recensés par année était de 186150 touristes en 2014, Pour l'année suivante le nombre a augmenté 32607 touristes / an.

Seulement après une petite enquête réalisée récemment auprès du guide qui s'occupe aussi de la vente des tickets à raison de 50DA la personne, nous avons pu constater le flux de touristes qui a augmenté en cette année 2015, Pendant la saison de printemps il a été enregistré 900 à 950 visiteurs par jour.

A titre confirmatif, la matinée où Cette enquêté a eu lieu (pendant le mois Avril : 01/04/2016) nous avons pu compter une centaine de visiteurs qui se sont rendus sur les lieux.

En consultant les registres d'accueil on a remarqué que la majeure partie des visiteurs est constituée de touristes étrangers à la willaya. Ceci dénote l'importance de ces grottes à l'échelle nationale. Malheureusement, vu le manque de structures d'accueil et loisirs, ce dont d'ailleurs s'est plaint la plupart des visiteurs que nous avons rencontrés, la fréquentation reste peu importante par rapport à l'importance même de ces grottes.

Comme preuve voici quelques remarques de la part des visiteurs :

- ❖ « C'est pour moi une découverte de plus, dans cette magnifique région de Tlemcen qui connaîtra j'en suis persuadé un développement touristique digne d'elle" ».
- ❖ « C'est désormais fantastique ! ces grottes sont de véritables musées géologiques naturels de l'histoire de la terre, je souhaiterais qu'on investisse plus dans cet endroit touristique, je pense que certains secrets de la vie se cachent dans ces "soit-disant" grottes »

On a remarqué que les séries d'excursion vers ce site touristique ne sont pas organisées d'une façon régulière pendant toute l'année. Cependant dans la présente étude, on permettra un aménagement touristique qui revalorisera ce site montagneux.

XV. L'intérêt de l'aménagement

XV.1. Le profil du « nouveau touriste »

Ils sont plutôt jeunes, avec un niveau d'éducation assez élevé. Ils sont assez sportifs, Ils aiment la nature et apprécient les produits du terroir et les recettes locales. Ils sont assez ouverts aux autres et à leur culture. Ils s'intéressent aux populations locales, à leur mode de vie, à leurs traditions, mais aussi à leurs difficultés. Ils sont respectueux de ces populations et de leur environnement.

Les grottes de Béni Add répondent à toutes les exigences du nouveau touriste. Comme l'endroit est proposé pour être classé comme site touristique, il sera connu partout dans le monde et peut être une nouvelle source de richesse pour l'Algérie et plus exactement pour Tlemcen [8].

XV.2. Motivation du projet d'aménagement du site de la grotte de Béni Add

L'état actuel de la région d'Ain Fezza, ne permet pas encore d'accueillir un flux important de touristes. Certaines démarches ont été entreprises par les autorités locales, afin d'assurer une meilleure prise en charge du visiteur du site de la grotte. Ainsi un aménagement rudimentaire, pris en charge par le parc national, permet à tout visiteur de ce site un minimum de confort.

D'après les informations que nous avons pu recueillir lors de nos différents passages aux services de l'APC, la direction d'hydraulique de Tlemcen ... etc. Un dossier pour classement du site comme zone naturelle protégée est en voie de préparation (parc national de Tlemcen).

Il est donc indispensable de commencer à réfléchir sur les différentes possibilités d'aménagement qui pourraient mettre en valeur ce site. Toute option d'aménagement doit prendre en considération le fait que ce site se trouve en milieu karstique donc très sensible à la pollution.

Notre travail consiste en une contribution à cet aménagement qui sera principalement axé selon deux volets.

- ◆ Le premier volet de ce travail consiste tout d'abord à étudier les ressources en eau de la région en vue de l'approvisionnement du site à aménager.
- ◆ Le second volet de ce travail abordera l'évacuation des eaux usées depuis le site aménagé vers le milieu naturel. Une réflexion assez particulière sera effectuée sur ce volet quant à l'utilisation de méthodes d'épuration des eaux usées par les plantes. Ce moyen s'intègre bien dans l'environnement immédiat du projet.

XVI. Conclusion

D'une manière générale, le tourisme de masse dans les grottes peut engendrer des modifications profondes de leur écosystème et irrémédiables pour leur avenir. Les apports en CO₂ et vapeur d'eau (transpiration et respiration) et l'élévation de la température sont autant d'éléments perturbateurs d'un milieu physique particulièrement stable. De plus, le bruit, les déchets, les graffitis sur les parois, la destruction de concrétions perturbent également l'écosystème souterrain et souvent abîment à tout jamais le site.

Pour toutes ces raisons, il est urgent et indispensable de gérer de manière scientifique (étude d'incidence préalable à tout aménagement et suivi écologique) les grottes touristiques, patrimoine naturel, afin de les maintenir durablement dans un état le plus proche possible de leur état originel.

Alors que le tourisme souterrain ne peut être durable que si l'intégrité écologique et l'environnement sont sauvegardés.

L'aménagement d'un paysage patrimonial ne doit en aucun cas modifier l'essence même du site, et ne pas brouiller son identité. Il doit s'engager avec cohérence dans l'évolution de ce paysage, et en accompagne en douceur le développement.

Ces cavités doivent être considérées comme de réelles et véritables vitrines d'un patrimoine souterrain très fragile et plus que sensible. Leur qualité se veut et doit rester irréprochable au fil du temps.

La protection et le respect du patrimoine naturel tel que les grottes passe par l'éducation à tous les niveaux.

Chapitre II

Caractérisation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique et description de la zone d'étude

La région sur laquelle porte notre étude se localise dans la partie occidentale de l'Ouest algérien, elle fait partie des « Monts de Tlemcen » particulièrement dans sa partie Nord où les calcaires et dolomies marquent toutes les formes de relief. Elle s'étend sur une superficie de 9Km².

Notre zone d'étude constitue un paysage où on rencontre un ensemble physique, composé de plusieurs Djebels dont Dj.Béni Yakoub à 1412 m, Dj.BouArb à 1141m, surplombant les grottes de Seghendouna, Dj.Dokara à 1113 m, où se localisent les grottes de Béni Add. Ce massif est caractérisé par une altitude qui varie entre 800 et 1150 m et par un couvert végétal en majorité dégradé.

Les grottes de Béni Add se situent à 7 km au Sud-Est de la commune de Ain Fezza dans la Daira de Chetouane et à 12 km de la ville de Tlemcen sur la route nationale n°7. Elles se trouvent à 1122 m d'altitude.

Autrement dit, elles se situent à mi-chemin entre la commune de Ain Fezza et celle de Chouly, exactement sur le Djebel Bou Arb.



Figure II. 1: Situation géographique de la région de Béni Add

Tableau II. 1 :Coordonnées géographiques et Lambert des grottes de Béni Add

Coordonnées géographiques	Longitude	1°12'14'' W
	Latitude	34°51'15'' N
Coordonnées Lambert (carte Terni 1/50.000)	X	143,15 Km
	Y	180 Km

I.1.1. Aperçu descriptif des grottes de BéniAdd

La première galerie fait 18 m de hauteur et se situe à 45m de profondeur sous le sol, au offrent un paysage renversé, les stalactites et les stalagmites se rencontrent pour former une belle et imposante colonne.

La deuxième galerie visitée se situe à 15 m sous-sol, les stalactites et les stalagmites forment une curiosité toute particulière se traduisant par le piano africain, ce sont des colonnes creuses et sonores qui émettent des ondes amplifiées par les grottes.

Autre curiosité plus fascinantes : la chambre du roi dont aucun adjectif ne peut qualifier la beauté.

La troisième galerie située à 57 m sous-sol communique avec l'extérieur par un passage étroit de 45m de longueur.

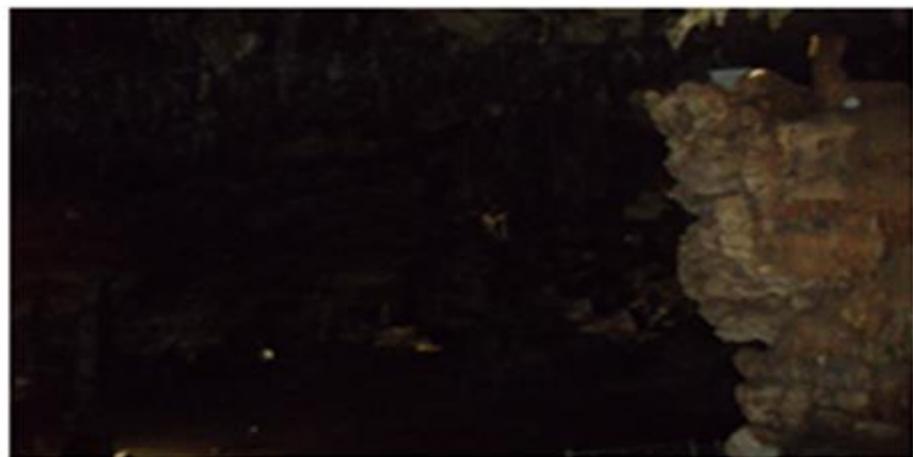
A préciser que, selon l'affirmation du guide conservateur des grottes, plusieurs issues existent mais elles sont non explorées et qu'une température constante de l'ordre de 13°C a été constatée durant toute l'année, même à une profondeur de 60 m. Une eau limpide et glacée jaillit des sources souterraines au niveau de la deuxième galerie des grottes. Le premier aménagement observé à l'intérieur des grottes remonte à l'année 1969.Durant ces dernières années, d'autres aménagements ont été réalisés comme le renouvellement de l'éclairage électrique en utilisant des lampes qui dégagent moins de chaleur. Aussi des caméras de surveillances ont été installées pour garantir un meilleur contrôle.



Salle de Roi



Salle des Epées



Grande Salle

Figure II. 2 : Salles des grottes de Béni Add (photo Dahmani et Morsli, 2016)

I.1.2. Grottes de Seghendouna

Cette cavité se situe à 700 m par rapport aux grottes de Béni Add. Elle est aussi importante, seulement elle demeure peu visitée vu la difficulté de son accès.

Selon la description de cette cavité par certains spéléologues, la constitution des espaces de cette dernière se fait verticalement sous formes d'étage.



Figure II. 3 : La grotte de Seghendouna

Tableau II. 2 : Coordonnées Lambert des grottes de Seghendouna

Coordonnées Lambert (carte Terni au 1/50.000)	X	142.8 Km
	Y	179.0 Km

II. Hydrographie

Les conditions climatiques sévères conditionnent, avec les facteurs géomorphologiques, le régime hydrographique et son évolution. Cependant l'influence du relief sur l'écoulement est importante car de nombreux paramètres hydrométéorologiques (précipitations, température,... etc.), varient avec l'altitude et la morphologie du bassin versant.

Vu la nature topographique du relief montagneux, la zone d'étude est marquée par un réseau hydrographique important qui est composé lui-même d'Oueds principaux et secondaires qui sont alimentés par plusieurs affluents et chaabats. Ces derniers se jettent dans deux principaux cours d'eaux, à écoulement pérenne, Oued Chouly (partie Sud) et Oued Saf-Saf (partie Nord) qui alimentent l'Oued Isser. Ils drainent la commune d'Ain Fezza et constituent les limites naturelles orientales et occidentales de cette zone.

II.1. Carte du réseau hydrographique

La carte du réseau hydrographique au 1/50.000 de notre zone d'étude est établie à partir des feuilles de Tlemcen, Terny1/50.000 en utilisant le SIG.

Cette carte schématise l'aspect et la nature du chevelu du réseau hydrographique, dominée par les écoulements intermittents.

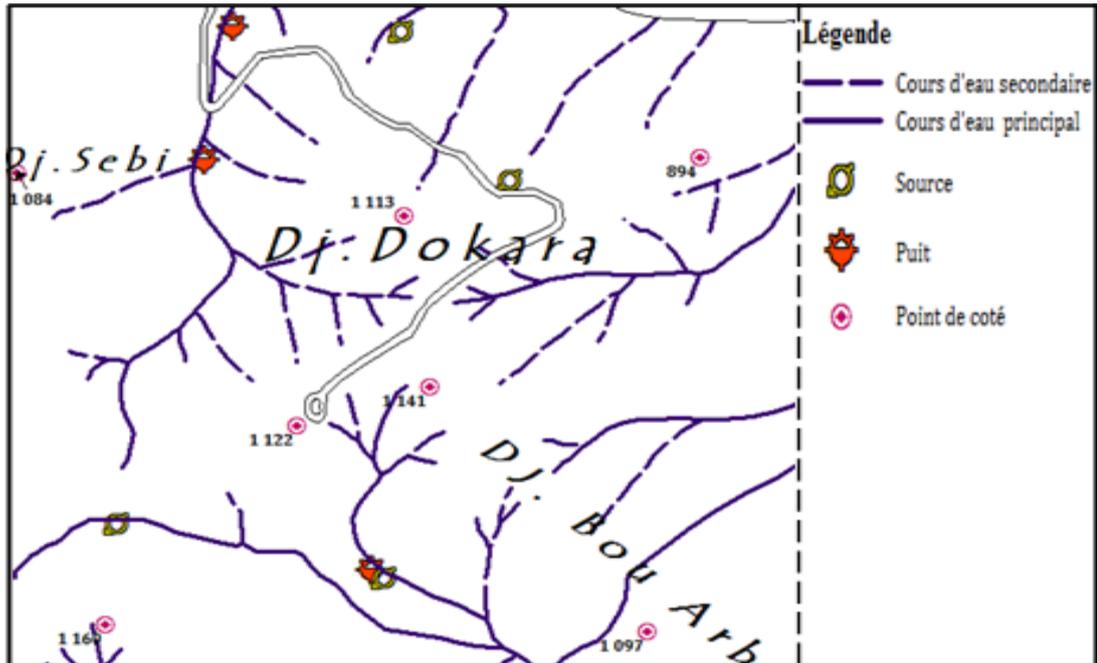


Figure II. 4: Carte du réseau hydrographique (extrait de la carte topographique de Terni 1/50.000)

III. Relief et topographie

Les grottes de Béni Add s'insèrent dans un relief montagneux assez accidenté où l'affleurement de la roche mère à nu apparait le plus souvent en pente raide. Le site immédiat à l'entrée des grottes se présente en une plate forme structurale qui a subi un aménagement précaire.

Il est constitué par trois ensembles montagneux, formes de Djebel entrecoupés par des plaines, collines et ou dépressions. C'est un relief à pente raide qui dépasse généralement les 25%, les sommets les plus élevées se répartissent au Sud-ouest de la zone d'étude et culminent à 1412m à Djebel Beni Yakoub. Ces ensembles sont dans la limite Nord du grand massif des Monts de Tlemcen. Le relief de ces ensembles est très accidenté avec affleurement des roches calcaréo-dolomitiques dures. Ce qui explique la nature hétérométriques des dépôts (galets, cailloux, blocs, ...etc.). Et une végétation spontanée dégradée dans sa plus grande partie telle que le matorral et la broussaille.

III.1. Les plaines

Les plaines qui caractérisent la zone d'étude dont la plaine d'Ain Fezza d'orientation Est-ouest qui s'étend sur 3km environ le long de la route nationale (R.N7), sur une altitude de 850m. Il existe aussi une autre plaine de moindre importance que la première, celle de Beni-Add.

Le relief terrestre est constitué d'un assemblage de forme. Ces formes sont la résultante de processus d'intensité et de dynamique variables dans l'espace et dans le temps. Les processus sont déclenchés par des agents naturels endogènes (tectoniques des plaques) ou exogènes (agents climatiques, chimiques, ... etc.), et /ou des agents anthropogènes comme montre la figure II.5 [13].

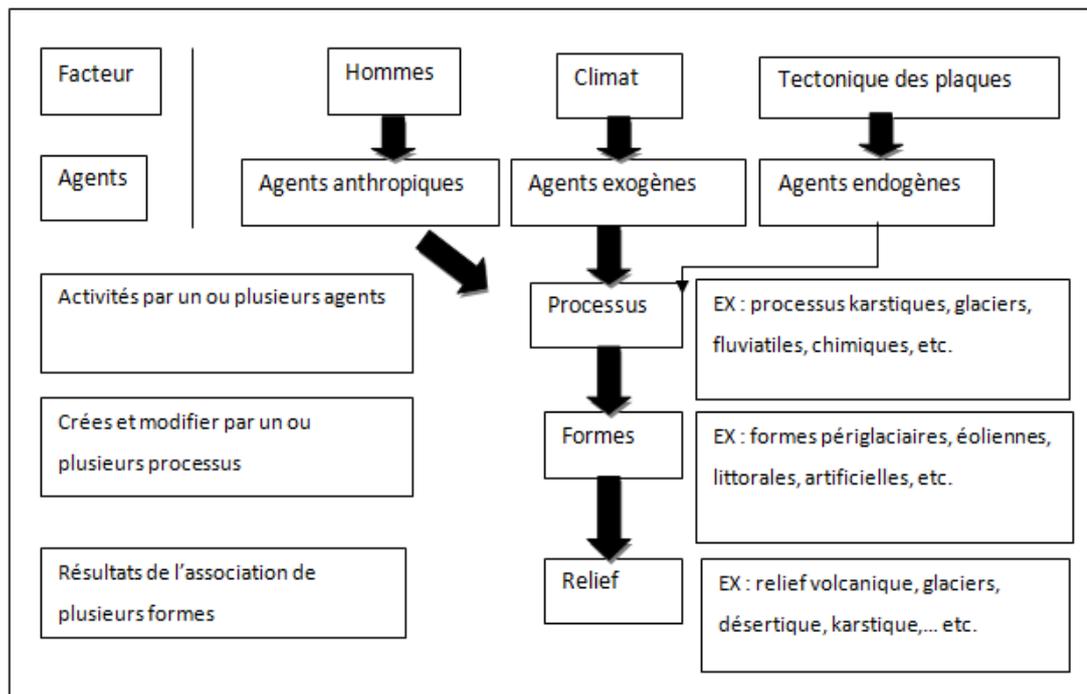


Figure II. 5 : Modèle conceptuel des relations entre processus, formes géomorphologiques et relief [13].

L'homme, par ses interventions sur le relief, participe à son évolution par exemple en limitant l'action des processus naturels ou en aménageant des ouvrages de protection contre les dangers naturels, ou encore en extrayant des matériaux. Non seulement, il modifie les formes du relief mais il influence également sur les processus dynamiques.

Les interventions humaines sont parfois involontaires c'est le cas des impacts de certaines constructions. Elles sont souvent volontaires et réfléchies, notamment dans le

cadre des aménagements ou des activités d'exploitation de ressources. Dans ce cas, l'intervenant projette sur le relief sa propre vision valeur de la géomorphologie et cette représentation va fortement influencer les modalités d'intervention sur le relief et donc les transformations paysagères induites par ces interventions [13].

IV. Contexte Climatique

Le climat est défini comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, pression atmosphérique, vent, précipitations,... etc.), qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Il est un élément principal pour toute étude sur l'environnement [15].

La région de l'Ouest algérien se caractérise par de faibles précipitations avec une grande variabilité inter-mensuelle et interannuelle [15].

Le climat de la région de Tlemcen est plus ou moins connu grâce aux travaux effectués sur le climat méditerranéen, différents auteurs ont souligné que les monts de Tlemcen sont sous influence du climat méditerranéen, avec deux saisons bien distinctes :

- ✓ Une saison hivernale froide de courte durée.
- ✓ Une saison estivale chaude et sèche de longue durée [9].

L'analyse climatique envisagée dans cette étude a pour objet la détermination de l'étage bioclimatique de la région d'étude à partir du climagramme pluviothermique d'Emberger(1955), ainsi que la détermination de la période de sécheresse par les diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1953). Pour cela, deux paramètres ont été retenus : température et précipitations.

IV.1. Détermination de l'étage climatique

La définition des climats est fondée sur l'analyse et la synthèse des données issues de poste météorologique qui domine notre zone d'étude. Les données climatiques sont relevées ou enregistrées journalièrement dans ce poste météorologique, elles sont ensuite totalisées pour chaque mois et récoltées par des services météorologiques.

La base des données météo de chaque station comporte pour chaque mois d'une période donnée : précipitation (P mm), nombre de jours de pluie, moyenne des températures minimales, moyenne des températures maximales, la neige, le vent et d'autres informations.

IV.1.1. Choix de la période et de la durée

Dans notre zone d'étude les précipitations sont particulièrement irrégulières d'une année à l'autre, il faudrait une durée d'observation minimale d'environ 20 ans pour avoir des résultats fiables.

IV.1.2. Choix de la station météorologique

L'absence d'une station météorologique propre à notre zone d'étude nous a obligés de faire appel aux données climatiques des stations les plus proches en l'occurrence, la station météorologique de Meffrouche (1980-.2013).

Tableau II. 3 : Données géographiques de la station météorologique

Nom de la station	Coordonnées		Altitude en (m)	Site d'implantation	Paramètres mesurés
	Longitude	Latitude nord			
Meffrouche	1°17 W	34°51N	1106	barrage	Précipitation Température

IV.2. Les facteurs climatiques :

La température et la pluviosité sont les deux éléments principaux du climat. Les climagrammes et les diagrammes ombrothermiques sont quelques outils de la bioclimatologie qui permettent d'élaborer des modèles de représentation et de comparer les climats entre eux.

IV.2.1 Précipitations

La connaissance des paramètres climatiques principalement les précipitations est importante dans le cadre de notre étude en raison de leurs influences sur le régime (pluvial). En, outre, les précipitations constituent un des éléments les plus importants dont dépendent la vie des paysans et l'agriculture. Le terme précipitation englobe

toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre qu'elles soient sous forme liquide (pluie), ou solide (neige, grêle,... etc.).

La pluviosité est définie comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, elle conditionne le maintien de la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'autre part [12].

IV.2.1.1. Régimes pluviométriques

La connaissance de la moyenne annuelle de la pluie est un grand intérêt, mais pour compléter les études de la distribution de la pluie, il faut y ajouter celle du régime pluviométrique, c'est-à-dire la manière dont cette quantité totale de pluie se repartie entre les différentes saisons [9].

Le rythme des précipitations est primordial, puisque l'existence d'une période de sécheresse estivale est le facteur écologique majeur.

Les régimes pluviométriques se trouvent sous l'influence de deux groupes de facteurs :

- ✓ Les facteurs géographiques : altitude, latitude, distance à la mer, orientation des versants
- ✓ Les facteurs météorologiques : masses d'air, centres d'action, trajectoires des dépressions [9].

a) Régimes annuels et mensuels

➤ Régime annuel

La figure II.6 montre la moyenne annuelle des précipitations allant de 1980 à 2013 (voir tableau A1, annexe A). On remarque que les précipitations sont très irrégulières et leurs variations sont très importantes sur toute la série. Un maximum est enregistré en (2012-2013) et le minimum en (1983-1984) par rapport à la moyenne : 560,52 mm. Les valeurs relevées majoritairement se trouvant au-dessous de la moyenne.

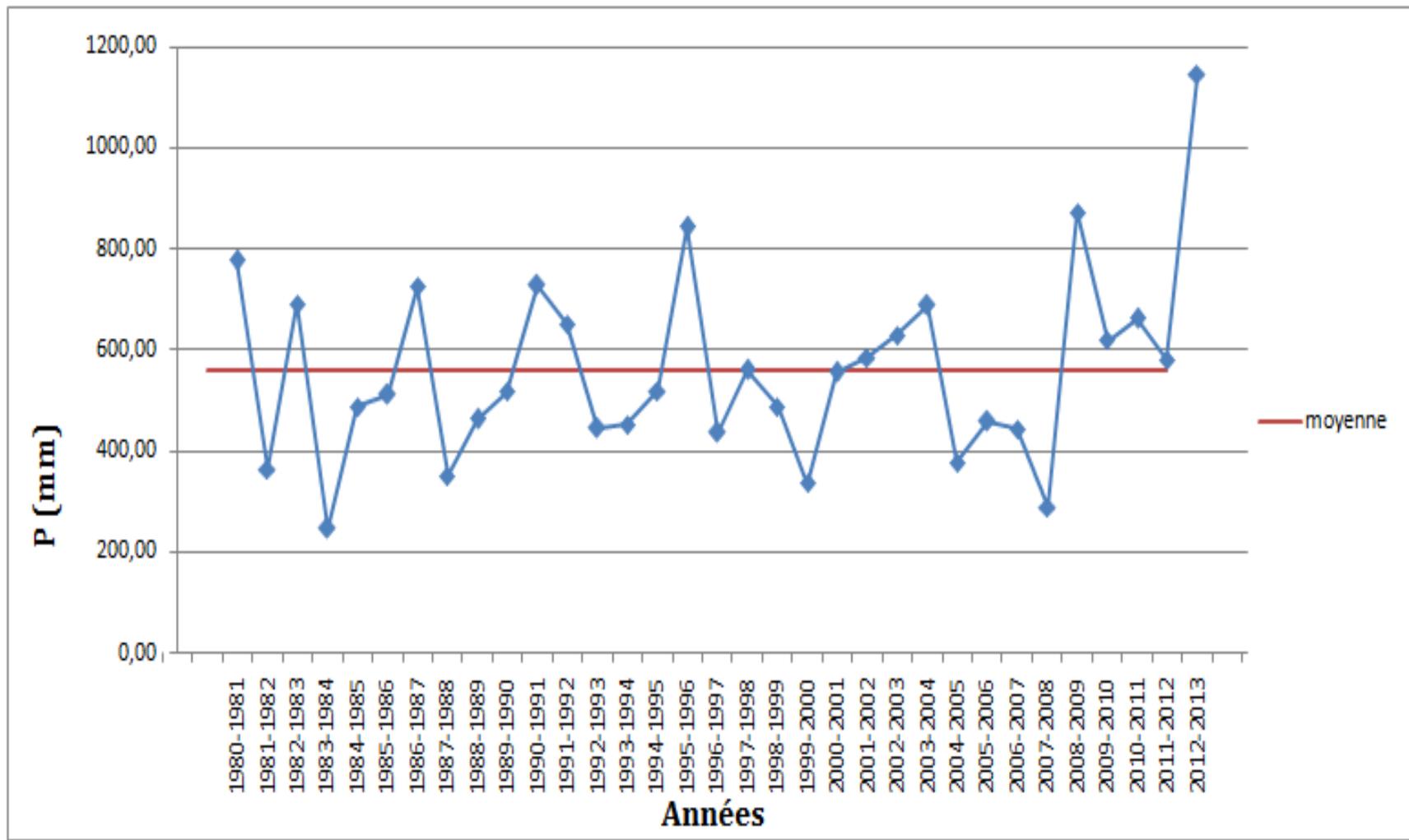


Figure II. 6 : Distribution annuelle des précipitations

➤ Régime mensuel

Nous donnons dans le tableau A.1 (Voir tableau A2, l'annexe A) les valeurs moyennes mensuelles des précipitations.

La figure II.7 représente la répartition mensuelle des précipitations. On remarque que les mois les plus arrosés sont novembre, décembre, janvier et février, en moyenne 73 mm. Un deuxième pic est à noter en mars : 80 mm. Les mois de Juillet et Aout demeurent les moins pluvieux. Le minimum apparait en juillet : 3 mm.

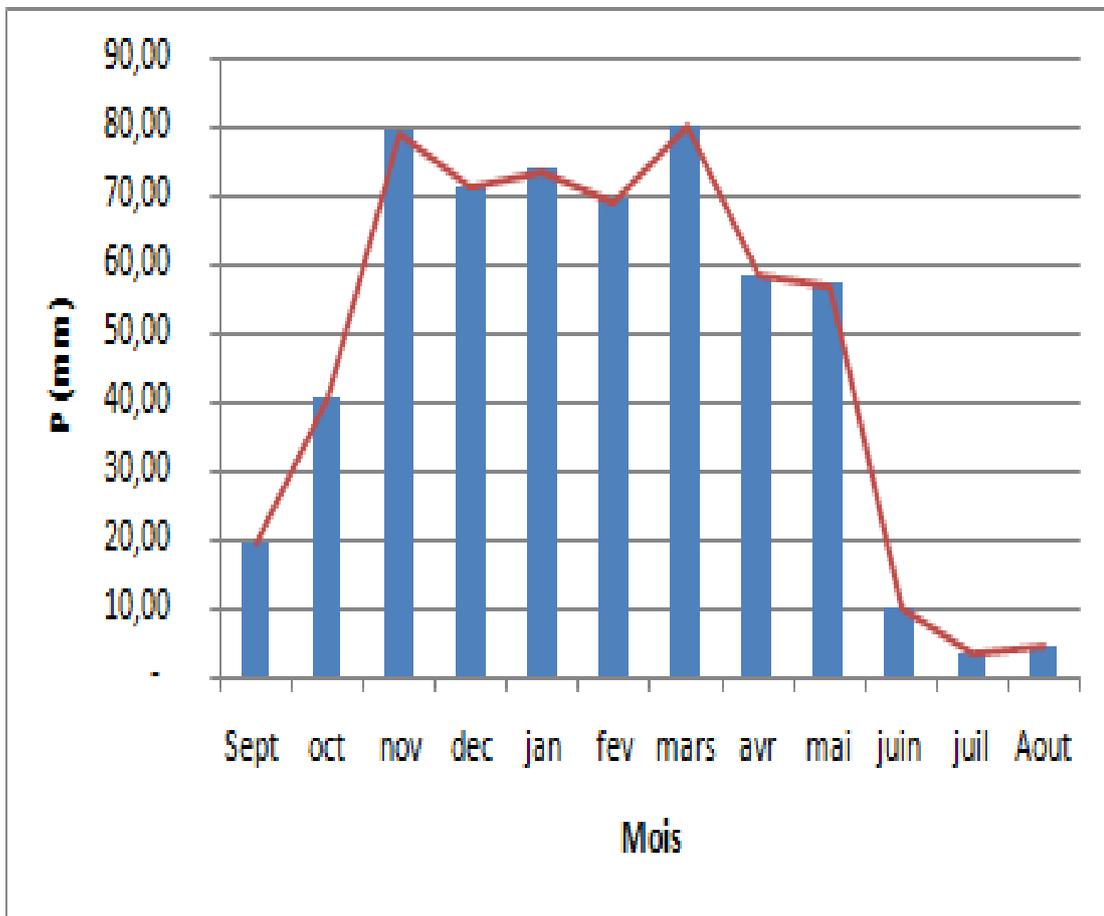


Figure II. 7 : Distribution mensuelle des précipitations

b) Régime saisonnier

On montre l'importance de la répartition des précipitations de l'année par saison (Hiver, Printemps, Eté, Automne). Le régime saisonnier est calculé en faisant la somme des précipitations par saison comme montre le tableau A3 (voir annexe A).

D'une manière générale, les précipitations sont réparties inégalement durant les saisons. Les données capitalisées dans le tableau A 3et la figure II.8 soulignent que les saisons les plus pluvieuses sont l'hiver et le printemps. Il est à noter, en moyenne les 38% des précipitations se font en hiver, les 24% en automne, 35% en printemps et 3% en été.

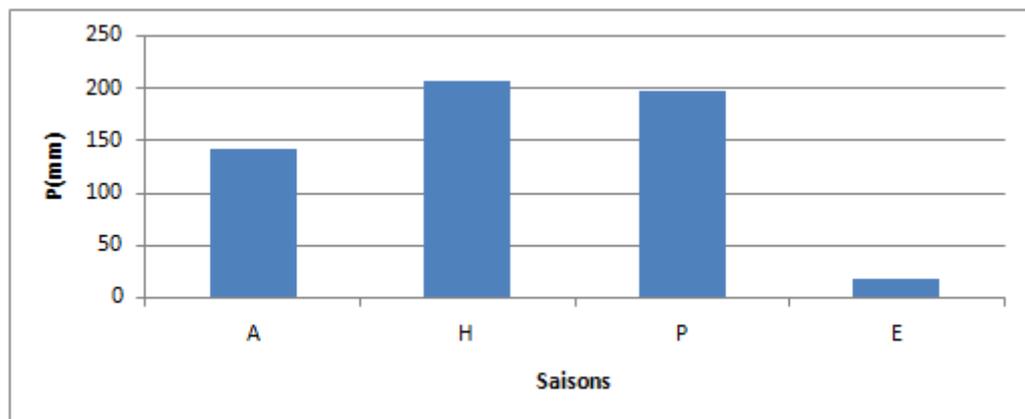


Figure II. 8 : Régime saisonnier des précipitations (1980-2013)

IV.2.2. Températures

La température est un facteur important qui, avec les précipitations permet le calcul des indices climatiques [16].

En effet elles interviennent dans le déroulement de tous les processus biologiques selon divers modalités, elles contrôlent la croissance des plantes, leurs reproductions, leurs survies et par conséquent leurs répartitions géographiques, ainsi que l'évolution des sols [9].

- ✓ Pour connaître la variation des températures dans la zone d'étude, on s'est basé sur la température extérieure mesurée par la station météorologique de Meffrouche au cours de la période 1990-2005.

IV.2.2.1. Température mensuelle

La figure II.9 représente la répartition mensuelle des températures moyennes pour la période (1990 à 2005). Du mois de septembre jusqu'à janvier on observe une diminution régulière de température, après elle augmente d'une façon continue jusqu'à atteindre le maximum au mois de juillet

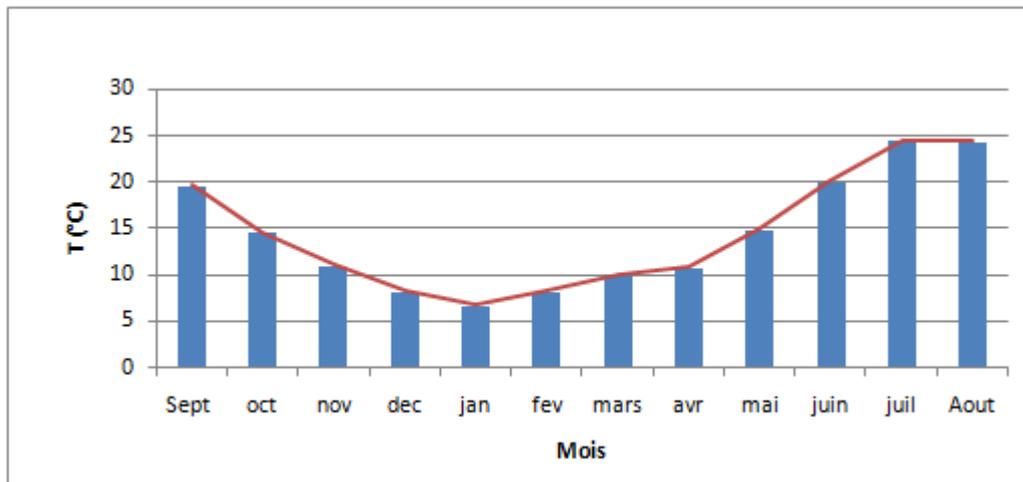


Figure II. 9 : Distribution mensuelle des températures

a) Amplitude thermique, ou indice de continentalité

Définit par la différence entre les moyennes des maximums extrêmes d'une part et des minimums extrêmes d'autre part, sa valeur est écologiquement importante à connaître, car elle représente la limite thermique extrême à laquelle chaque année en moyenne les végétaux doivent résister [9].

L'amplitude thermique est calculée selon la méthode de Debrach (1953). Cette méthode nous permet de définir les différents types de climat :

- ✓ Climat insulaire : caractérisé par un écart $M-m < 15^{\circ}\text{C}$
- ✓ Climat littoral : caractérisé par un écart compris entre $15^{\circ}\text{C} < M-m < 25^{\circ}\text{C}$
- ✓ Climat semi-continental $25^{\circ}\text{C} < M-m < 35^{\circ}\text{C}$
- ✓ Climat continental $M-m > 35^{\circ}\text{C}$

Avec :

- ◆ M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en ($^{\circ}\text{C}$)
- ◆ m: Moyenne des minima du mois le plus froid en ($^{\circ}\text{C}$)

- ◆ M-m : Amplitude thermique (°C) [20].

Tableau II. 4 : Type de climat en fonction d'amplitude

Station	Période	M(°C)	m (°C)	M-m (°C)	Type de Climat
Meffrouche	1990-2005	30,5	2,3	28,2	semi-continental

La zone d'étude reste influencée par un climat semi-continental pour cette période.

IV.3. Synthèse bioclimatique

L'intérêt de cette synthèse porte sur l'importance du facteur climatique en question et son influence directe sur le milieu en donnant à de très nombreuses applications pratiquées dans divers domaines (Agricole, Aménagement de territoire, Forestier,... etc.). Une étude synthétique de climat permet de mieux distinguer la relation entre le type agricole ou la végétation en générale et celui climatique [9]. La synthèse climatique est basée sur 3 critères :

Premier critère : C'est en fonction de la classification des précipitations, le climat est divisé en étages bioclimatiques en relation avec les valeurs de précipitations moyennes annuelles (P mm).

Tableau II. 5: Etages bioclimatiques [20].

Précipitations	Etages bioclimatiques
>800 mm	Humide
600 -800 mm	Subhumide
400-600 mm	Semi-aride
300-400 mm	Aride supérieur
200-300 mm	Aride moyen
100-200 mm	Aride inférieur
<100mm	Saharien

Chapitre II : Caractérisation de la zone d'étude

La station d'étude a une moyenne annuelle des précipitation qui égale 560,52 mm, alors On peut la classer dans l'étage bioclimatique Semi-aride selon la période (1980-2013).

Deuxième critère : en fonction de la moyenne des minima du mois le plus froid ($m^{\circ}\text{C}$), ça permet de subdiviser les étages bioclimatiques en sous étages à partir de valeur précise de ($m^{\circ}\text{C}$). (Voir le tableau A4 dans l'annexe A)

Tableau II. 6 : Classification des sous étages bioclimatiques en fonction de « m »

Moyenne des minima du mois le plus froid « $m^{\circ}\text{C}$ »	Sous étages bioclimatiques
$-3 < m < 0$	Froid
$0 < m < 3$	Frais
$3 < m < 7$	Tempéré
$7 < m < 11$	Chaud

Pour la période (1990-2005) la station de Meffrouche est caractérisé par $m=2,3^{\circ}\text{C}$, donc elle est sous influence d'un hiver frais.

Troisième critère : en fonction de la moyenne des maxima de mois le plus chaud ($M^{\circ}\text{C}$), C'est la subdivision des variantes thermiques en sous variante thermique en fonction de la valeur précise de ($M^{\circ}\text{C}$). (voir le tableau A4 dans l'annexe A)

Tableau II. 7 : Classification en fonction des sous variantes thermiques

Moyenne des maxima du mois le plus chaud ($M^{\circ}\text{C}$)	Sous variantes thermiques
$M < 10$	Température diurne basse
$10 < M < 12$	Température diurne moyenne
$12 < M < 15$	Température diurne élevée
$M > 15$	Température diurne très élevés

Pour la période (1990-2005) la station de Meffrouche est caractérisé par $M=30,5^{\circ}\text{C}$, donc elle appartient à une température diurne très élevés.

IV.3.1. Indice De Martonne

Est défini comme un indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprimée par la relation suivante :

$$I = P / T + 10$$

T : température moyen annuelle (°C).

P : Précipitation moyennes annuelles (mm)

I : indice d'aridité

Ce dernier permet d'étudier spécialement les rapports du climat avec la végétation et de positionner la station d'étude, ceci grâce à un abaque préétabli.

De Martonne propose la classification suivante :

$I < 5$: climat hyper aride.

$5 < I < 10$: climat désertique.

$10 < I < 20$: climat semi-aride.

$I > 20$: climat humide.

Tableau II. 8 : Indice de Martonne

Station	Période	I (mm/°C)	Type de Climat
Meffrouche	1990-2005	22,5	climat humide

Ce tableau montre que l'indice de Martonne calculé pour la période 1990-2005 permet de classer la zone d'étude dans un climat humide (Zone tempérée à drainage extérieur)

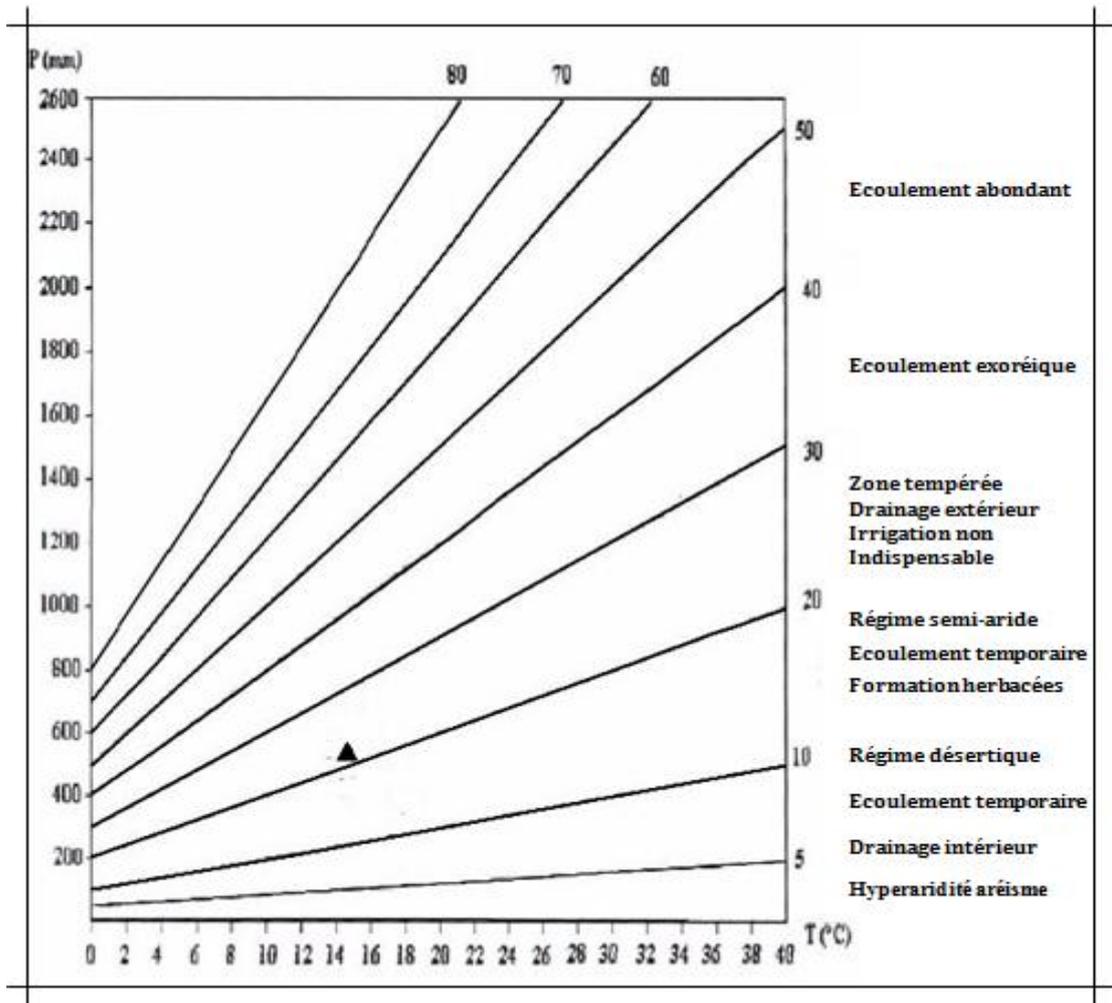


Figure II. 10 : Indice d'aridité d'après le climagramme de Martonne (1990-2005)

IV.3.2. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

La quantification de la sécheresse climatique a été précisée par l'établissement des diagrammes ombrothermiques de Bagnouls et Gausson (1953-1957), où figurent pour chaque mois, la courbe des précipitations, et celle des températures moyennes multipliées par deux ;

Le diagramme ombrothermique permet de déterminer la saison sèche par une représentation graphique portant en abscisse les mois de l'année, en ordonnée de droite les températures et ordonnée de gauche les précipitations, tout en adoptant l'échelle $P < 2T$ avec :

P: précipitations moyenne du mois en (mm)

T: Température moyenne du mme mois en (°C)

L'exploitation de diagrammes ombrothermique de la zone d'étude montre que la station est caractérisée par deux périodes : une période humide et une sèche ou déficitaire. La période sèche débute généralement le mois de Mai et se prolonge jusqu'au fin septembre ou début Octobre, avec une durée de 5 a 6 mois. En outre la période humide s'étale sur le reste de l'année.

Pour mieux illustrer le degré de l'intensité de la sécheresse, nous notons qu'il est intéressant de comparer ainsi la surface délimitée par les courbes des précipitations moyennes et les températures moyennes de la station d'étude.

L'interprétation de diagramme ombrothermique de notre zone d'étude montre que cette dernière s'identifie actuellement par une accentuation nette de la sécheresse,

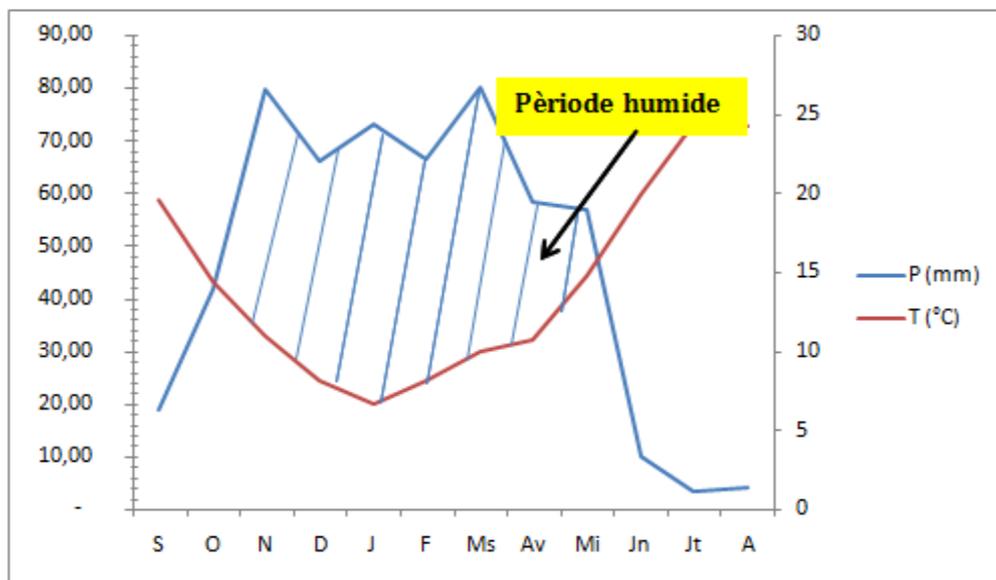


Figure II. 11 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (StationMeffrouche1990-2005)

IV.3.3. Le Quotient pluviothermique d'Emberger

La Quotient pluviothermique d'Emberger (1952-1955), correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen en se basant sur des critères liés aux précipitations moyennes annuelles P (mm), à la moyenne des minima du mois le plus froid de l'année ($m^{\circ}\text{C}$) et à la moyenne des maxima du mois le plus chaud selon la formule suivante :

$$Q_2 = 2000 * P / (M^2 - m^2)$$

Dont :

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°K)

m: Moyenne des minima du mois le plus froid en (°K)

$$T(^{\circ}K) = T^{\circ}C + 273.2$$

C'est la méthode de classification climatique la plus adaptée au type méditerranéen. L'emploi de cette méthode nécessite essentiellement de prendre certaines précautions.

- ✓ L'utilisation du Q2 est spécifique au climat méditerranéen
- ✓ Un bioclimat ou encore une ambiance bioclimatique se définit en tenant compte de la valeur calculée de Q2 et celle de la variante thermique (m°C), sur un repère d'axes orthogonaux.

Le quotient pluviothermique Q2 à été modifié par Stewart le même auteur, à montre que pour l'Algérie et le Maroc la moyenne de températures (M+m) / 2, peut être ramenée à une constante K dont la valeur est égale à 3.43 d'où le quotient:

$$Q_3 = \frac{P}{M - m} * 3.43$$

Dans les quelles

P: précipitations moyennes annuelles en mm

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C)

m: Moyenne des minima du mois le plus froid en (°C)

Les valeurs de Q₂ est celles obtenus par la formules de Q₃ sont très peu différentes. L'erreur maximale est inférieure à 2 % [9].

Tableau II. 9 : Quotient pluviothermique d'Emberger et de Stewart

Station	Période	P(mm)	m(°C)	M (°C)	Q ₂	Q ₃	Etage bioclimatique
Meffrouche	1980 à 2014	548,7	2,3	30,5	67,19	66,74	Subhumide inférieur à hiver frais

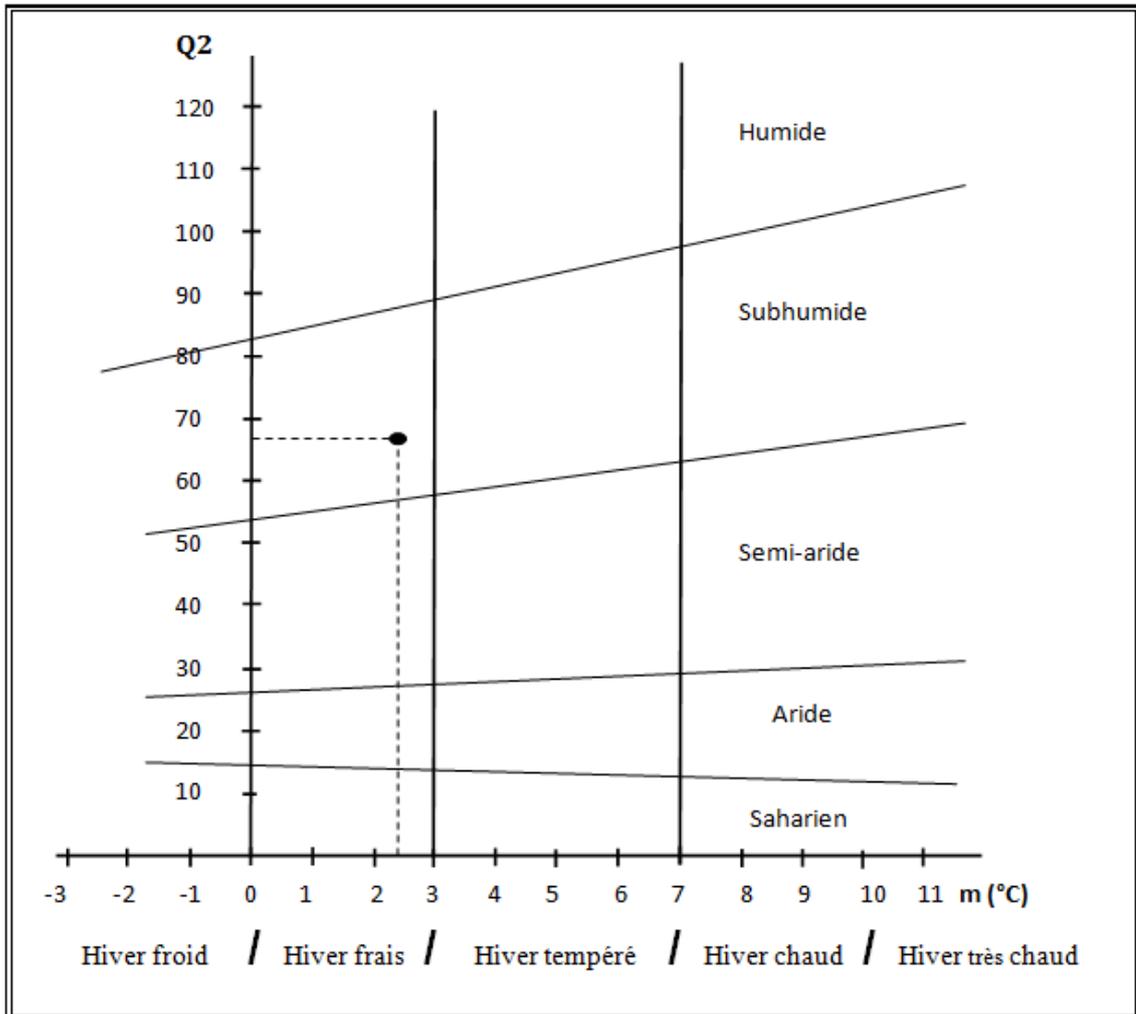


Figure II. 3: Climagramme du quotient pluviométrique d'Emberger Q₂

IV.4. Conclusion

Cette étude climatique nous a donné un aperçu général sur le climat de la zone d'étude par l'utilisation des données de mesures au niveau de la station du Meffrouche.

En déterminant le quotient pluviométrique d'Emberger (Q₂) et la moyenne des minima du mois le plus froid m de la station de référence, nous avons pu situer notre région d'étude sur le climagramme d'Emberger. La zone d'étude se trouve dans un climat à tendance Sub-humide inférieur à hiver frais.

La sécheresse de l'été et la position géographique de la zone font que le climat est de type méditerranéen, caractérisé par deux grandes saisons :

- Saisons de pluies hivernales s'étendant de l'automne jusqu'au début printemps (5 à 7 mois)

- Saison sèche, estivale s'étendant sur les quatre mois restants

La méthode de l'indice climatique de Martone indique un climat humide (1990-2005).

V. Aperçu géologique

Les Monts de Tlemcen correspondent à une vaste superficie de 317600ha, où affleurent des roches carbonatées jurassiques très Karstifiées (80%), ils sont assez bien arrosées (500mm à 700mm/an) et s'y infiltrent (200mm à 400mm/an) [12].

Les monts de Tlemcen sont marqués par une structure de Horst et Graben d'orientation N50 à N70 (direction de la grande faille normale) [21].

Les grottes de Béni Add s'insèrent dans un ensemble de jurassique supérieur (dolomie), donnant ainsi une gamme de formes karstiques.

Les roches carbonatées sont de nature calcaire et dolomie compacte ruiniformes et karstifiées « Dolomie des Monts de Tlemcen » du jurassique moyen et supérieur. Ces formations jurassiques sont affectées par une tectonique cassante.

V.1. Jurassique supérieur

V.1.1. Les grés de Boumediene

Il s'agit d'un ensemble à dominance gréseuse, se terminant par environ (70m) d'argiles rouge ou vertes admettant de nombreuses interactions de grés peut cimentés à stratification horizontales, ou légèrement obliques. Ces grés sont d'une puissance considérable, ils ont une perméabilité très médiocre due aux nombreux bancs argileux [12].

V.1.2. Les calcaires de Zarifet

Les calcaires de Zarifet sont bien exposés dans les secteurs de Tlemcen et de Terni. Leur limite inférieure est placée au toit de la dernière assise gréseuse ou argileuse des grés de Boumediene c'est-à-dire, à la base du premier banc carbonaté [8]. Ce sont des calcaires massifs parfois dolomités (épaisseur : 100m) [14].

V.1.3. Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal)

Elle correspond au grands escarpement dolomitiques qui dominent Tlemcen et couronnent le cirque des cascades [12]. Il s'agit de dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite. Elles affleurent autours d'Ain Fezza, dans la forêt de Zarifet [15].

C'est la formation qui à les plus vaste affleurements dans les Monts de Tlemcen (plus de 1000Km²). Elle recèle plus grands aquifères et elle forme un ensemble perméable caractérisé par une porosité interstitielle très faible, largement compensé par une forte perméabilité due à la fissuration et karstification d'une partie des formations (fissure, diaclases et chenaux de dissolution) [9].

Les dolomies présentent en général une porosité beaucoup plus élevée que les calcaires, liée au processus de dolomitisation lui-même et la dissolution secondaire des parties non dolomitisées.

V.1.4. Les calcaires de Stah

Elle n'est vraiment différentiable des Dolomies de Tlemcen que lorsqu'elle est épargnée de la dolomitisation. Elle correspond à des calcaires massifs à dominante micritiques pratiquement dépourvues des passées marneuses [12].

V.1.5. Marno-calcaires de Raourai (Tithonique basal)

Cette formation du Malm tire son nom du massif de Raourai. Il s'agit de marnes grises, blanchâtres en surface rognonneux esquilleuses intercalées de nombreux lits et banes de calcaires marneux durs. Cette formation s'étale en plateau de Meffrouche jusqu'à Ain BeniAdden passant par les alentours des grottes d'Ain-Fezza et Djebel Dokara [12].

V.1.6. Les calcaires du Lato

Ce sont les calcaires massifs en bancs épais, terminés par des laminâtes sombres calcaréo-argileuses, à plaquettes de dessiccation [12].

A l'Est de Tlemcen et juste au Sud d'Ain -Fezza, les calcaires de lato et les dolomies de Terni ne peuvent être délimitées avec précision. Leurs épaisseurs

cumulées peuvent être estimées à 150m c'est dans cette ensemble, légèrement dolomitisé par place et karstifié au met du plateau de Bou-arb, que sont creusées les grottes de d'Ain Fezza [14].

V.1.7. Dolomies de Terni (Tithonique inférieur)

Elle affleure largement sur une grande partie qui s'étend de l'Ouest au Nord-est de Aine Fezza. Cette formation correspond à la corniche superposée à celle des calcaires de Lato , forme une unité morphologiquement bien repérable et constitue un ensemble d'une puissance de 50 m environ d'épaisseur sur les plateaux qui dominent le village de Terny. Elles sont fortement karstifiées et comptant un mur imperméable que sont les marno-calcaires de Raourai [12].

V.1.8. Marno-calcaire de Hariga (base de Tithonique supérieur)

C'est une formation calcaréo-dolomitique devenant marneuse vers son sommet [16].Elle affleure à l'Est de la commune d'Ain Fezza [9]. Il existe aussi d'autre formations géologiques mais de faible surface, tel que :

V.2. Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont représentés par des alluvions dans les parties basses et de gravier et argile couvrant les parties moyennes et hautes de la région et des matériaux riche en débris végétaux observés généralement au niveau des oueds. Les matériaux quaternaires sont formés à la suite de l'action érosive des eaux torrentielles et du détachement de bloc de Travertins, calcaires et de dolomies des versants [9].

V.3. Log lithostratigraphique

Ce log lithostratigraphique montre la répartition des différentes formations géologiques de la zone d'étude sur un fond topographique. Dans cette étude on s'est intéressé seulement à la nature des terrains, c'est-à-dire la lithologie qui constitue un élément de base de la diversification dans la pédogenèse en conditionnant les vitesses et les modes d'altération du substratum.

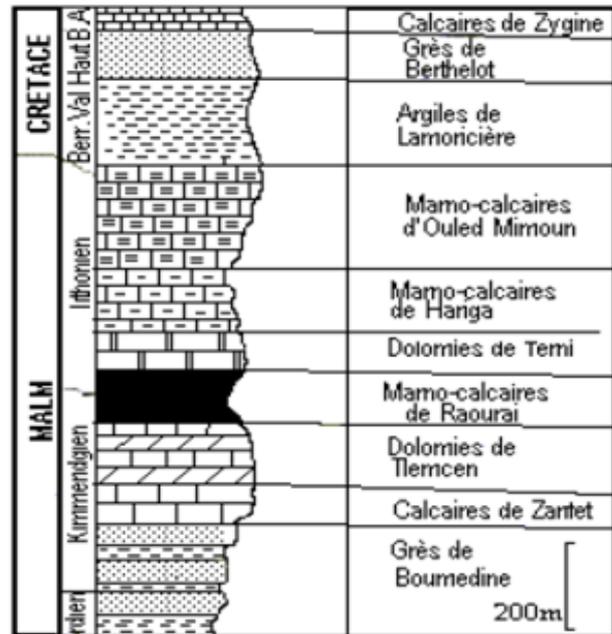


Figure II. 4 : Log lithostratigraphique [17].

V.4. Carte géologique

Cette carte nous donne un aperçu général sur les différentes formations géologiques existantes dans notre zone d'étude. Elle a été établie à partir de la carte géologique de Auclair et Biehler à l'échelle 1/200.000^{eme}. [32].

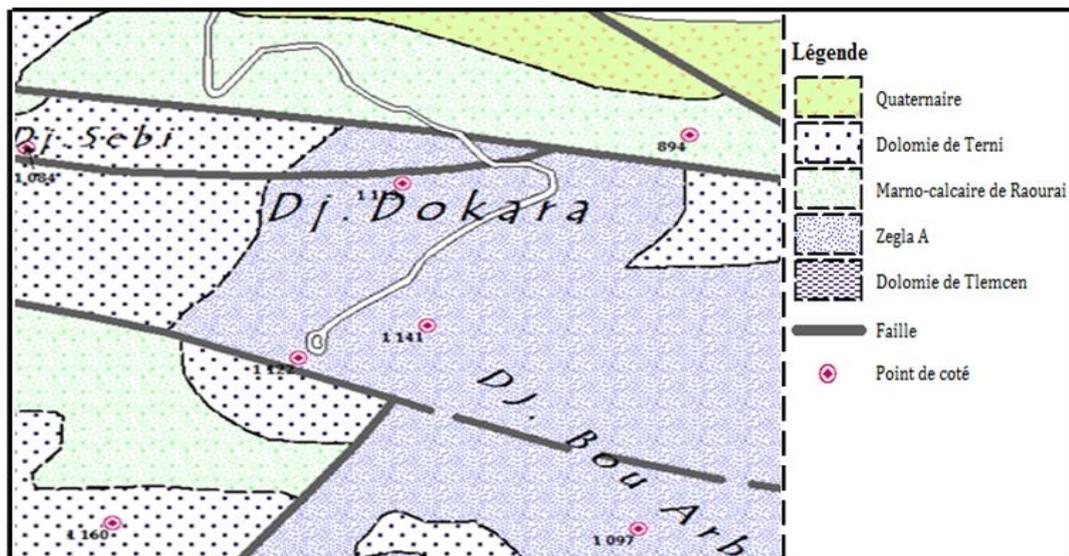


Figure II. 14: Carte géologique de la zone étudiée (extrait de la carte de Auclair et Biehler à l'échelle 1/200.000^{eme}.) [32].

VI. Contexte hydrogéologique

Le style tectonique détermine l'une des caractéristiques hydrogéologiques des monts de Tlemcen.

On n'ignore pas que le phénomène de karstification est fortement lié à la fracturation. Cependant, le problème se pose de savoir si les directions de circulation des eaux souterraines sont déterminées ou non par les directions de fracturation.

Ces eaux souterraines constituent le principal réservoir de l'Ouest Algérien, mais les précipitations varient très fortement d'une année à une autre. Les aquifères karstiques des Monts de Tlemcen ont leur potentiel de l'ordre d'un Milliard de m³, mais difficilement mobilisable [12].

VI.1. Caractéristiques hydrogéologiques des formations

Les deux grandes masses perméables : dolomie de Tlemcen et dolomie supérieur "de Terni " constituent les principaux réservoirs aquifères. Cependant, les bancs calcaires du Kimméridgien moyen et ceux du Crétacé inférieur peuvent aussi donner naissance à des sources, mais ces dernières sont de très faible importance.

Les failles jouent un grand rôle dans l'hydrogéologie de la région. Elles apparaissent la plus part du temps comme des écrans imperméables, non seulement par la grande fréquence des « pincements marneux », mais également parfois grâce à la cimentation des brèches de failles, ces dernières deviennent plus imperméables que les roches elle-même [21].

A la lumière des connaissances acquises sur le contexte géologique de la zone d'étude, il apparaît que deux formations géologiques ont des propriétés aquifères.

Les propriétés transmissives des dolomies de Tlemcen sont excellentes. Les écoulements des eaux souterraines empruntent les directions des zones de drainage principales des points hauts vers les points bas [21].

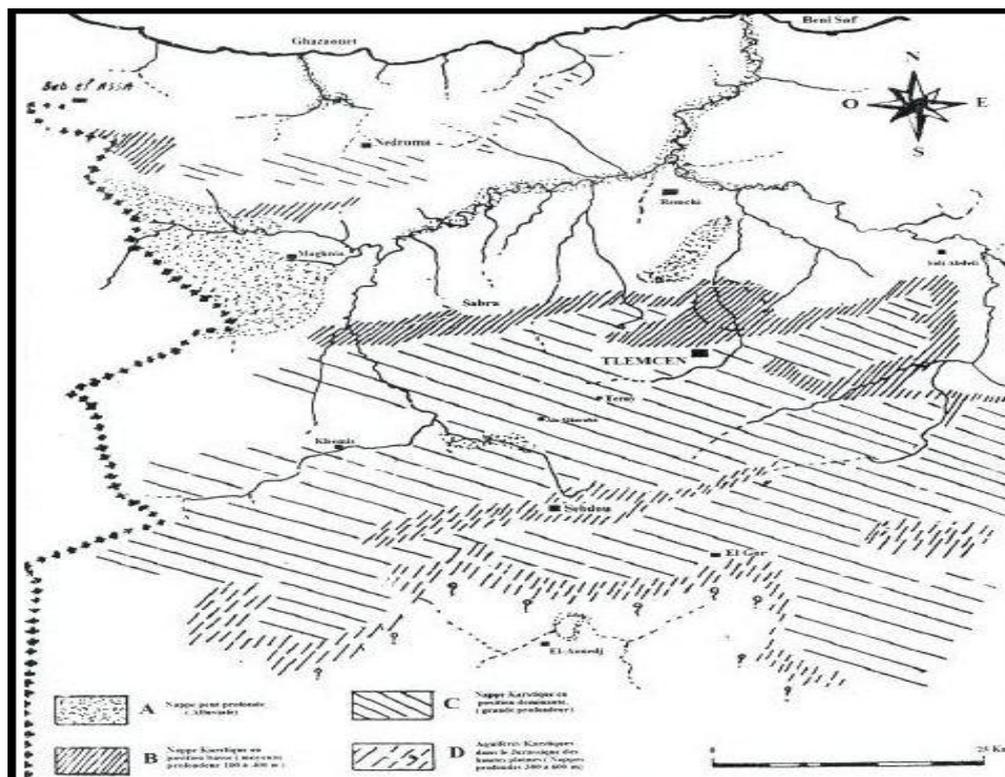
La morphologie et l'orientation des fissures jouent un rôle principal pour déterminer les principales caractéristiques de la circulation des eaux souterraines à travers les dolomies de Terni et les dolomies de Tlemcen qui sont irrégulièrement dolomitisées.

Chapitre II : Caractérisation de la zone d'étude

Les dolomies de Tlemcen sont très perméables, elles constituent une formation fissurée et très karstifiée en grande partie avec les dolomies de Terni, dont elles forment l'aquifères le plus important du secteur d'étude, parfois mises en communication par des failles. Ainsi que, il a été constaté que les niveaux calcaires sont plus productifs que les niveaux dolomitiques en raison, en particulier grâce à l'existence de fissures et de chenaux.

La couverture dans certains endroits est absente, pour les deux aquifères karstiques (soit pour les dolomies de Terni et dolomies de Tlemcen). La couverture correspond au membre calcaréo-dolomitique supérieur et aux marno-calcaires de Raourai. Ceci s'applique pour l'aquifère karstifié contenu dans les Dolomies de Tlemcen [21].

La couverture pour les dolomies karstifiées de Terni est constituée d'importantes couches de calcaire et de marnes d'épaisseur variable du Crétacé.



A : Nappe peu profond (Alluviale)

B : Nappe karstique en position basse (moyenne profondeur 100 à 400 m)

C : Nappe karstique en position dominante (grande profondeur)

D : Aquifères karstiques dans le jurassique des hautes (Nappe

Figure II. 5.: Les ressources en eaux souterraines, dans la Wilaya de Tlemcen.

« Zones plus ou moins favorables pour l'implantation des forages et des puits » [9].

D'après la figure II.15, il est apparu que notre zone d'étude contient des formations à fort potentiel aquifère, constituant un grand intérêt hydrogéologique.

VI.2. Les points d'eau

La structure hydrogéologique du secteur, favorise l'existence de nombreuses petites sources de faible débit. Il faut noter que certaines d'entre elles tarissent pendant la saison sèche.

Parmi les sources d'eau qui existent dans la zone d'étude, c'est la source « Ain-El Behloul », est située plus bas que les grottes. Une autre source plus importante se situe dans les environs, elle appelée « Ain Souiga » et un débit de 6 l/s (mesuré le 21/03/2016). Cette source était jadis un lieu de « Souk ».

L'analyse bactériologique de la source d'Ain Souiga a été effectuée au laboratoire de service d'hygiène de l'hôpital de Tlemcen le 15/03/2016, le résultat de cette analyse nous a donné une information sur la qualité de cette eau qui est bonne.

L'analyse physico-chimique de la source a été effectuée au laboratoire de l'ADE de Tlemcen le 21/03/2016 (voir l'annexe), l'un des résultats obtenus les plus importants est la turbidité ($t=0,804$), ce qui confirme que la source se trouve dans une zone karstique très vulnérable à la pollution.

VII. Aperçu pédologique

La connaissance du sol est indispensable à tout projet de mise en valeur et la répartition de la végétation. Le sol est développé suivant la nature de la roche mère, la topographie de lieu et les caractéristiques du climat [12].

La connaissance de la pédogenèse reste un élément de culture générale utile pour replacer dans un contexte adéquat beaucoup d'observation écologique, études agronomiques et travaux d'aménagement [9].

Dans notre d'étude, les roches ou les sols contenant des carbonates prédominent. Cette richesse en carbonates de calcium ou de magnésium tamponne le milieu et freine l'évolution des sols.

En se basant sur la classification écologique, les principaux sols de la région font partie de différentes classes dont les processus de pédogénèse restent les principaux caractères de distinction [9]:

VII.1. Les sols squelettiques

Les sols squelettiques rencontrés en amont des zones d'ablation où subsiste une couche peu épaisse de sol inférieur ou égale à 10 cm sur roche dure, mise à nue aux endroits les plus pentus et à végétation clairsemée. Sur roche tendre, ce sont des régosols[12].

- ♦ **Régosols** : formés essentiellement sur substrat tendre et aussi sur un matériau meuble ou peu dur. Dans notre zone d'étude on trouve les régosols rouges formés sur substrat dolomitique, et les régosols jaunes sur les marno-calcaire [9].

VII.2. Les sols peu évolués d'érosion et d'apport

Ces sols sont généralement formés par l'action de l'érosion sur les versants de fortes pentes.

VII.2.1. Sols colluvionnés rouges recarbonatés

Ils sont très répandus au niveau de notre zone d'étude aussi dans les plaines (Ain-Fezza, Ain et Tizi), et les dépressions piémontaises (Oucheba et Tagma) ou les colluvions s'accumulent [9].

Le sol étant assez épais, il permet l'emmagasinement de l'eau ce qui le rend favorable à tout type de culture, en particulier à l'arboriculture fruitière [13].

VII.3. Les sols calcimagnésiques

Les sols calcimagnésiques sont très riches en Ca^{+2} et de Mg^{+2} , on peut aussi distinguer les sols bruns calcaire sur substrat calcaire et les sols bruns calciques rencontrés sur grès, peu calcaire et schiste. Se sont des sols calcimagnésiques brunifiés moins caillouteux et plus ou moins décarbonatés en surface [12].

VII.3.1. Rendzine sur terra rossa avec affleurement de dolomie

La rendzine est un sol calcimorphe, Avec L'horizon fait entre (30 et 40cm) d'épaisseur. Le pH est compris entre 7 et 8.5. La plupart du temps il ya des éléments grossier calcaire (dans notre cas elle est formée sur terra rossa qui est très riche en calcaire). L'apport de fumure organique facilite la culture. Elle se trouve principalement à Djebel Dokara près de l'agglomération d'Ain Beni Add [9].

- ◆ *Les rendzines* : sont des sols peu épais mais bien structures et bien aérés. Ils sont favorables à l'agriculture à condition que de l'eau soit fournie pendant la saison sèche [9].

VII.3.2. Sols peu évolués calcaire brun jaunâtres

Ce sont des sols de faible teneur en matière organique. Principalement sur les formations marno-calcaire de Raourai dans plusieurs localités sur l'ensemble de la zone d'étude.

VII.3.3. Sols brun calcaire

Caractérisé par la présence du calcaire actif. On les trouve sur les formations de travertins près d'Ain-Fezza. C'est un sol apparenté aux sols brunifiés par sa morphologie [31].

VII.4. Sols fersiallitiques

Ces sols peuvent se former sur substrats (Calcaire, Grès, Schistes.....). Nous les trouvons en montagne et suivant le degré de rubéfaction, ils sont soit bruns, soit rouges [12].

VII.4.1. Sols fersiallitiques brun rouges décarbonatés

Ils sont dit décarbonatés car ils ont subie une dissolution des carbonates des horizons ou des substrats calcaire par les eaux chargées de gaz carbonique. Leur brunification est dû à l'incorporation de la matière organique et une réhydratation partielle des oxydes de fer et à donné les rouges fersiallitiques brunifiés. [9]

VII.4.2. Mosaïque terra rossa peu profonde / dolomie

Ils' agit d'un paléosol « C'est un Sol riche en sesquioxydes, formés d'argiles de décarbonatation il a subit d'une part une décarbonatation par lessivage du calcaire et une rubéfaction par les sesquioxydes de fer ». [9] Cette mosaïque couvre de grandes étendues dans notre zone d'étude particulièrement à (Djebel Bou Arb et Beni yakoub au Sud).

VII.4.3. Terra fusca :

Il s'agit d'argiles de décarbonatation de la roche mère, qui sont accumulées sur place en absence d'érosion durant une bonne période du tertiaire. Soumises à des phases de pédogenèses successives, elles présentent une rubéfaction plus ou moins marquée due à la présence d'oxyde de fer déshydrate [9]. Elle est présente au niveau de quelques endroits de la grotte.

VIII. Le couvert végétal

La nature et la composition actuelle des communautés végétales méditerranéennes ne peuvent être comprises sans tenir compte des facteurs géologiques, paléoclimatiques et anthropiques; ces derniers ont marqué la genèse de divers écosystèmes propres à cette zone biogéographique [12].

L'action du climat est également très importante sur la végétation, la grande variabilité se traduit par une diversité au niveau du cortège floristique

La végétation qui compose l'environnement immédiat des grottes annonce la steppisation de la région [13]. on rencontre les espèces suivantes :

Quercus ilex : chêne-vert au dernier stade de dégradation

Ampelodesmamauritanica : Diss

Calycotum spinosa : Calycotome épineux à fleurs jaunes

Chamaerops humilis : à grand amplitude : palmier nain

Asphodelus, microcarpa : asphodèle

Daphnognidium : assez évolué

Thymus sp : Thym

Juniperus oxycedrus : oxycèdre

Quercus coccifera : quelques rejets

Rosmarinus officinalis : Romarin

Stipa tenacissima : Alfa : quelques touffes marquant la steppisation de la région

Ces formations végétales sont dans un état de dégradation très avancé. Elles sont liées à une action anthropique très poussée.

IX. Conclusion

L'étude du milieu physique de ses aspects multiples (topographique, hydrographique, géologique, hydrogéologique et pédologique) montre une diversité qui constitue l'ossature d'un écosystème, très complexe induisant une certaine hétérogénéité qui régit un fonctionnement particulièrement adapté.

Les grottes de Béni Add s'insèrent dans un relief montagneux assez accidenté où l'affleurement de la roche mère à nu apparait le plus souvent en pente raide.

Vu la nature topographique de ce relief, la zone d'étude est composée par les affluents de deux principaux cours d'eaux qui sont oued Chouly et oued safsaf (plus précis oued Tadmaya)

L'étude lithostratigraphique des différentes formations, montre les principaux niveaux formés par les dolomies de Tlemcen, Marno-calcaires de Raourai et les dolomies de Terny .

Les formations géologiques de la zone d'étude renferment probablement de grandes réserves d'eau souterraines non évaluées et non valorisées.

La tectonique joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région étudiée.

Les formations dolomitiques et calcaires constituent l'aquifère le plus important. Les nombreuses failles et diaclases ont permis le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources [12].

Le sol est développé suivant la nature de la roche mère, la topographie de lieu et les caractéristiques du climat.

Chapitre III

Propositions pour un aménagement touristique

I. Objectifs

Le site naturel beau et accueillant de la région des grottes de Beni Add fait que celle-ci mérite l'objectif qui lui est assigné, celui de la récréation.

Pour répondre à la double fonction: utilisation (loisirs, détente, tourisme) et préservation (protection du sol et du sous-sol) de notre région, l'aménagement doit se faire de façon coordonnée et dans le cadre d'un programme d'ensemble soigneusement conçu dont le principe doit assurer:

- ✓ L'accueil du public.
- ✓ Protection pour la conservation de ce site naturel en raison de son importance unique, du point de vue du panorama, de la recherche scientifique, de l'éducation et de l'inspiration.
- ✓ Favoriser la mise en place d'outils permettant la gestion et la planification des futurs investissements en matière d'alimentation en eau potable.
- ✓ Mettre en place des aménagements d'assainissements (Réflexion sur un système d'évacuation des eaux usées en prenant en considération la forte vulnérabilité (milieu karstique) à la pollution du site étudié)

En effet, une fréquentation incontrôlée et une urbanisation abusive risquent de détruire le caractère original de ce site.

II. Etat de l'aménagement actuel

II.1. La zone d'accueil des grottes

Aucun aménagement n'a été observé dans le site jusqu'à l'année 1989 où les responsables de la réalisation du parc national ont réalisé certains travaux d'aménagement. (Source : A.P.C)

Ils ont commencé par la création d'un parking à l'entrée à droite avec un poste de gardiennage, l'installation de bancs disséminés dans le site et de quelques jeux d'enfants à côté du parking, construction d'une stèle à la mémoire des moudjahidines morts dans la région, pendant, la guerre de libération.

Au cours des visites que nous avons effectuées sur la zone d'étude, la majorité des équipements d'infrastructure tel que la zone d'accueil, la zone d'activité, les parkings, les aires de jeux et de promenades.. etc, sont trouvés dans un état médiocre.

Depuis, l'année 2013 le site a connu un aménagement ambitieux. Ainsi, ont été créés un espace d'aires de jeux plus important que celle qui existait, un deuxième parking à l'entrée de la zone d'accueil et une autre route d'accès qui amène à la grotte pour minimiser la circulation et éviter les risques d'accidents. Ce projet est encore en phase de réalisation.

II.2. Situation existante d'alimentation en eau potable

Un projet d'alimentation en eau potable est réalisé. Le captage d'une source située à une distance de 1000 m des grottes. La station de pompage construite à proximité de la source refoulera l'eau par une conduite vers le réservoir de 50 m³ situé au-dessus des grottes à une distance de 150 m et l'adduction se fait d'une façon gravitaire. Le débit de la source est de 6l/s (mesuré le : 21/03/2016)

L'adduction de l'eau de la source d'Ain Souiga vers le réservoir se fait par refoulement à l'aide d'une pompe qui a pour caractéristique un débit de 5l/s, et une hauteur manométrique totale (HMT) de 145 m, alimentée par une ligne électrique. (Source : A.P.C)

La conduite d'alimentation du réservoir est en acier galvanisé diamètre $\emptyset = 100 \text{ mm}$. La source assure l'alimentation du réservoir d'une façon continue tout au long de l'année. (Source : A.P.C)

On remarque que la zone d'étude est riche en eau, ce qui encourage notre projet d'aménagement. On a observé que la source de Souiga est mal aménagée ce qui met en danger de pollution la qualité de son eau. On devrait penser à mettre en place un périmètre de protection.



Figure III. 1 : Captage de la source d'Ain Souiga

II.3. Situation existante de l'assainissement

Cette partie consiste à identifier l'état actuel de l'assainissement du site d'étude. Il est envisagé aussi de prendre les mesures qui permettent de créer un milieu sain pour la population concernée. Le secteur affecté par l'étude concerne une population d'une nature touristique.

En fonction des données et documents fournis par les services techniques (DRE et APC), concernant le réseau existant dans la région et les missions de reconnaissance que nous avons effectuées sur le site, nous avons pu distinguer l'état actuel de système d'assainissement.

La zone d'étude est dotée d'un réseau d'assainissement séparatif. Nous avons noté l'absence totale d'un réseau d'évacuations des eaux pluviales. Le réseau a été réalisé par étapes au fur et à mesure de l'extension de cette zone.

Le réseau actuel d'assainissement du site de la grotte de Béni Add est récent. Il est conçu d'une façon médiocre. Les rejets se font en milieu naturel, sans aucun traitement, sur des terrains très perméables voire karstiques.

Chapitre III : Propositions pour un aménagement touristique

Le réseau d'égout existant est réalisé en PVC, il se trouve dans un état très médiocre avec émissions d'odeurs inacceptables.



Figure III. 2: Rejet d'eau usée à l'aval de la grotte de Béni Add (Photo Morsli et Dahmani., 2016)

L'étude de diagnostic nous a permis de faire une mise au point sur l'état et les conditions d'exploitation et le fonctionnement du réseau existant. Les techniques de réhabilitations sont nombreuses leur choix est fonction des caractéristiques du réseau (nature, matériau, de l'importance et de la fréquence des désordres de structure). Le procédé choisi devra également tenir compte de critères économiques...etc.

Alors, il est nécessaire de tracer un plan représenté dans la figure ci dessous correspondent aux différentes infrastructures d'A.E.P et d'assainissement prévus dans ce site.

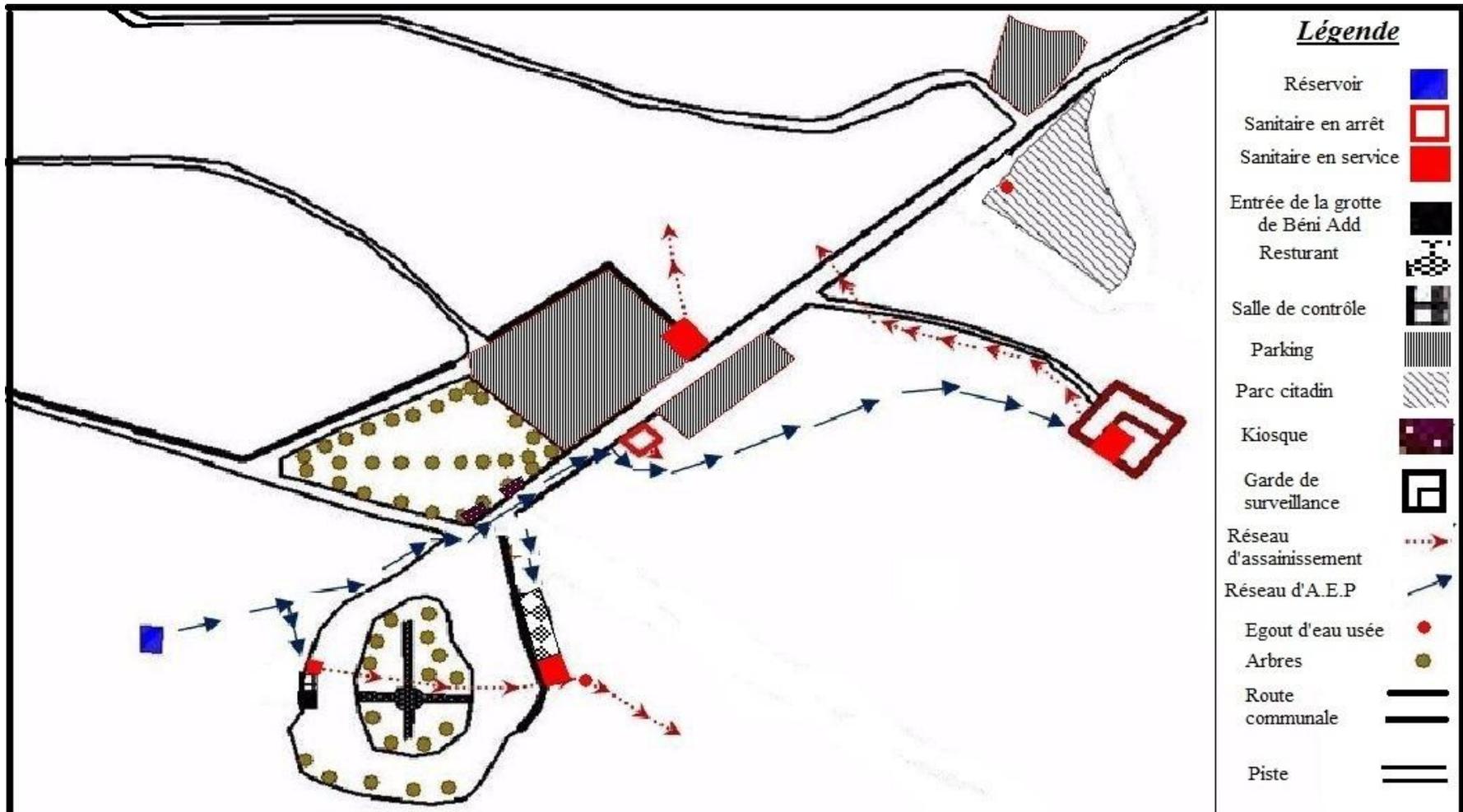


Figure III. 3 : Plan d'état actuel de l'A.E.P et d'assainissement

II.3.1. Analyse de l'état actuel

En se basant sur le plan qui a été effectué grâce à un travail de terrain, on voit que la majorité des eaux usées venant de la salle de contrôle, les sanitaires, les restaurants et la garde de surveillance sont évacuées sans traitement dans le milieu naturel ce qui provoque un risque majeure puisque la zone est constituée de formations karstiques très sensibles à la pollution. Aussi on a observé des cassures au niveau des conduites d'assainissement. Alors il faut penser à améliorer cette situation.

Comme on a déjà cité précédemment l'alimentation en eau potable se fait de la source d'Ain Souiga vers le réservoir qui alimente les différentes infrastructures (restaurant, garde de surveillance ...)

II.4. Impact de la fréquentation des grottes sur leur température ambiante intérieure

La température est le résultat de différents échanges d'énergie qui affectent tous les corps. Elle est une des grandeurs physiques de l'air, et se mesure grâce à un capteur, dans notre cas on a utilisé le thermomètre. L'élévation de la température est autant d'éléments perturbateurs d'un milieu physique particulièrement stable.

Les températures enregistrées dans le milieu souterrain dépendent aussi, dans une certaine mesure, de la topographie, de la pente, de l'étendue de chaque grotte en particulier. De même que le modelé de la surface de la terre influe sur le climat extérieur, de même la situation et la configuration d'une grotte contribuent à « personnaliser » son climat.

Au cours de la période allant du 15 Mars au 02 Juin, nous avons effectué des mesures de températures, à l'extérieur de la cavité, dans la zone d'entrée ainsi pour chaque salle de la grotte. La démarche visait à mettre en évidence un éventuel impact de la fréquence des visites sur la température ambiante des cavités sachant que la grotte est ouverte aux visites tout au long de la semaine (7j/7j).

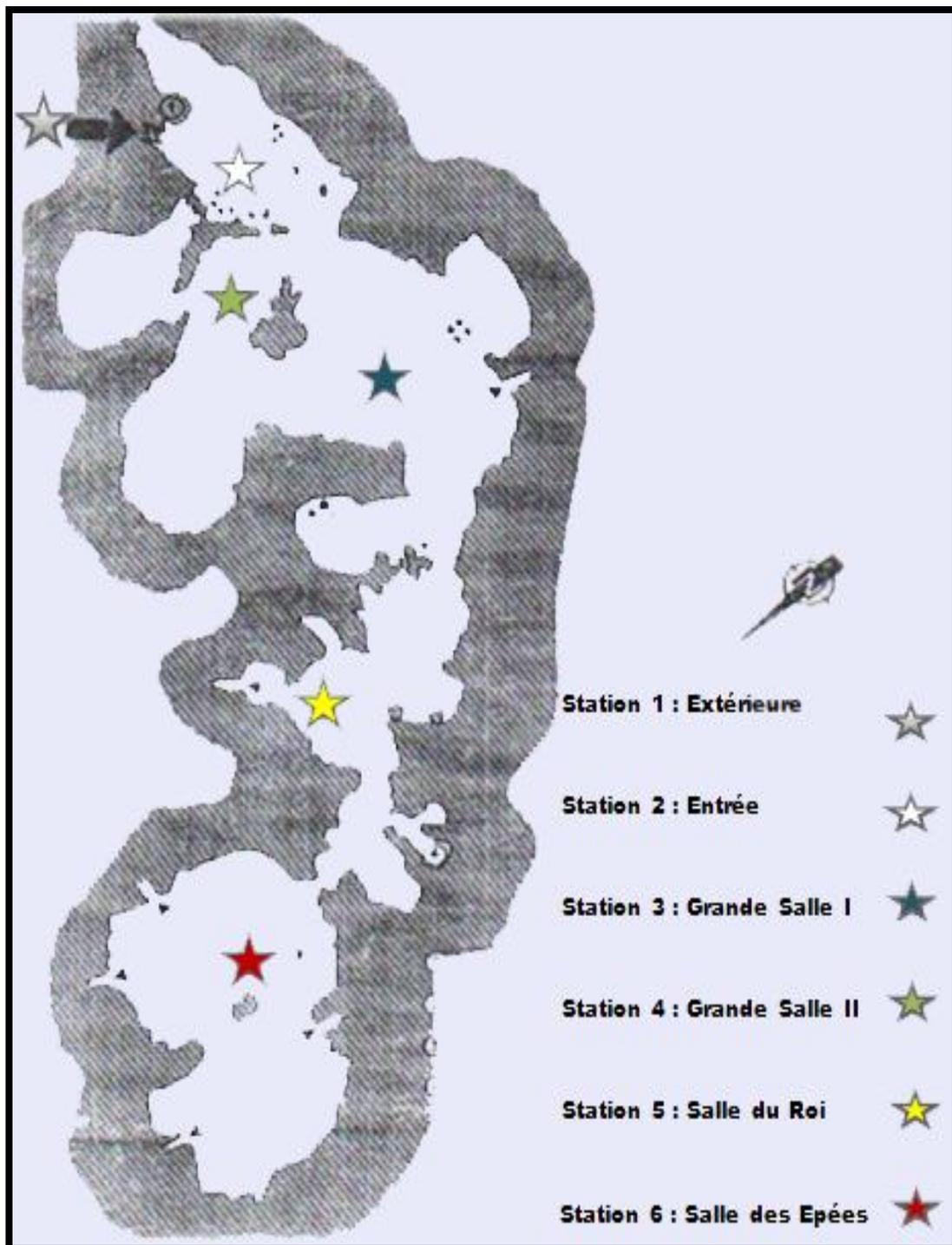


Figure III. 4 : Levé topographique de la grotte de Béni Add et situation des stations de mesure de la température.

On a effectué des mesures de température ambiante au niveau des différentes salles constituant les grottes de Beni Add ainsi qu'au niveau de l'entrée.

Chapitre III : Propositions pour un aménagement touristique

La majorité des mesures qu'on a effectuées dans les différentes stations des grottes de Béni Add présentent un degré de température non stable due probablement à l'augmentation du nombre de visiteurs, l'élément le plus perturbateur de l'équilibre de ces grottes comme le montrent la figure ci-dessous.

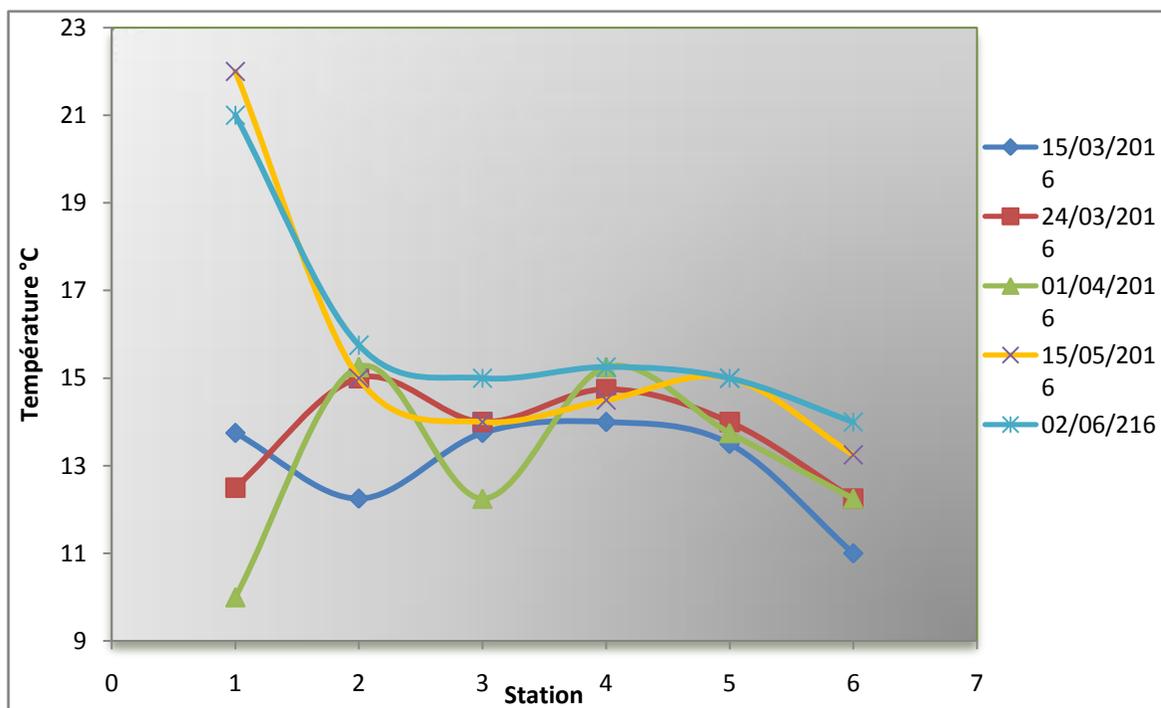


Figure III. 5 : Variation de la température ambiante des grottes dans l'espace et dans le temps.

Durant la matinée du vendredi on a remarqué un nombre très important de touristes qui viennent visiter les grottes, cette augmentation du nombre de visiteurs a déclenché une élévation de la température qui atteint 15,25 °C.

Cette dernière est sensible au niveau des plafonds, est à la fois provoquée par la chaleur corporelle des touristes et par le rayonnement calorifique des différentes sources lumineuses de la cavité. Cette élévation de la température peut entraîner un dessèchement de certains plafonds ou de parois pouvant provoquer décollements de strates et chutes de pierres ainsi qu'un arrêt d'activité de certaines concrétions

Chapitre III : Propositions pour un aménagement touristique

Par ailleurs, cette augmentation de la température, cumulée aux effets de l'éclairage et à l'apport de spores et semences transportées par les visiteurs, entraîne aussi l'apparition d'une végétation chlorophyllienne dans la grotte.

La journée de Dimanche (15/05/2016), on a pu effectuée des mesures à coté des parois contrairement aux autres journées où la mesure est prise un peu loin de ces parois .A partir de tableau on observe que dans tous les mesures la température est assez élevée, par contre elle est faible en comparant avec la température extérieure qui égale 22 °C.

La figure ci-dessous montre la répartition des températures pour chaque station au niveau de la grotte à différentes dates de mesure :

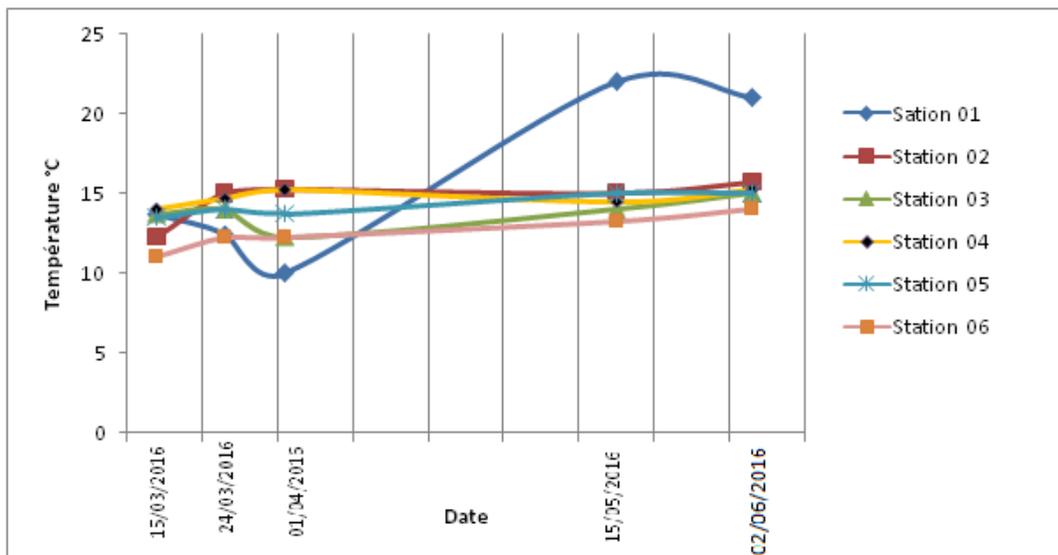


Figure III. 6 : Evolution de la température ambiante des grottes de Béni Add au niveau des 5 stations.

On observe que la température dans la salle des épées reste inférieure à celle des autres salles à probablement à cause des échanges avec l'extérieur qui se produisent par une ouverture connue à l'extrémité de cette salle.

La température extérieure exerce une influence indéniable sur la température intérieure en particulier la zone d'entrée de la grotte. On observe dans certaines salles des écarts thermiques variables dans le temps, en fonction des mouvements de l'air extérieur.

La situation la plus spectaculaire est celle où on observe une différence de température dans deux endroits différents mais très proches l'un de l'autre. Dans la figure qui suit nous montrons la variation de la température mesurée au niveau de la passerelle et loin de la passerelle (à proximité des parois des grottes).

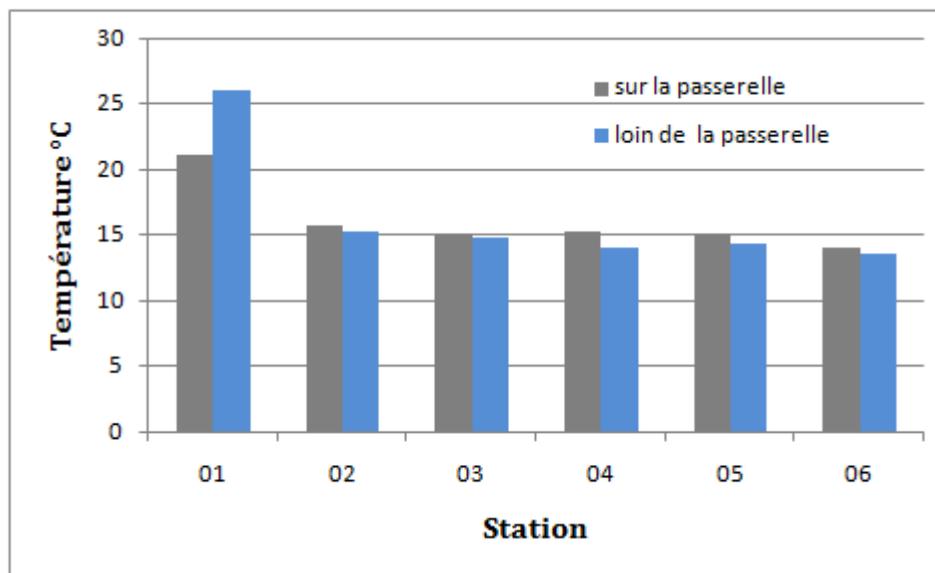


Figure III. 7 : Variations de la température mesurée à deux niveaux : sur et loin de la passerelle.

La température de la paroi subit probablement l'influence des visiteurs. Le fait que cette dernière augmente conduit naturellement à un réchauffement des parois. Mais cette chaleur se propage très mal dans la roche, et n'a donc certainement que très peu d'influence directe sur la température de paroi à court terme.

III. Outils pour un aménagement

Les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine ont été dressées dans le but de montrer quelles sont, suivant la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères, c'est-à-dire la vulnérabilité des nappes à la pollution. Ces cartes doivent très utilement contribuer à l'étude et à l'application de mesures visant à la conservation et la protection des eaux souterraines [28].

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue nécessaire afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau en relation avec les diverses activités humaines. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable car ce type de carte permet d'identifier très facilement les zones à risques de pollutions potentielles. Elle servira donc comme un outil d'aide à la décision aux gestionnaires des ressources en eau et permettra également d'orienter l'aménagement du territoire [29].

III.1. Exécution à la cartographie

III.1.1. Carte des sols

Cette carte est réalisée grâce à un travail de synthèse [13], mettant en relation la nature du substrat géologique avec l'occupation du sol, la géomorphologie et la topographie.

Cette carte est un outil de base car, c'est en fonction de la nature du sol que nous pouvons prévoir les espèces de reboisement.

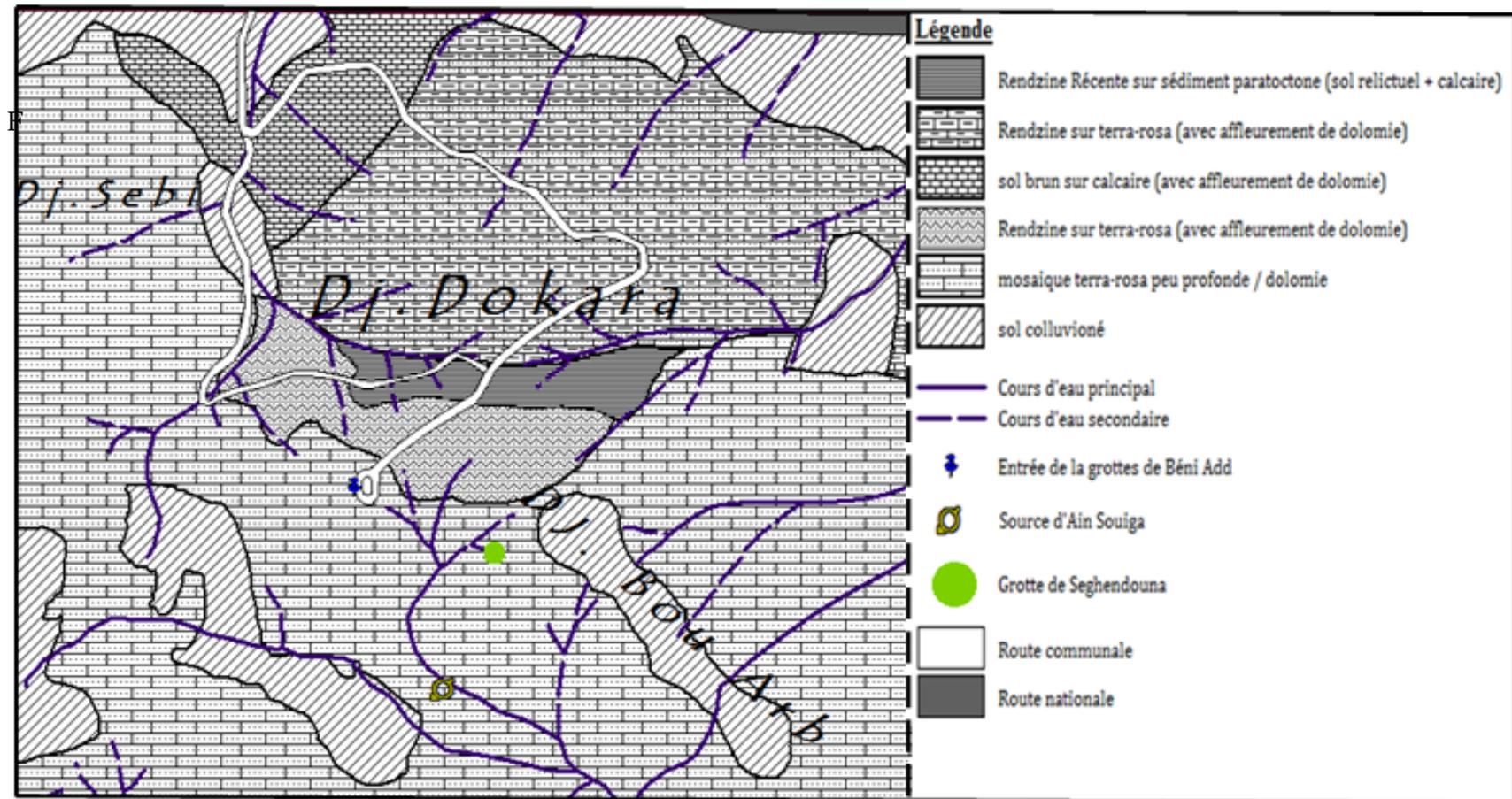


Figure III. 8 : Carte des Sols de la Z.E

III.1.2. Carte d'occupation des sols

La carte d'occupation des sols établie à partir des photos aériennes de l'année 2016 et du contrôle systématique sur le terrain est un reflet des potentialités naturelles et constitue un élément très important pour un zonage prospectif.

Nous avons pu ainsi délimiter les unités de végétation homogènes pour autant que visible sur la photo aérienne.

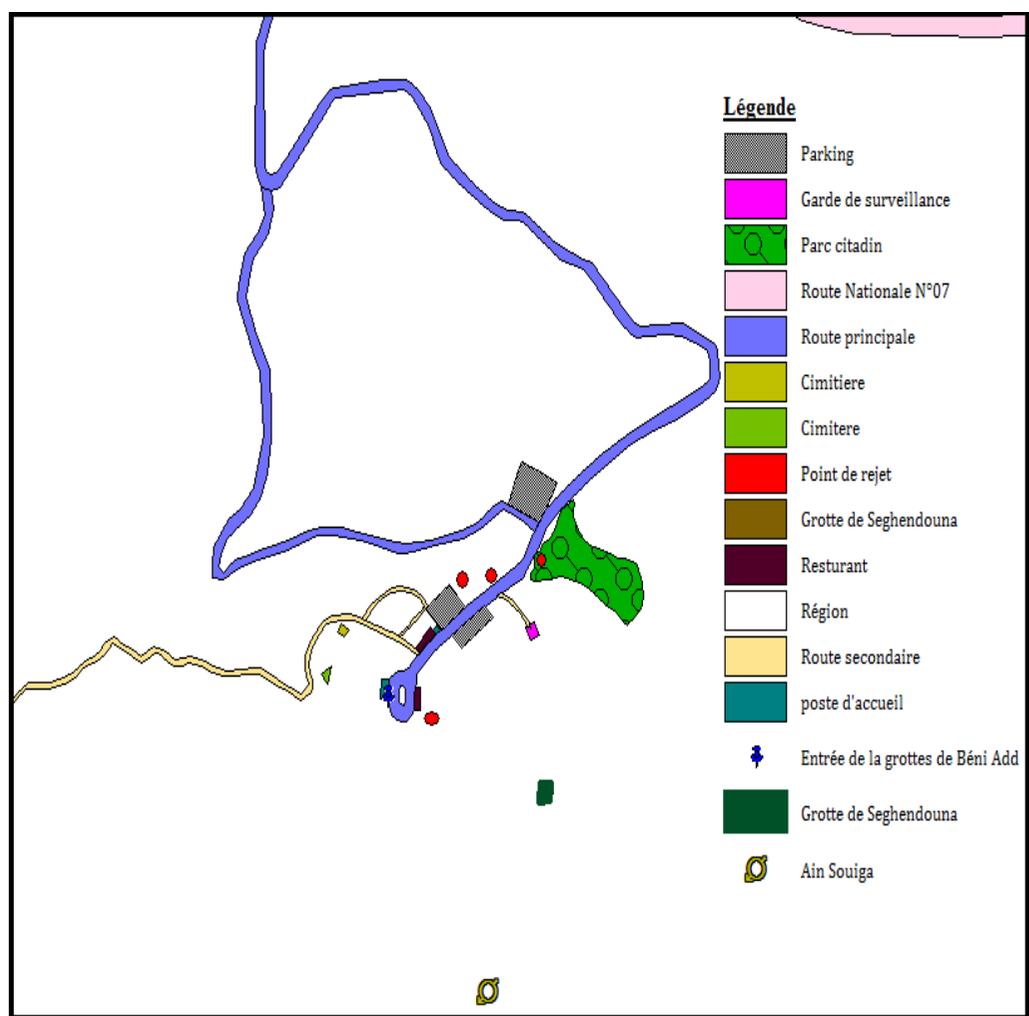


Figure III. 9 : Carte d'occupation du sol de la Zone étudiée

III.1.3. Carte des pentes

Cette carte reflète directement le caractère topographique de la zone d'étude qui conditionne toutes mises en valeur des terres. Suivant l'importance de la pente. Les terrains sont plus ou moins soumis à l'action érosive du ruissellement.

Cette carte subdivise la zone d'étude en 4 classes de pente, correspondant à 4 types de morphologie.

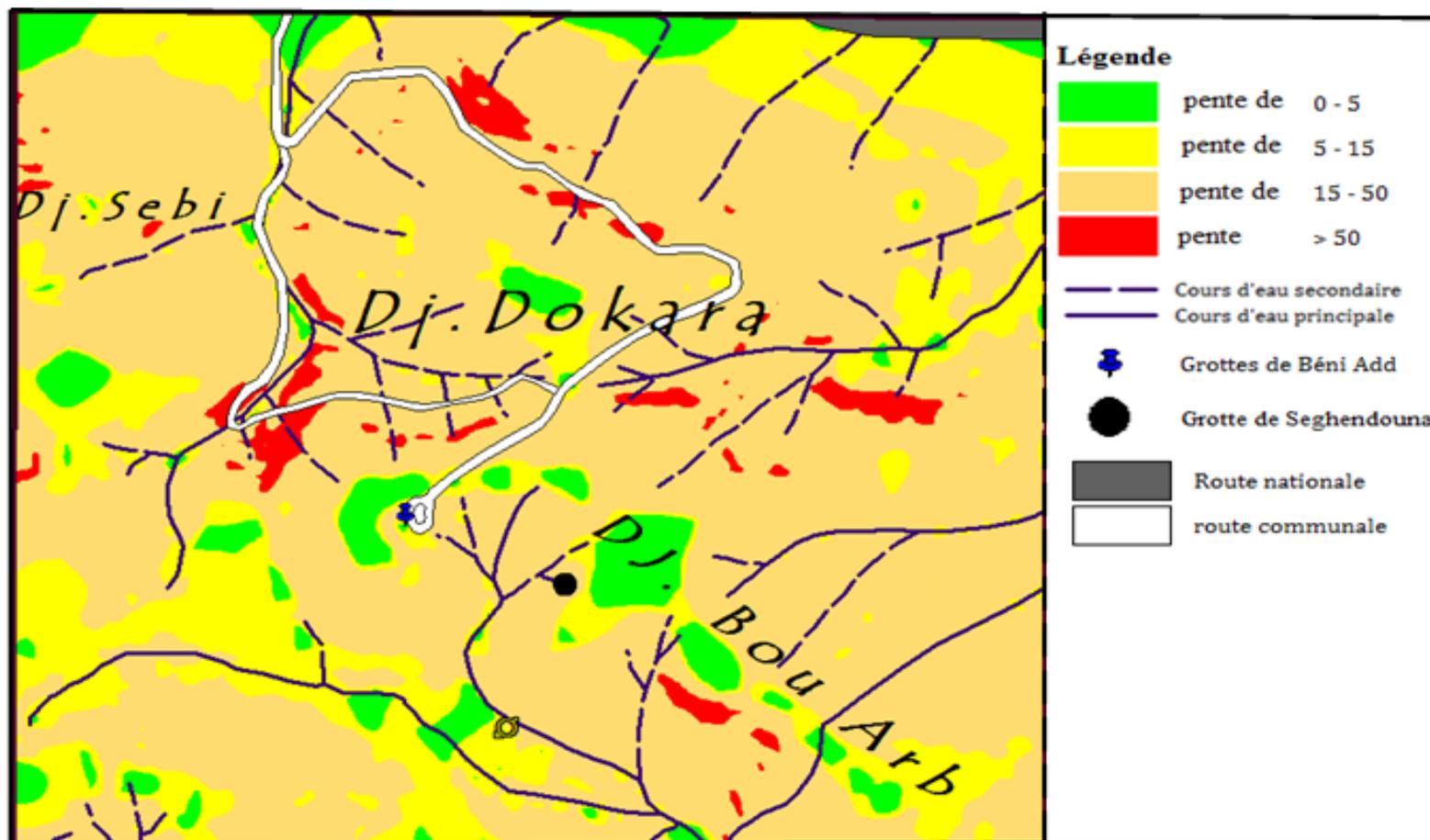


Figure III. 10 : Carte des pentes de la Zone d'étude

Tableau III. 1 : Classification des pentes

Classes	Pentes %	Types de morphologie
1	0-5	Zone de plaine
2	5-15	Paysage ondulé accidenté
3	15-50	Paysage ondulé très accidenté
4	>50	Paysage hyper accidenté

La carte des pentes a été tracée à partir de la carte topographique à l'échelle 1/50.000ème numérisée avec l'outil Mapinfo. Le but de cet analyse de relief est de faire apparaître des sites topographies pouvant être aménagés à des fins diverses (touristique, loisirs, infrastructure, plantation...). Cette carte servira aussi pour la cartographie de la vulnérabilité.

III.2. Cartographie de la vulnérabilité

Dans ce travail la vulnérabilité est évaluée et cartographiée en considérant l'indice de vulnérabilité de la méthode RISK [29].

Pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines à la pollution par la pondération et l'indexation des paramètres qui sont basées sur la combinaison des cartes de divers critères [22].

III.2.1. Présentation de la méthode RISK

C'est une méthode de cartographie multicritères de la vulnérabilité des surfaces contribuant à la recharge de l'aquifère. Elle fournit une cartographie hiérarchisée en 5 classes de vulnérabilité [27].

Selon le guide de la Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité RISK [33], la méthode RISK est basée sur 4 critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure

des aquifères karstiques qui sont: la roche aquifère (R), les conditions d'infiltrations (I), sol et la couverture protectrice (S) et la karstification (K).

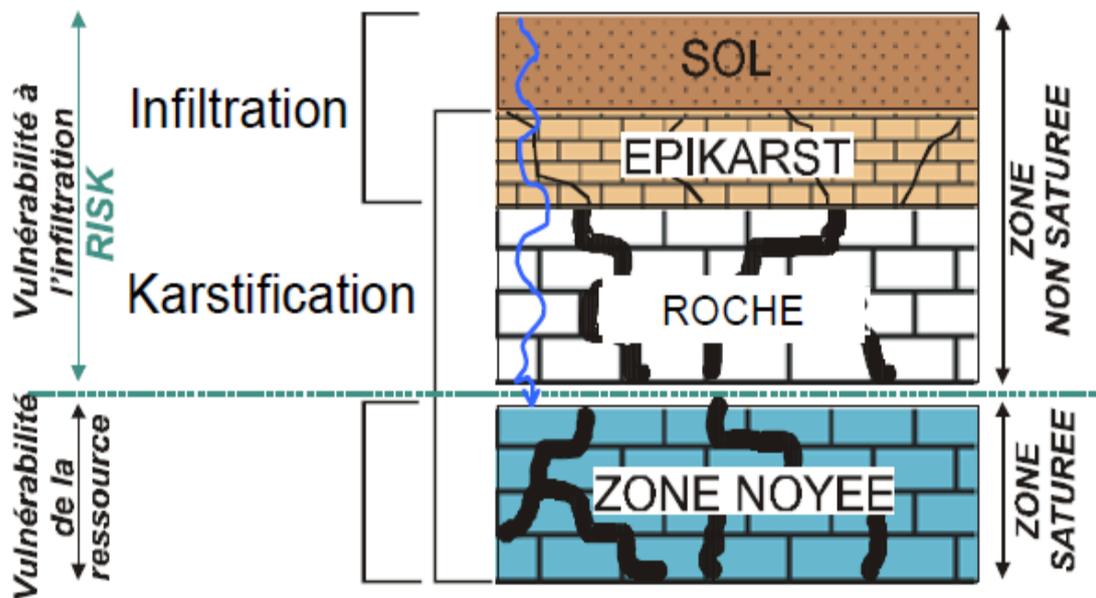


Figure III. 11 : Les critères de la vulnérabilité intrinsèque de la méthode RISK [23].

III.2.2. Principe de la méthode RISK

La méthode est mise en œuvre selon 5 étapes principales pour cartographier la vulnérabilité globale :

- ◆ *Cartographie de chaque critère ;*

Pour la première étape on a utilisé une carte de 1/50 000° (suivant la disponibilité des données). Chaque critère est réparti en différentes classes matérialisées par indice de 0 à 4, du moins vulnérable au plus vulnérable. On a utilisé le logiciel de SIG type de MapInfo Professional 8.0, pour réaliser cette étape.

- ◆ *Discretisation des cartes ;*

La discretisation est réalisée avec le logiciel VERTICAL MAPPER sous Mapinfo. A l'aide de ce dernier on peut passer d'une image en mode vecteur en une image discretisée en mailles. La taille de la maille est choisie en fonction de la précision souhaitée.

- ◆ *Calcul de la vulnérabilité globale I_g en chaque maille ;*

Après l'obtention des mailles de chaque carte, pour chaque maille de ces cartes le logiciel va multiplier l'indice de classe de chaque critère par le facteur de pondération du critère considéré.

Les valeurs obtenues pour les 4 critères sont ensuite additionnées pour obtenir l'indice de Vulnérabilité global I_g . Cette étape revient à superposer les 4 cartes des critères indexés afin d'obtenir une représentation cartographique de la répartition de l'indice I_g .

◆ *Reclassification de l'indice I_g ;*

La valeur de l'indice I_g est ensuite subdivisée en 5 classes de vulnérabilité, de 0 à 4 et d'une vulnérabilité très faible à une vulnérabilité très élevée.

◆ *Étape de vérification*

C'est la dernière étape pour valider ou bien vérifier que la carte de vulnérabilité obtenue est bien superposée avec les autres cartes de chaque critère indexé afin de vérifier qu'il n'y a pas des écarts entre les cartes.

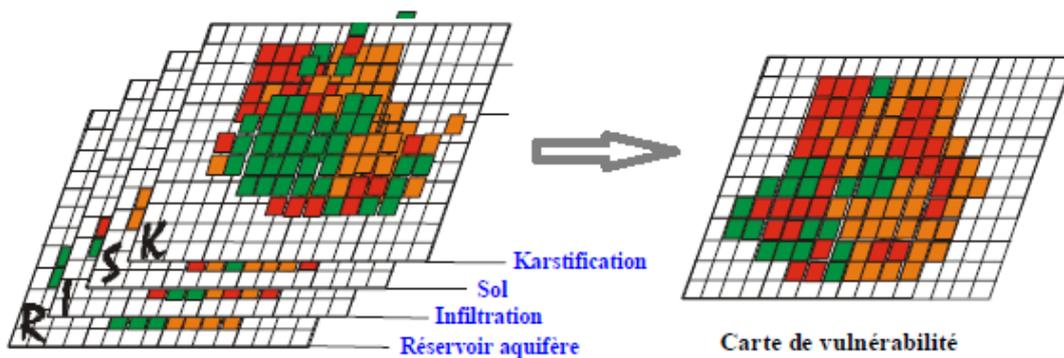


Figure III. 4: superposition des cartes de la méthode RISK [23]

III.2.3. Caractérisation des Critères

III.2.3.1. Critère R (Roche aquifère)

Le premier des critères traduit la nature des formations géologiques et la fracturation de ces formations. Ces paramètres ont une grande influence sur le type de circulations souterraines, et donc sur la vitesse de transfert d'un polluant dans l'aquifère [27].

La cartographie du critère R (lithologie et fracturation) est réalisée à partir des cartes géologiques au 1/50 000^e. La cartographie peut être complétée par des visites de terrain en particulier pour observer le type de fracturation en présence et éventuellement évaluer l'importance des zones de broyage associées [23].

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes classes du critère R :

Tableau III. 2 : Caractéristiques du critère R « roche aquifère »

<i>Critère R</i> : Nature de la Roche aquifère			
Critère	Nature de formation	Caractéristiques	Indice
R0	Quaternaire et marno-calcaire de Raourai	Les dépôts quaternaires sont représentés par des alluvions et les matériaux quaternaires sont formés à la suite de l'action érosive des eaux torrentielles (Faibles propriétés aquifères)	0
R3	Dolomie de Tlemcen	Calcaires massifs et/ou dolomites, elle forme un ensemble perméable caractérisé par une porosité interstitielle très faible, largement compensé par une forte perméabilité (écoulement rapide)	3
R4	Zegla A et Dolomie de Terni	Calcaires massifs et/ou dolomites avec une forte intensité de fracturation et de karstification, écoulements souterrains faciles et rapides, contamination rapide	4

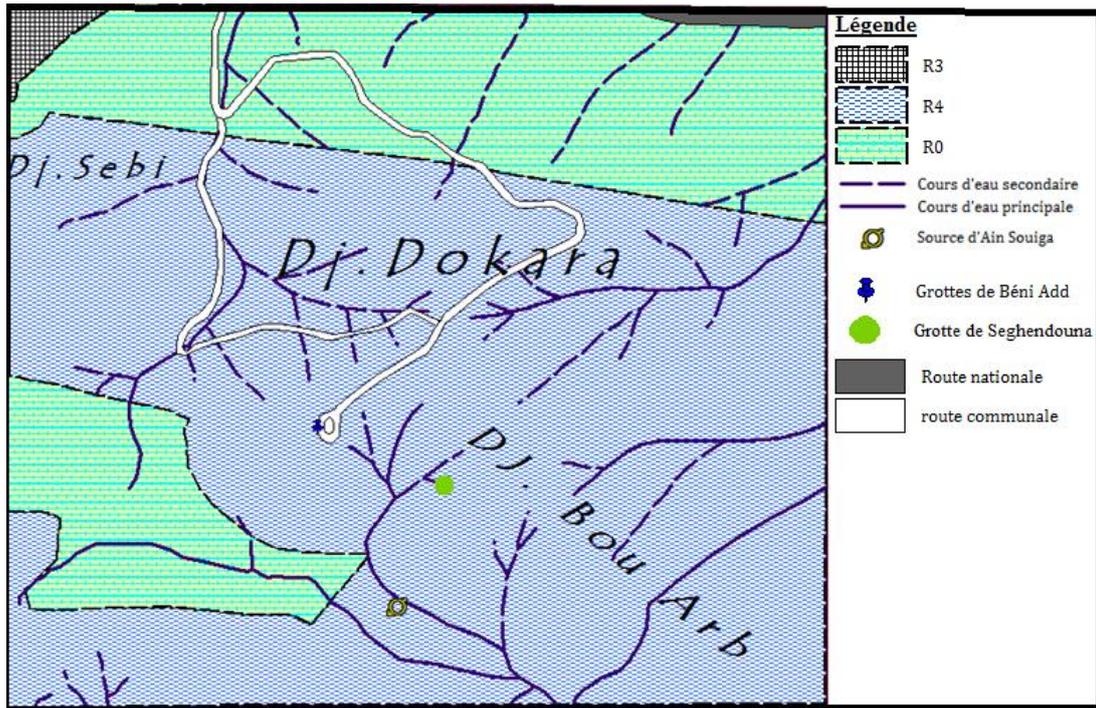


Figure III. 13 : Représentation de critère « R »

III.2.3.2. Critère I « condition d'infiltration »

Dans le cadre de la détermination de la vulnérabilité des aquifères karstiques, ce n'est pas la quantité d'eau infiltrée qui importe mais la façon dont elle s'infiltre. Les deux paramètres primordiaux retenus sont la pente qui va plus ou moins favoriser le ruissellement au détriment de l'infiltration et les pertes qui vont permettre une infiltration directe et très rapide de l'eau jusqu'à l'aquifère [23].

Le tableau suivant résume les différentes classes de vulnérabilité liées aux conditions d'infiltration :

Tableau III. 3 : Caractéristiques du critère I « conditions d'infiltration »

<i>Critère I : Conditions d'infiltration</i>			
Critère	Caractéristiques		Indice
I0	Pente très forte > 50 %	Paysage hyper accidenté	0
I1	Pente forte 15 - 50 %	Paysage ondulé très accidenté	1
I2	Pente modérée 5 - 15 %	Paysage ondulé accidenté	2
I3	Faible pente 0 - 5 %	Zone de plaine	3

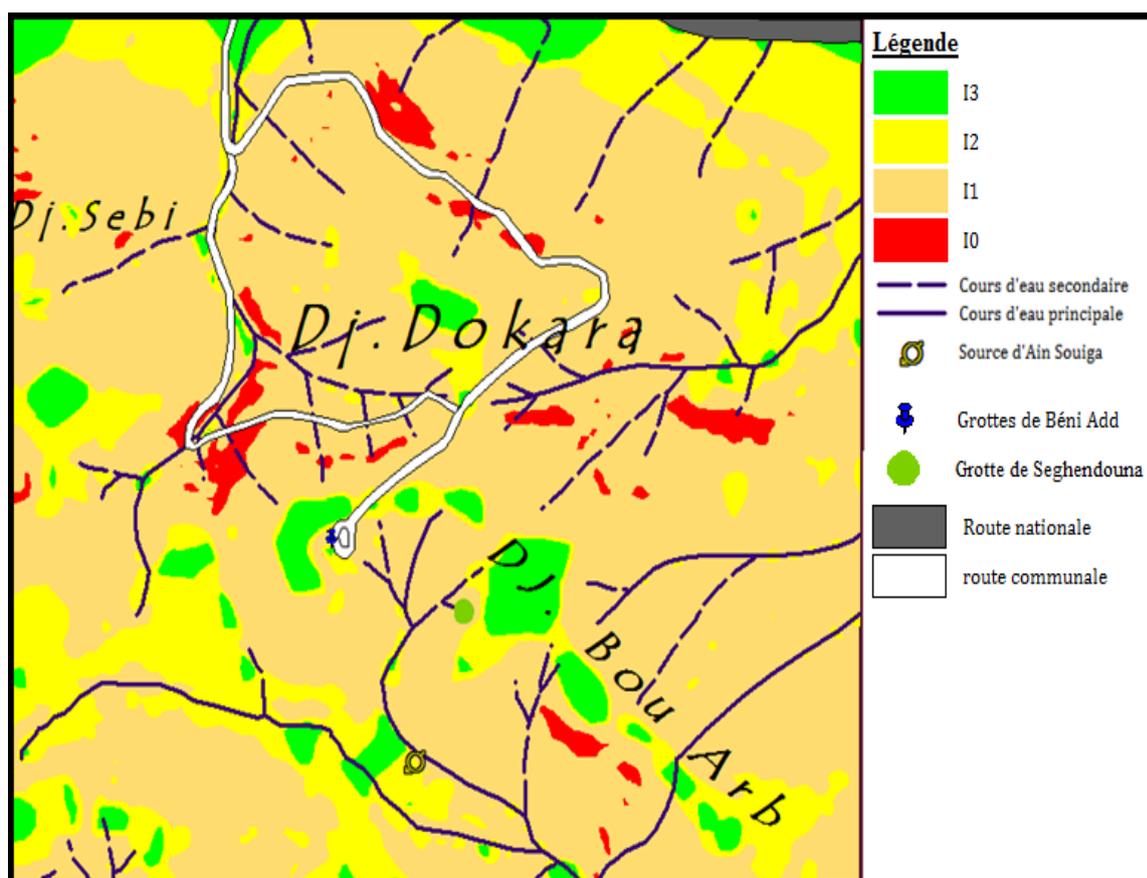


Figure III. 5: Représentation de critère « I »

III.2.3.3. Critère S « Sol et couverture protectrice »

Les sols ne sont pas très développés en région karstique et quand ils sont présents, ils sont très hétérogènes dans l'espace. Leur nature et leur épaisseur sont fortement influencées par la nature du substratum (calcaires, calcaires marneux) ainsi que par la morphologie (hétérogénéité des sols au sein d'une doline, par exemple) [23].

D'après (Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité RISK, 2013), les formations des sols forment une couverture protectrice au-dessus des roches aquifères. Pour la détermination du critère S nous avons pris en considération 2 types d'information :

- ◆ La présence ou non d'une couverture protectrice (horizon géologique) entre la roche et le sol
- ◆ L'épaisseur du sol, si elle est connue, sa texture (proportion de Cailloux) et sa composition (argiles, limon, sable...).

a) Détermination des classes de nature du sol

Après la connaissance de la texture (dominante argileuse, dominante limoneuse ou dominante sableuse) et la proportion de cailloux des horizons de sol comme montre le tableau ci-dessous dont les résultats sont obtenus à partir des données pédologiques et l'observation visuelle sur le site :

Tableau III. 4 : pourcentage des éléments constituant le sol

Epaisseur (cm)	% Argile	% limons	% sable	% cailloux
20-60	18	31	51	3
0-20	27	46	72	5
Nul	Inconnu	Inconnu	inconnu	Inconnu

Ensuite, nous pouvons croiser ces informations pour déterminer un nouveau paramètre « nature du sol », pour cela 3 classes de nature de sol sont définies dans le tableau suivant :

Tableau III. 5 : Nature du sol

		Texture		
		1 (argiles)	2 (limons)	3 (sables)
Cailloux	1 (0-15%)	1	1	2
	2 (15-60%)	1	2	3
	3 (>60%)	2	3	3

Par la suite, en combinant la nature du sol avec l'épaisseur des sols, on obtient la vulnérabilité de sol classée en quatre classes qui sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 6 : la vulnérabilité du sol

		Nature du sol			
		Inconnue	1	2	3
Épaisseur	1 (>60 cm)	S1	S1	S2	S3
	2 (20-60 cm)	S2	S2	S3	S4
	3 (0-20 cm)	S3	S3	S4	S4
	4 nulle	S4	S4	S4	S4

Lorsque la couverture protectrice est supérieure à 5m, alors la vulnérabilité du sol est S0 (très faible vulnérabilité) [27].

Tableau III. 7 : Caractéristiques du critère S « Sol et couverture protectrice »

<i>Critère S : Sol et couverture protectrice</i>		
Critère	Caractéristiques	Indice
S2	Sols caractérisés par des perméabilités moyennes qui permettent l'activité agricole	2
S3	Sols caractérisés par des perméabilités faibles (broussailles)	3
S4	Sols caractérisés par des perméabilités très faibles (terres nues)	4

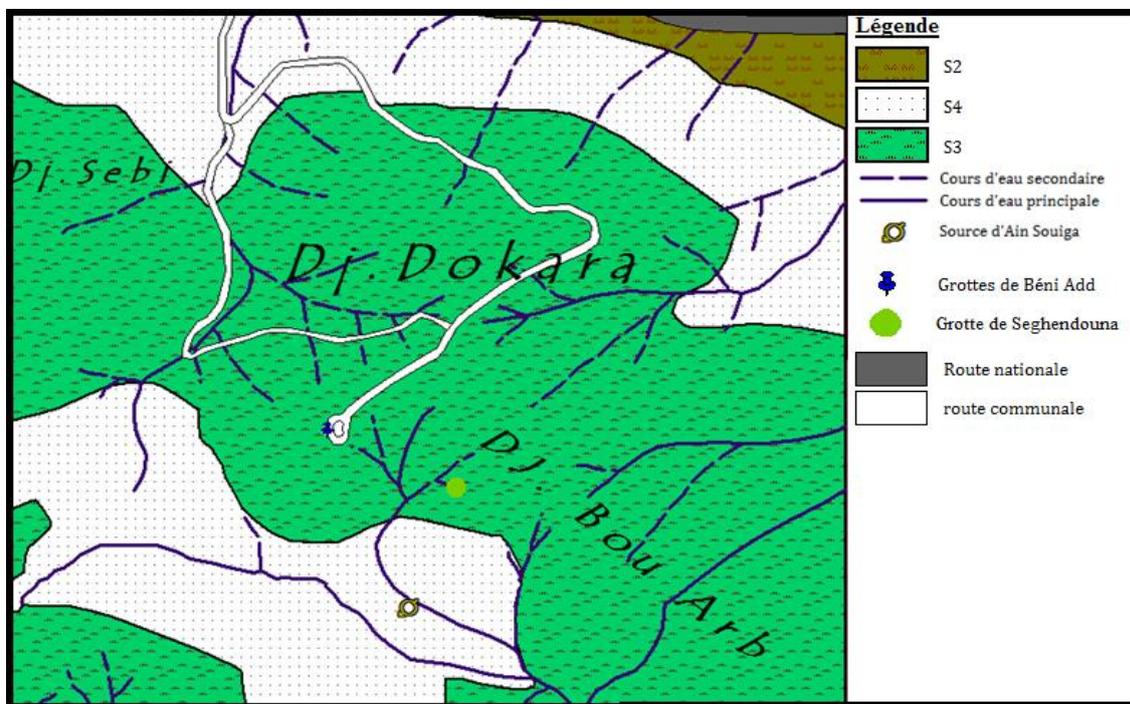


Figure III. 15 : Représentation de critère « S »

III.2.3.4. Critère K « Karstification »

Le critère de karstification évalue le développement du réseau karstique [27].

La karstification du milieu est l'un des paramètres les plus importants qui conditionnent la vulnérabilité. C'est aussi un des critères les plus difficiles à appréhender. Ce critère permet de caractériser la vulnérabilité du milieu souterrain, la cible de la méthode de vulnérabilité étant la source ou le captage et non la ressource [23].

Les indices du karstification peuvent être classés de la façon suivante :

Tableau III. 8 : Caractéristiques du critère K « karstification »

<i>Critère K : karstification</i>			
Critère	Nature de formation	Caractéristiques	Indice
K0	Quaternaire et marno-calcaire de Raourai	C'est une formation sur le karst, Les matériaux quaternaires sont formés par le détachement de bloc de Travertins, calcaires et de dolomies des versants (l'aquifère plus ou moins fissuré)	0
K2	Dolomie de Tlemcen	A travers les travaux sur les Monts de Tlemcen les dolomies de Tlemcen sont des formations karstifiées peu développées	2
K4	Zegla A et Dolomie de Terni	formation est une continuation des dolomies de terni dans le membre supérieur où elle est difficile à distincte	4

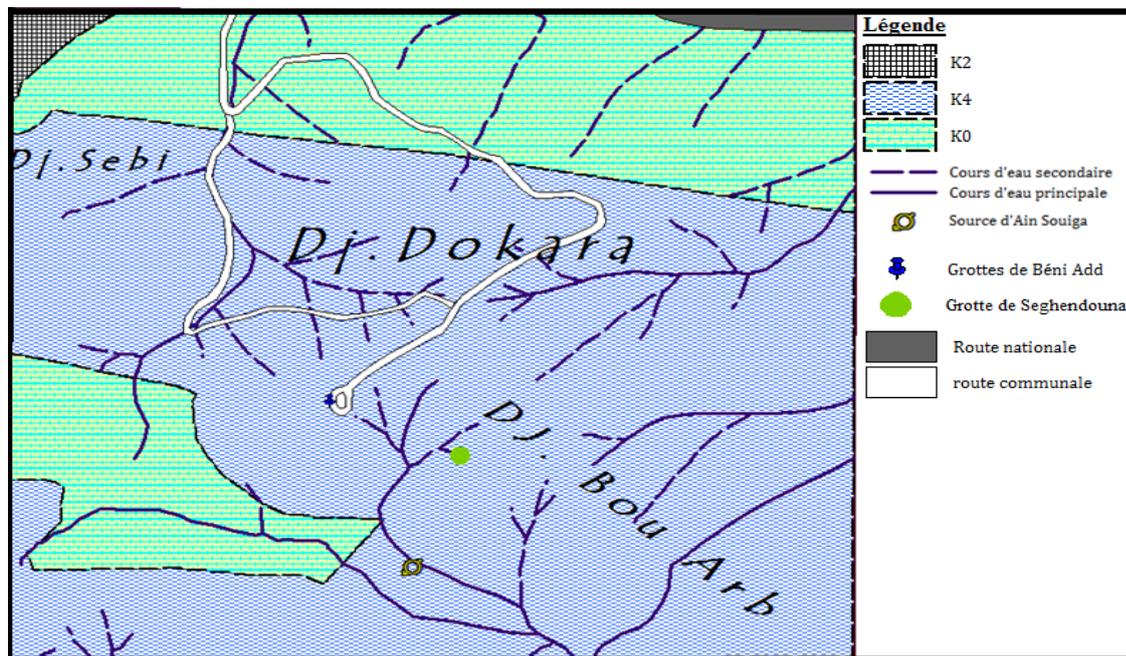


Figure III. 6 : Représentation de cirière « K »

III.2.4. Indice globale de vulnérabilité

L'indice global de vulnérabilité est calculé à partir de la formule suivante :

$$I_g = 0,15R + 0,4I + 0,25S + 0,2K$$

R, I, S et K correspondent à la valeur des critères indexés [27].

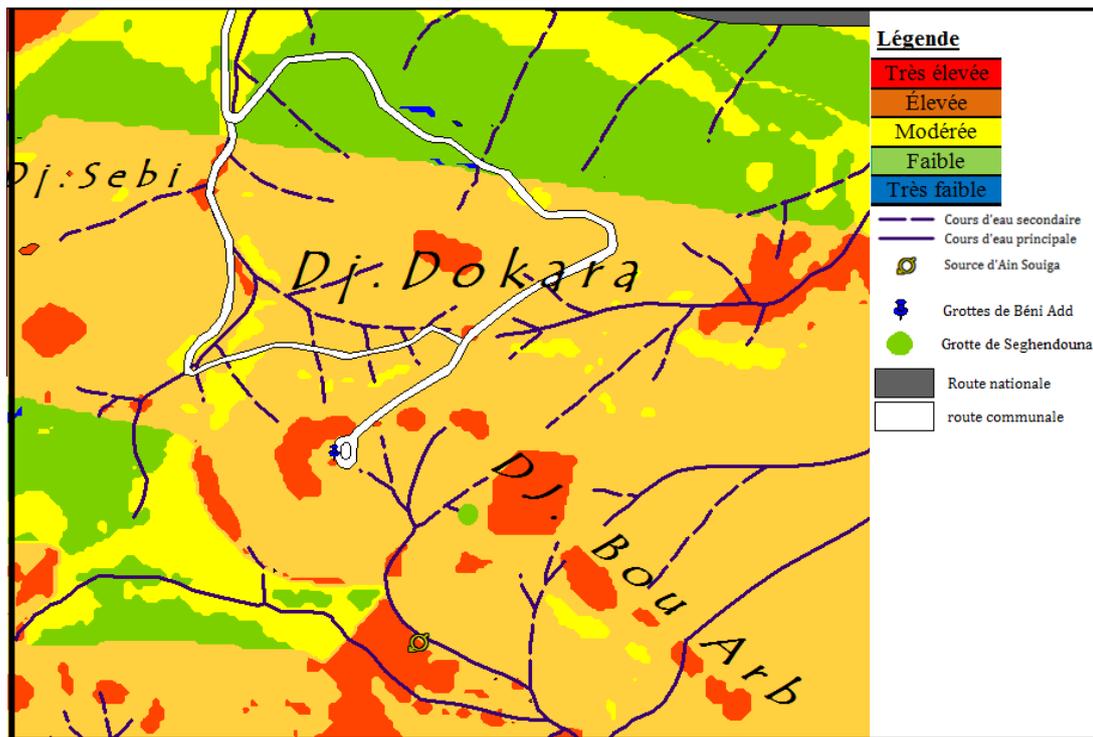


Figure III. 7: Carte de vulnérabilité par la méthode RISK

La vulnérabilité est alors re-classifiée en 5 catégories entre 0 (vulnérabilité minimale) et 4 (vulnérabilité maximale) :

Tableau III. 9 : Classification d'indice global de vulnérabilité

Reclassification Ig	Indice	Vulnérabilité	Surface (km ²)	Proportion (%)
3,2 – 4	4	Très élevée	0,69	8,96
2,4 – 3,19	3	Élevée	4,7	61,54
1,6 – 2,39	2	Modérée	0,58	7,53
0,8 – 1,59	1	Faible	1,72	22,34
0 – 0,79	0	Très faible	0,014	0,18

III.2.4.1. Les principaux résultats obtenus

La méthode RISK utilise quatre critères pour déterminer la vulnérabilité intrinsèque de la région karstique des grottes de Béni Add qui donne une carte de vulnérabilité à cinq degrés: extrême, très élevée, élevée, modéré et faible (Figure III.17). Cette carte permet la mise en évidence des zones très sensibles à la pollution.

L'établissement de cette carte a permis de constater qu'une grande surface de la zone d'étude présente une vulnérabilité élevée et les surfaces restantes présentent des vulnérabilités: très faible, faible, modérée et très élevée.

Parmi Les sources karstiques répertoriées à travers le secteur d'étude, la plus importante à aménager se trouve en zone à vulnérabilité modérée. Le périmètre de protection de cette source n'est pas établi.

La méthode utilisée pour la cartographie de la vulnérabilité à la pollution s'adapte bien au site étudié.

III.3. La cartographie du risque de pollution de la zone d'étude

L'évaluation du risque dans le cadre de la protection des eaux souterraines karstiques, nécessite :

- ◆ L'identification des risques potentiels ;
- ◆ L'analyse de l'impact potentiel des risques sur les eaux souterraines (concentration et quantité de contaminants)

- ◆ L'information sur les caractéristiques hydrogéologiques des matériaux géologiques qui peuvent influencer le transfert et l'atténuation des contaminants : vulnérabilité des eaux souterraines ;
- ◆ L'information sur la valeur des eaux souterraines pour la région considérée. Les eaux karstiques sont considérées comme avoir une haute valeur [23].

La quantification du risque de pollution reste encore un problème difficile à appréhender. Le mot risque a été toujours associé au mot *aléa* (probabilité) entre autres paramètres et c'est ainsi que le risque s'oppose à la certitude. Pour les notions relatives aux risques environnementaux, différentes méthodes ont été proposées selon le cas étudié et le risque a été considéré comme un croisement entre deux dimensions : l'aléa et la vulnérabilité [29].

Cependant, une situation à risque laisse penser intuitivement à une situation *probable et grave*, d'où l'importance d'introduire aussi la gravité dans l'évaluation du risque. Pour cela, nous considérons le risque comme un croisement entre deux dimensions qui sont l'aléa et la vulnérabilité [29].

· *L'aléa* est lié à l'évolution des activités anthropiques qu'on doit prévoir sachant qu'on ne peut pas interdire pour les besoins du développement [29].

· *La vulnérabilité*: est essentiellement liée à la nature de la zone considérée [29].

La superposition entre la carte d'aléa et la carte de vulnérabilité (voir figure III.18) permet d'établir la carte de risque.

III.3.1. L'évaluation d'aléa

L'évaluation de l'aléa se fait en sept étapes ayant pour finalité la réalisation d'une carte d'aléa classée :

Etape 1: Définition et inventaire des aléas

Dans le contexte de la contamination des eaux souterraines, l'aléa est défini comme une source potentielle de contamination des eaux souterraines due aux résultats des différentes activités humaines qui affectent directement ou indirectement notre

environnement. L'évaluation d'un aléa tient compte de son degré de nocivité potentiel. Ce dernier est déterminé par la toxicité et la quantité de substances dangereuses.

Dans la littérature, en particulier selon le Cost 620, les aléas peuvent être classés selon trois catégories principales :

- ◆ infrastructures de développement,
- ◆ les activités industrielles
- ◆ Les activités agricoles et l'élevage

Chacune de ces catégories comprend des sous catégories comme le montre le Tableau III.10. Notre zone d'étude ne contient que les infrastructures de développement, Les activités agricoles et l'élevage. Nous avons pu établir ces catégories qui regroupent les différents foyers de pollution répertoriés dans les grottes de Béni Add.

Tableau III. 10 : Les catégories des aléas

N	Niveau I Catégorie des aléas	Niveau II Catégorie des aléas
1	Infrastructure de développement	Eau usée
1.1		Déchets municipaux
1.2		Huiles et carburant
1.3		Transport et trafic
1.4		Zones récréatives
1.5		Divers aléas
1.6		
3	Agriculture et Elevage	
3.1		Agriculture
3.2		Elevage

La première étape dans l'élaboration de ce travail est la réalisation d'un inventaire bien détaillé sur les différents aléas et foyers de pollutions qui se trouvent dans notre site d'étude après la collecte des données nécessaires.

Etape 2: Données sur les différents foyers de pollution

Les différentes données nécessaires pour effectuer un inventaire détaillé des dangers ont été regroupées dans la carte d'aléa. Cette carte a été élaborée pour chaque type de risques indiqué dans le tableau III.10.

Les aléas sont cartographiés sur un fond de carte topographique dont le calage a été fait sur un Système d'information géographique (SIG) par le logiciel Mapinfo.

Etape 3 : Pourcentage et poids des aléas

Le tableau de l'annexe C1 montre le poids H pour chaque type d'aléa ou le degré de danger sur les ressources souterraines et leur symbole sur carte. Les valeurs de poids H varient de 10 jusqu'à 100.

Pour une comparaison entre les aléas de même catégorie, tous les différents facteurs influençant sur le degré de nocivité doivent être pris en considération. Par conséquent, les diversités dans la nocivité au sein de chaque catégorie d'aléa seront principalement en raison de la quantité variable (Q_n) de substances nocives. Il est recommandé que ces valeurs de poids soient changées seulement en les multipliant par un facteur de classement entre 0,8 et 1,2 afin d'indiquer des quantités faibles ou élevées, respectivement, de substances toxiques par rapport à la moyenne générale.

Ainsi, nous avons le facteur de réduction R_f qui est un coefficient de correction pour les contaminants. Ce R_f varie entre 0 et 1 puisque on a des informations sur l'aléa qui nuit à notre eau souterraine le R_f égale à 1 mais si on n'a pas des informations sur l'impact d'aléa ce R_f prend aussi la valeur 1. Par contre, si l'aléa est sécurisé à 100%, alors le R_f égale à 0.

Enfin, l'indice d'aléa H_i décrit le degré de danger de chaque aléa. La valeur maximale possible de HI varie entre 0 et 120 qui donnent cinq classes de degré d'aléa [26]. Pour cela on calcule cet indice à partir de la relation suivante :

$$H_i = H * Q_n * R_f$$

Avec :

H_i : Indice d'aléa

R_f : Facteur de réduction

Q_n : Facteur de classement

H : Poids d'aléa

Etape 4: Interprétation graphique

Généralement, l'interprétation graphique des données sur les aléas est obtenue à partir d'une carte, qui montre les informations spatiales telles que leur localisation, la distribution et

l'étendue (taille, forme), ainsi que les informations descriptives, qui sont les caractéristiques de la carte ou d'attributs [26].

De plus, les aléas peuvent être cartographiés à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) en adoptant des symboles particuliers pour les différentes catégories de foyers de pollution (Tableau C1 de l'annexe C) où tous les aléas inclus dans la liste d'inventaire. Le tableau III.10 représente les différents degrés de danger de foyers de pollutions sur les eaux souterraines qui peuvent être classés selon les valeurs de l'indice d'aléa H_i calculé (Voir Etape 3).

Par contre, la précision de la carte d'aléa par rapport à la localisation dépend évidemment de la qualité des données recueillies qui ont été utilisées pour déterminer les coordonnées topographiques.

Étape 5: Techniques de cartographie

La collecte des données nécessaires à la cartographie des aléas peuvent être obtenues non seulement par des enquêtes sur le terrain, mais aussi par l'étude des images satellites, des cartes et des logiciels indiqués ci-dessus. Il est recommandé que l'intégration des données de la cartographie des aléas soit performée en utilisant le SIG par le logiciel Map Info.

Étape 6: Production de la carte des aléas

La dernière étape dans le plan de travail porte sur la production réelle de la carte des aléas. Après une recherche détaillée et l'inventaire des données de foyers de pollution dans le secteur étudié, on a pu cartographier et localiser les aléas sur la carte topographique à l'aide des coordonnées (x, y) en utilisant le GPS.

Ainsi, l'échelle de la carte de vulnérabilité et d'aléa est un critère très important pour la réalisation de la carte de risque. Cette échelle est nécessaire pour la représentation des symboles (point, ligne et polygone) pour ne pas perdre l'information sur l'aléa.

Par contre, la classification des aléas existants se base sur le calcul d'indice H_i qui tient compte les deux facteurs : Q_n et R_f .

III.3.2. L'évaluation du risque de pollution

L'évaluation du risque est une étape dans le processus de protection des ressources en eau souterraine et plus particulièrement de l'établissement des périmètres de protection. Elle est déterminée à la fois par la toxicité et par la quantité de substances dangereuses, qui peuvent être libérés à la suite d'un événement de contamination.

Pour déterminer les zones à risques dans secteur étudié, on a superposé la carte de vulnérabilité avec les différents foyers de pollutions représentées dans la carte d'aléa. La combinaison de ces cartes par l'utilisation de l'expression ci-dessous, permet de dégager les degrés de risque, en tenant compte de degré de vulnérabilité et de l'absence ou la présence des sources polluantes (les activités anthropiques), susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines. Cette combinaison permet de classer l'intensité de risque en trois classes (faible, modéré et élevé) qui sont représentés dans la figure III.19.

$$\mathbf{Ri = A * B}$$

Avec :

Ri : Indice d'intensité de risque

A : Indice de vulnérabilité

B : Indice d'aléa Hi

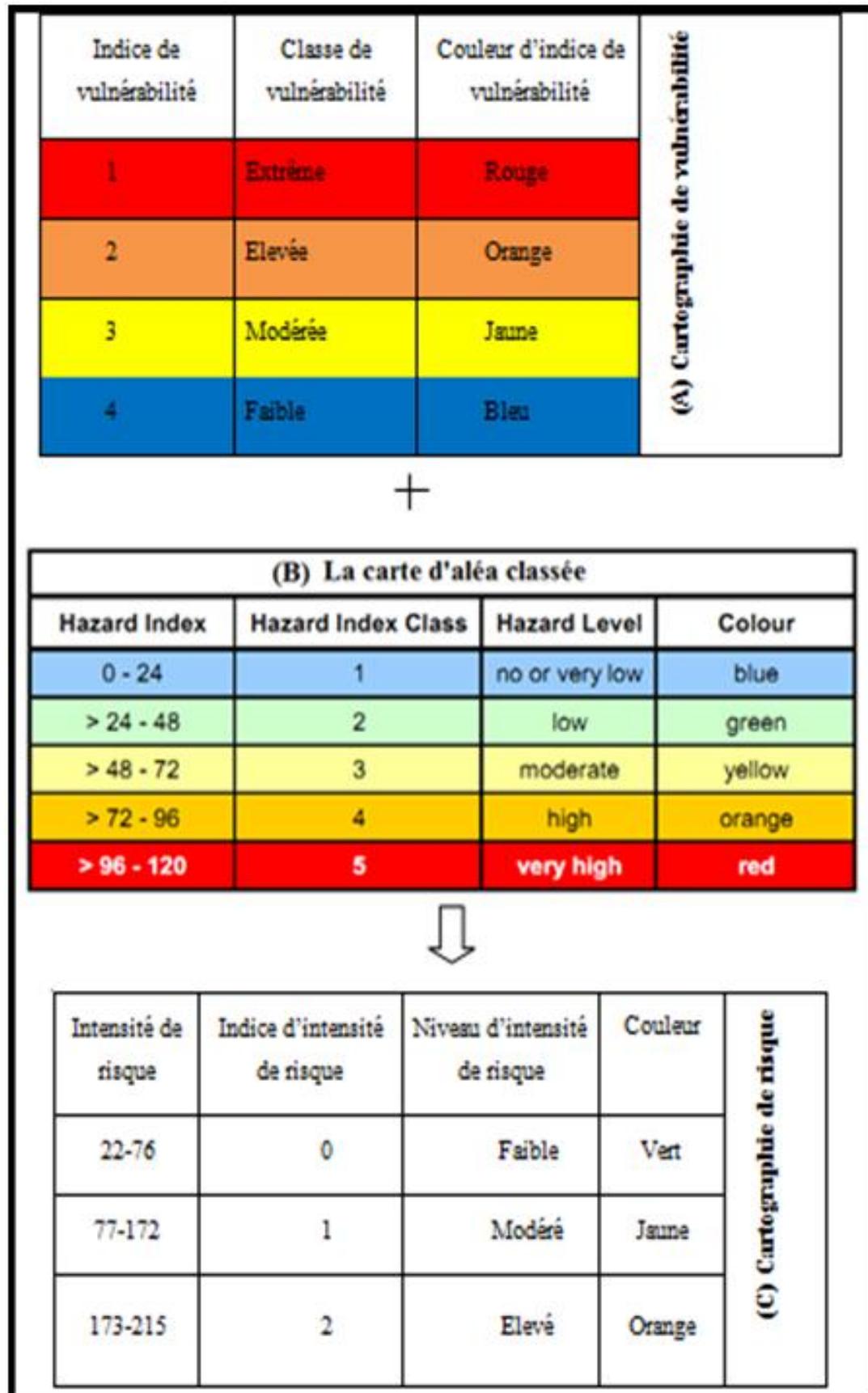


Figure III. 18 : Schéma d'illustration de la méthodologie d'évaluation du risque [33].

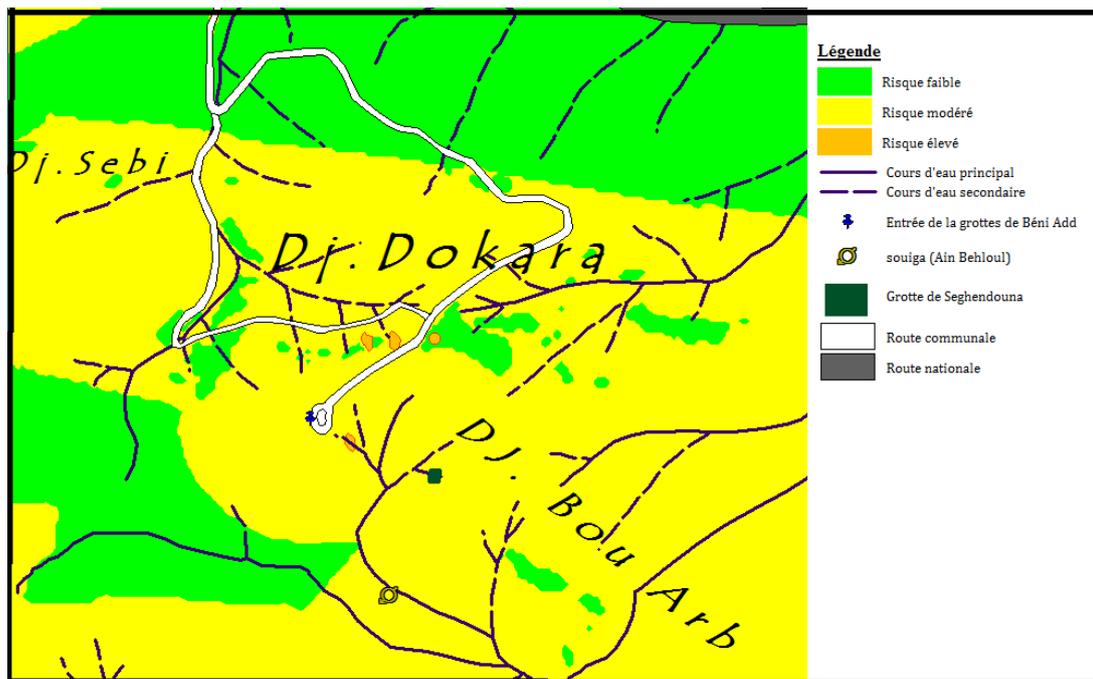


Figure III. 19 : Carte de risque de la Z.E

III.3.3. Discussion

L'analyse de la carte du risque de la zone d'étude montre 3 degrés de risque. L'établissement de cette carte a permis de constater que les rejets d'eaux usées inventoriés dans la zone d'étude présentant un risque très élevé, les 66.2 % de la surface d'étude présentent un risque modéré et les 33.8 % restants présentent un risque faible. Certains de ces rejets sont très proches des ouvrages de captages d'eaux souterraines karstiques destinées à l'AEP. L'un des points de rejets qui est signalé comme fortement polluant c'est le rejet qui se trouve proche de la source d'Ain Souigaa. Alors, il faut protéger cette source contre toute éventuelle pollution par l'installation d'un périmètre de protection. Aussi, il faut bien gérer l'évacuation des eaux usées en milieu naturel par l'installation d'une station d'épuration par l'implantation des bassins de lagunage à macrophyte ou par lagunage aéré en utilisant les énergies renouvelables (éolienne, solaire) pour ne pas nuire à l'environnement immédiat du site. Etudié. On peut procéder à la réalisation de canalisations pour l'acheminement des eaux usées épurées pour leur utilisation dans le domaine agricole.

Plus de 2.5% des surfaces agricoles présentent un risque faible et environ 1,5% de réseau routier traversant la commune passe par des zones où le degré de risque est modéré. La zone d'étude contient deux cimetières qui révèlent un risque modéré avec comme impact l'infiltration des nitrates et des nitrites à travers le sol et le sous-sol.

Nous avons aussi les parkings, les terrains de loisirs, les installations de sécurité et les jardins se trouvant dans la zone qui révèlent un degré de risque modérée.

IV. Propositions de l'aménagement projeté

IV.1. Alimentation en eau potable

En effet les moyens dont nous disposions étaient malheureusement très limités, au cours des différentes enquêtes que nous avons effectuées sur le terrain, nous n'avons en aucun moment pu avoir accès au captage de la source.

Il est difficile de proposer des solutions alternatives alors que les objectifs finaux du projet ne sont pas officiellement connus. La source d'Ain Souiga assure un débit de 6 l/s mais malheureusement elle n'est pas contrôlée (aucun suivi ni de la qualité de l'eau ni de son débit) aussi bien par les services de l'ANRH (agence nationale des ressources hydrauliques) que par les services de l'APC. Ceci nous a obligé de faire des analyses physico-chimique et bactériologique en coordination avec le service d'hygiène de l'A.P.C Ain Fezza.

L'alimentation en eau nécessaire aux aménagements projetée, est envisagée à partir du nouveau réservoir.

Vu le niveau de l'aménagement projeté élevé par rapport au niveau du trop-plein du réservoir une augmentation de la pression dans le réseau de distribution est nécessaire.

On prévoit une station de surpression qui sera localisée en aval du réservoir.

Vu que le volume du réservoir est insuffisant on propose d'augmenter la capacité du réservoir ou bien d'installer une bache d'eau à côté du captage d'Ain Souiga.

IV.1.1. Estimation des besoins en eau potable

Le circuit touristique organisé dans la ville de Tlemcen devra être relié à Ain Fezza (grotte de Béni Add) avec une série d'excursions, ceci pour assurer une fréquentation régulière pendant toute l'année, et qui deviendra par la suite une demande touristique.

Cet aménagement prévu nécessite sans aucun doute la présence d'eau potable qui alimentera chaque équipement à part.

Pour déterminer les besoins en eau potable on a utilisé les formules suivantes :

$$Q_{jm} = \frac{N.J}{1000} (\text{m}^3/\text{j})$$

Où

N : c'est le nombre de places ou des unités concernées

J : c'est la consommation individuelle (l/unité /jour)

Q_{jm} : La consommation journalière moyenne

$$O_p = O_{jm} \cdot C_p \text{ (l/s) avec}$$

O_p : Le débit de pointe

C_p : coefficient de pointe.

IV.1.1.1. Critères adoptés pour les calculs

En ce qui concerne l'estimation des besoins en eau de notre projet d'aménagement nous nous sommes basés sur les hypothèses suivantes que nous avons établies à la suite d'enquêtes sur le terrain et sur nos propres observations :

- ◆ Le contexte climatique de la région étant doux et clément (mis à part la saison d'hiver), permet l'afflux des touristes au cours de 9 mois de l'année (270 jours/an).
- ◆ Le site de la grotte de Beni Add est ouvert aux visiteurs pendant tous les jours de semaines.
- ◆ Sur les 7 jours d'ouverture, on considère que le maximum de visiteurs est atteint pendant les jours du week end.
- ◆ On rajoutera une journée à ces deux jours de week end ce qui donne 3 jours par semaine ou le flux de visiteurs sera important.
- ◆ L'accès aux visiteurs n'est autorisé que pendant 8 heures par jours ($c_p=3$).
- ◆ On intégrera à nos calculs la petite garde de surveillance qui était il y'a quelques temps une caserne de gardes communaux implantée à proximité du site de la grotte (0.7km au nord-est du site de la grotte).

La méthode d'approche que nous avons adoptée dans ce travail est basée sur le taux de fréquentation des lieux. Le nombre de touristes enregistrés au cours de l'année 2015 est de l'ordre de 218757.

IV.1.1.2. Estimation des besoins actuels

Notre premier calcul des besoins se fera pour 1580 visiteur /jour,

- Restauration (Cafétéria, grillades): $J= 60\text{l/jour/visiteurs}$, et on a 1580 visiteurs par jours

$$Q_{jm}=1,1 \text{ (l/s)} \quad , \quad Q_p=3,29 \text{ (l/s)}$$

- Sanitaire : $J= 50\text{l/jour/visiteurs}$,

$$Q_{jm}=0,91 \text{ (l/s)} \quad , \quad Q_p=2,74 \text{ (l/s)}$$

- Arrosage de la verdure : 2000m^2

$$J=2\text{l/m}^2/\text{jour}$$

$$Q_{jm} =4\text{m}^3/\text{jour} \quad , \quad Q_p= 0,14 \text{ (l/s)}$$

- Garde de surveillance : $J= 80 \text{ l/jour/garde}$, 3 gardes communaux

$$Q_{jm}=0,003 \text{ m}^3/\text{jour} \quad , \quad Q_p=0,0083\text{(l/s)}$$

Perte d'eau dans le réseau estimé à (20%) de la totalité de $Q_{jm}=2,061\text{(l/s)}$:

$$Q_{jm}=0,41 \text{ m}^3/\text{jour} \quad , \quad Q_p= 1,23 \text{ (l/s)}$$

Les besoins particuliers totaux existants pour moyens termes sont :

$$Q_{jm}=2,47 \text{ (l/s)} \quad , \quad Q_p= 7,42 \text{ (l/s)}$$

IV.1.1.3. Evaluation des besoins en eau a l'horizon 2040

D'après la direction de tourisme le nombre de visiteurs en 2009 était de 35300 visiteurs par an, et il est passé à 218757 visiteurs en 2015. Cependant après enquête et discussion avec les autorités compétentes, il nous a été conseillé de prévoir une augmentation annuelle de touristes dans l'intervalle comprise entre 2000 et 3000 soit un taux d'accroissement de 6 %,

a) Estimation du nombre de touristes à l'horizon 2040 :

Pour calculer le nombre de touristes de l'an 2040 nous appliquons la formule de Tabassaran :

$$V_i = V_0 \times (1 + I)^n$$

avec :

V_i : le nombre de visiteurs futur

V_0 : le nombre de visiteurs actuel

I : le taux d'accroissement estimé à 6%

N : le nombre d'années (égal à 25 ans)

$$V_i = 8695 \text{ visiteurs}$$

b) Besoins en eau à l'horizon 2040

On calcul sur les bases de 6781 touristes par jour de la même manière qu'en a estimer les besoins en eau pour l'année 2015.

- Restauration (Cafétéria, grillades): $J= 60\text{l/jour/visiteurs}$, et on a 6781 visiteurs par jours

$$Q_{jm}=4,71 \text{ (l/s)} \quad , \quad Q_p=14,13 \text{ (l/s)}$$

- Sanitaire : $J= 50\text{l/jour/visiteurs}$,

$$Q_{jm}=3,92 \text{ (l/s)} \quad , \quad Q_p=11,77 \text{ (l/s)}$$

- Arrosage de la verdure : 2000m^2

$$J=2\text{l/m}^2/\text{jour}$$

$$Q_{jm} = 4\text{m}^3/\text{jour} \quad , \quad Q_p= 0,14 \text{ (l/s)}$$

- Garde de surveillance : $J= 80 \text{ l/jour/garde}$, 3 gardes communaux

$$Q_{jm}=0,003 \text{ m}^3/\text{jour} \quad , \quad Q_p=0,008 \text{ (l/s)}$$

Perte d'eau dans le réseau estimé à (20%) de la totalité de $Q_{jm}=8,682(l/s)$

$Q_{jm}=1,74 m^3/jour$, $Q_p= 5,2 (l/s)$

Les besoins particuliers totaux existants pour moyens termes sont :

$Q_{jm}=10,41 (l/s)$, $Q_p= 31,26 (l/s)$

IV.2. Système d'assainissement

IV.2.1. Evacuation des eaux usées

Moyen terme : On prévoit une fosse septique d'un volume de $100 m^3$. Après traitement dans-la fosse, les eaux usées seront rejetées vers le bassin-versant nord-est de Djebel Bou Arb pour éviter la pollution de la source captée.

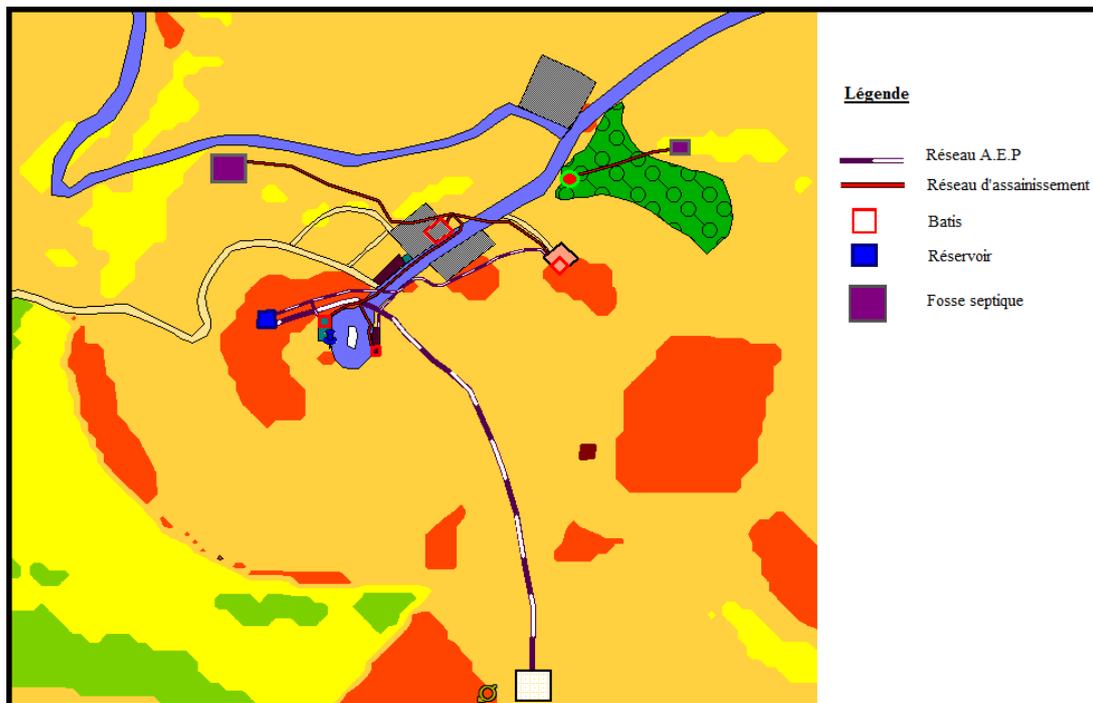


Figure III. 8 : Présentation de la première variante

Long terme : On propose une station d'épuration du type préfabriqué pour 200 habitants environ. Le rejet se fera de la même manière que pour le moyen terme. Le rayon de la zone de protection autour de la station a été fixé de 100 m.

On peut proposer aussi une station d'épuration par les macrophytes. Cette méthode à une bonne performance épuratoire et elle a une bonne adaptation aux variations saisonnières des visiteurs. Le cout d'investissement est relativement faible. Le grand avantage est qu'elle a une bonne intégration paysagère. Pour cela cette méthode d'épuration par les roseaux, à notre avis, convient bien à notre projet.

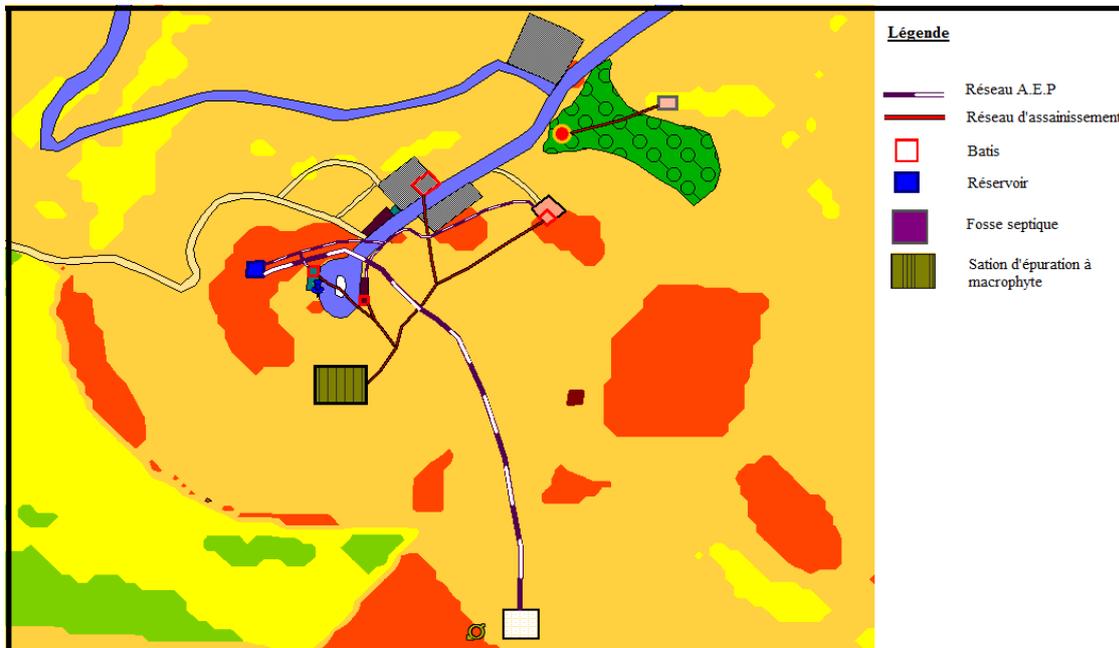


Figure III. 21 : Présentation de la deuxième variante

IV.2.2. Evacuation des eaux pluviales

On ne prévoit pas un réseau spécial pour l'évacuation des eaux de pluie. Les routes, pistes, sentiers, parkings et toitures serviront à évacuer: directement ces eaux vers le terrain par l'intermédiaire de caniveaux.

IV.2.3. Bilan des eaux usées

Le débit des eaux usées a été fixé selon le calcul des besoins en eau potable (80 % de l'eau potable).

Les eaux prévues pour l'arrosage de la verdure et les pertes d'eau dans le réseau de distribution ne sont pas prises en considération.

Remarque: Notre projet ne comporte pas d'industrie et ne prend pas en considération les eaux pluviales elles sont directement acheminées vers la nature. Nous ne considérerons

que les eaux usées provenant de l'agglomération soit les rejets d'origine domestique et du service public.

IV.2.3.1. Quantité des débits à évacuer

La quantité des eaux usées à évacuer est l'ensemble des eaux récupérées après leur utilisation. L'évacuation quantitative des rejets est fonction du type d'agglomération. D'une manière générale ces débits seront évalués sur la base de 80% de la consommation d'eau potable ; tel que :

- Le débit de pointe sera considéré dans le dimensionnement des collecteurs.
- Le débit minimum permettra l'appréciation de la capacité d'auto curage de notre réseau.

La dotation d'eau potable prévue pour la zone d'étude est de 110 l / j / visiteur dont 60l / j / visiteur pour la restauration et 50 l / j / visiteur pour les sanitaires.

a) Evaluation du débit moyen journalier

Il est calculé par la formule :

$$Q_{\text{moy, j}} = (K_r * D * N) / 86400 \quad (l / s) [8]$$

Avec:

$Q_{\text{moy, j}}$: débit moyen rejeté quotidiennement en (l/s)

K_r : coefficient de rejet pris égale à 80% de la quantité d'eau potable

D : dotation journalière prise égale à 110 (l / j / visiteurs)

N : nombre de visiteurs

$$Q_{\text{moy j}} = 1,61 \text{ (l/s)}$$

b) Evaluation du débit de pointe

Le débit de pointe journalier est donné par la formule suivante:

$$Q_{\text{pointe, j}} = K_p * Q_{\text{moy, j}} [8].$$

Avec : $Q_{\text{pointe, j}}$: débit de pointe journalier.

K_p : coefficient de pointe.

K_p est donnée par la relation suivante:

$$\begin{cases} K_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{moy,j}}} \rightarrow \text{si } Q_{moy,j} > 2,8 (l/s) \\ K_p = 3 \rightarrow \text{si } Q_{moy,j} \leq 2,8 (l/s) \end{cases}$$

Pour : $Q_{moy,j} = 1,61 (l/s)$: $K_p = 3$

◆ Calcul du débit d'eau rejeté

On a le débit de pointe qui est de 4,83 l/s.

Le débit d'eau rejeté donnée par la formule $Q_p = 0,8 \times Q_{pte} \times K_p$ [8].

$Q_{pr} = 11,59 (l/s)$

Le choix du système d'assainissement doit être bien conçu afin d'assurer d'auto curage pendant les débits minimums et les érosions lors des débits de point.

IV.3. Aménagement de la zone d'accueil

En tenant compte des différents paramètres tels que: le milieu physique, le milieu bioclimatique, la demande..., on prévoit un aménagement orienté surtout vers une activité de jeunesse ou de sport de montagne par exemple.

En fonction des missions de reconnaissance que nous avons effectuées sur le site d'étude, nous avons constaté une carence dans les structures touristiques qui répondent aux besoins de touristes. Dans ce qui suit nous essayons de prendre en compte cette carence et de proposer des suggestions que nous espérons à travers laquelle améliorer la situation actuelle. Les suggestions sont les suivants :

La zone d'accueil reçoit la grande majorité des touristes qui viennent jusqu'à ce site, en pleine nature uniquement pour trouver le calme et l'air pur, le repos, la détente. Ils ne désirent pas circuler beaucoup et ils recherchent un certain isolement. Cette zone devra donc faire l'objet d'une surveillance et réglementation de certains activités pouvant nuire par la suite à l'espace naturel et au confort du visiteur.

Il est souhaitable que le peuplement végétal inclus dans la zone d'accueil ait un couvert légèrement interrompu permettant l'ensoleillement partiel. D'autre part l'ombrage doit-être assuré. Comme dispositifs d'accueil on propose:

- ✓ Les parkings

Il doit être aisément accessible, spacieux et un service de gardiennage doit être prévu.

- ✓ Les éléments d'installation du visiteur

Bien que le sol soit le plus recommandé à l'installation des visiteurs, l'introduction des bancs et tables est plus confortable. Ils seront placés de manière à créer une certaine intimité pour chaque famille, Ils seront faits en bois pour favoriser l'esthétique de la zone.

- ✓ Les poubelles

La disposition des poubelles surtout près des aires de pique-nique s'avère indispensable afin d'assurer la propreté du site. L'évacuation des déchets s'effectuera vers une décharge publique.

- ✓ Les sanitaires

L'existence des sanitaires est liée à celle des points d'eau. A cet effet, on aménagera des fosses septiques munies de canaux, où seront déversées quotidiennement les eaux usées.

- ✓ Points d'eau

L'eau est aussi un élément attractif. Pour alimenter de près ces équipements d'accueil, la création de points d'eau alimentés par des pompes serait des plus souhaitables. On prévoit de faire des sondages pour exploiter le maximum de nappes d'eau. L'eau sera récoltée dans de petits bassins ou citernes à proximité de chaque équipement.

- ✓ La signalisation

Elle servira à sensibiliser les gens et guider les visiteurs vers les lieux de loisirs. Elle servira aussi à expliquer la signification du karst, la formation des grottes etc.... afin de mieux sensibiliser les visiteurs au respect et à la préservation du site.

Cette signalisation peut se compléter en quelques endroits par d'autres panneaux indiquant le sens des opérations forestières exécutées, de place en place également quelques écriteaux invitant au respect du calme de la propreté des lieux et de la flore.

✓ Les aires de jeux

On prévoit l'installation de toboggans de petit format, de balançoires fixes et mobiles, de barres fixes, etc. On peut imaginer aussi jeux éducatifs pour enfants qui s'intègrent bien à l'environnement forestier.

✓ Construction d'une maison forestière

Son emplacement est nécessaire dans cette région. Elle sera située à la place de la garde communale. Elle sera le siège de gestion du site. Elle abritera le personnel de surveillance et d'entretien et disposera d'une pharmacie légère.

✓ Création de kiosques

Ils seront disposés de façon à servir le public. Leur usage se rapportera à l'activité récréative du site.

✓ Création d'une petite réserve d'animaux:

L'installation d'une petite réserve près de la maison forestière qui serait un point d'attraction intéressant dans la région.

✓ Construction de restaurants:

L'air des montagnes offre un climat favorable aux randonnées loin du cadre urbain, les citadins pourront satisfaire leur soif de la nature.

On prévoit un restaurant sur le site des grottes ainsi qu'une buvette, l'ensemble servant surtout les voyageurs.

✓ Construction d'un centre d'activité:

Le centre d'activité est situé en prolongement du restaurant, accessible par la voie piétonne. Ce centre comprend différentes activités pour les touristes on retrouve :

- ◆ L'activité commerciale se rapportera de préférence à l'artisanat
- ◆ L'activité sportive: Les jeunes athlètes pourront ainsi s'isoler et s'entraîner.
- ◆ L'activité culturelle comprenant une salle de bibliothèque scientifique se rapportant en premier lieu au domaine de la spéléologie (étude des grottes).

✓ L'hébergement

Ce type d'équipement n'aura pas une part importante dans notre programme d'aménagement étant donné que la ville de Tlemcen se trouve à proximité des grottes. On voudrait installer une auberge de Jeunes à moyen terme, puisque le site favorise le sport de montagne et de plein-air.

IV.3.1 Reboisement

Il se trouve que cette opération soit d'une grande nécessité pour compléter notre L'objectif .D'autant plus qu'elle soit de protection elle est aussi génératrice de production même à petite échelle relative.A savoir que tout programme de reboisement doit associer intimement l'économie ou social, afin d'améliorer la condition paysanne et d'intégrer les zones rurales dans l'activité de développement moderne du pays.

IV.3.2. Les infrastructures de liaisons

IV.3.2.1. Accessibilité :

Les grottes du Béni Add sont accessibles à partir de la route nationale n° 7 par une piste sinueuse goudronnée qui débute à Ain Fezza, cette piste se trouve en mauvais état. Récemment, il a été réalisé une autre route allant à la grotte qui va permettre une meilleure circulation des voitures.

IV.3.2.2. Propositions d'amélioration d'accès à partir d'Ain Fezza et Mefrouche

Une fois le site aménagé, sa fréquentation augmentera et par conséquent la circulation deviendra, sûrement intensive. On propose alors les mesures suivantes :

- ◆ Exécution de bandes d'arrêt d'urgence sur la route selon les possibilités du terrain.
- ◆ Aménagement de la piste reliant ces dernières au barrage de Mefrouche.
- ◆ Quand au long terme, il est prévu un programme d'accès à la grotte de Seghendouna qui ne peut qu'enrichir le circuit du touriste.

IV.3.3. Gestion et rendement économique du site touristique

La région des grottes de Béni Add une fois aménagée devra être gérée de façon adéquate. Pour cela, le plan d'aménagement récréatif doit être suivi à long terme. En attendant les interventions à court terme devront permettre la pérennité de ce cadre naturel ; comme opérations à suivre, on cite :

- ✓ Entretien des équipements des aires de jeux et des aires de repos,
- Nettoyage périodique des sanitaires
- La vidange des poubelles,
- L'entretien des sentiers,
- L'entretien des panneaux et pancartes de signalisation.

D'autres mesures à prendre s'avérant d'une importance particulière sont nécessaires. Une réglementation s'imposera concernant le gardiennage traditionnel, la prévention des risques d'incendie ou d'accidents, l'introduction d'une police discrète en vue de la protection individuelle des promeneurs [30].

V. Conclusion

La région des grottes de Beni-Ad est un site naturel beau et merveilleux, son aménagement doit répondre aux exigences du touriste et à la préservation du milieu naturel.

Nous avons pu observer l'état de l'aménagement actuel du site ce qui nous a permis d'analyser les différentes infrastructures d'AEP et d'assainissement en proposant des solutions adéquates pour améliorer le site et lui permettre de recevoir un grand nombre de visiteurs.

La cartographie de la vulnérabilité et des risques de pollution des eaux souterraines sont des outils d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. Ces zones permettent de mettre en évidence les zones très vulnérables et les zones à risques de pollutions potentielles.

Dans ce travail nous avons considéré la zone d'étude de Béni Add comme site d'étude en tenant compte essentiellement les activités agricoles et l'infrastructure de développement. Ces activités peuvent causer des risques de pollutions sur les eaux souterraines avec des

impacts différents. Donc, cette zone est devenue intéressante pour effectuer une cartographie de vulnérabilité et de risque de pollution des eaux souterraines.

Nous nous sommes basées sur la méthode RISK pour établir la carte de vulnérabilité. La carte obtenue présente cinq degrés (faible, modéré, élevé, très élevé, extrême). Ainsi, on se basant sur l'inventaire des données disponibles dans la zone d'étude, on a utilisé la méthodologie proposée dans le rapport final du COST 620 pour établir une carte d'aléa.

Enfin, la cartographie du risque de pollution des eaux souterraines est obtenue à partir de la superposition de la carte de vulnérabilité et la carte d'aléa. Elle a donné trois degrés de risque à la pollution faible, modéré et élevé.

Conclusion générale et recommandations

Au terme de cette étude, nous voudrions souligner que sans négliger les autres objectifs- qui peuvent lui être assignés, ce site naturel, doit être désormais aménagé et géré dans une perspective nouvelle adaptée à l'évolution des besoins de l'homme et au développement de tourisme.

Cependant, il est clair que cet aménagement, une fois réalisé, amplifiera sans doute la fréquentation du site. Ceci nous mène à considérer un nouveau point très important dans le souci de la conservation de cette richesse naturelle qui ne s'impose pas uniquement en raison de son intérêt scientifique-mais aussi parce qu'elle est témoin de l'histoire.

L'approche menée sur la physiographie de la zone d'étude (topographique, hydrographique, géologique et pédologique) nous a permis de déterminer la nature de milieu physique comme support de base à toute étude de ce genre.

L'étude bioclimatique de notre zone a été effectuée grâce à l'utilisation des données de la station météorologique de Meffrouche qui se trouve à proximité de secteur étudié. Cet aperçu bioclimatique nous conduit à constater que le climat de la zone d'étude pour la période (1980-2005) est subhumide avec un hiver frais.

Globalement, la zone d'étude s'étend sur les formations carbonatées du Jurassique supérieur, largement karstifiées lesquelles sont les réservoirs les plus importants des monts de Tlemcen. Ces eaux souterraines sont très vulnérables à la pollution. Des mesures de protection doivent être prises pour leur préservation. Pour cela la mise en évidence des zones les plus menacées de pollution est plus que nécessaire. La cartographie de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines est un outil très utile pour cette tâche.

La carte de vulnérabilité établie, avec la méthode RISK, a permis de mettre en évidence les zones les plus sensibles à la pollution. L'établissement de la carte d'occupation des sols est une démarche indispensable pour la détermination de la carte d'aléa et du risque de pollution.

Pour l'élaboration de toutes ces cartes nous avons utilisé le SIG par le logiciel Mapinfo. Les principaux résultats obtenus mettent en évidence que les rejets d'eaux usées en milieu naturel à proximité du site touristique des grottes de Beni Add présentent un risque élevé de pollution des eaux souterraines.

A la fin de ce travail, nous recommandons :

- ◆ La prise en charge des rejets d'eaux usées en les faisant transiter par une station d'épuration par les macrophytes qui s'y prête bien au site car ce système ne demande qu'un entretien minime et s'intègre bien à l'environnement du site.
- ◆ Le réseau d'assainissement des équipements déjà mis en place devrait être révisé car son état est vétuste et des fuites pourraient mettre en cause la qualité de l'environnement et des eaux souterraines.
- ◆ L'évacuation des déchets solides doit être prise en considération et devrait se faire bien loin de l'enceinte du site des grottes de Beni Add.
- ◆ Ain Souigaa, source d'approvisionnement du site aménagé de Beni Add, devrait faire l'objet de suivi rigoureux de son débit, de la qualité de son eau aussi bien physico-chimique que bactériologique. Car si actuellement elle demeure de bonne qualité et potable il n'en sera pas de même dans quelques mois car le nombre de visiteurs est appelé à augmenter à la suite des structures d'accueil mises en place par le nouvel aménagement et fera plus pression sur le milieu environnemental.
- ◆ L'application des textes législatifs en vigueur se rapportant à la mise en place des périmètres de protection des eaux souterraines. Le périmètre de protection rapproché devrait être établi afin de minimiser tous les risques de pollution. Pour cela la carte de risque est un document très utile. Ceci peut faire l'objet d'un travail futur.
- ◆ A la lumière des résultats obtenus par les quelques mesures de la température à l'intérieur des grottes nous permet de recommander de revoir le mode d'exploitation de ce site. En effet actuellement les visites se font 7j/7 ce qui ne laisse pas du tout de temps de repos à ce site. Nous proposons à ce que les visites soient interdites au moins deux jours par semaine.
- ◆ Enfin tous les visiteurs qui arrivent sur le site ne connaissent pas forcément ce qu'est le karst et l'importance de ce milieu ainsi que sa grande vulnérabilité. Des panneaux explicatifs et illustrant la formation

de ces grottes seraient les bienvenus et d'un grand apport aussi bien pour les visiteurs que pour l'exploitant et le site lui-même.

Bibliographie

[1]Jeannin P.-Y.,2004, Le développement durable du milieu karstique, problèmes et atouts , Edit Institut universitaire Kurt Bösch, pp.11-24

[2]BOURGES F et "all., 2012.L'apport des suivis environnementaux dans la conservation des grottes ornées paléolithiques de Midi-Pyrénées. Les exemples de Gargas (Hautes-Pyrénées) et de Marsoulas (Haute-Garonne).In : CLOTTE J. (dir.), L'art pléistocène dans le monde /Pleistocene art of the world / Arte pleistoceno en el mundo, Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre

[3] B. Andreo, F. Carrasco y J. J. Duran (Eds),1999,"L'éclairage et la Protection des grottes" pp. 305-314. Patronato de la Cueva de Nerja, ,Nerja (Malaga).

[4]Piguet M., "Les grottes ornées préhistoriques : de la conservation préventive à la valorisation d'un patrimoine",Mémoire rédigé pour l'obtention du Certificat, Cours de base en muséologie 2013-2014

[5] B. Lismonde "Climatologie du monde souterrain",tome 2,Aérologie des Systèmes Karstiques, 1ère édition,20 février 2002

[6]Biot V.,2004, La gestion durable de l'environnement karstique à travers l'activité des grottes touristiques,Edit Institut universitaire Kurt Bösch, pp.26-43

[7]Gilli E., "Karstologie : karsts, grottes et sources", (Edition. : Dunod) Paris, 2011.

[8]Krid W, Bekkal Briki O K., "Contribution à l'aménagement hydraulique d'un site karstique cas des grottes de Béni Add",mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique urbain, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen 2009/2010.

[9]Kholkhal Dj., "Contribution au développement agroforestier de la commune d'Ain Fezza-willaya de Tlemcen", mémoire de magister en forestier, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, soutenu le 15/12/2009.

[10]Quaro B., "Quels sont les enjeux, les contraintes et les limites à l'aménagement des paysages patrimoniaux?", Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage, France 2011-2012.

[11] Boukris F., "Utilisation des espaces dans une aire protégée cas de Parc National de Tlemcen dans une commune montagneuse Ain Fezza-Elément de développement durable-", mémoire d'ingénieur d'état en Foresterie, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen 2005/2006.

[12] Benabdellah M.A., "Essai d'une analyse phyto-écologique des groupements à Thuya et à Chêne Vert dans la partie Sud-Est des Monts de Tlemcen". Thèse de Mag.département de Foresterie Université de Tlemcen,2006-2007

[13] Chikh iO, Kholkhal Dj., "Contribution à l'étude du seuil de nuisibilité de quelques adventices des céréales d'hiver (papaver rhoeas L., VaccariapyramidataMedik., Sinapis alba L., et Raphanusraphanistrum L.) dans la région de Ain Fezza -Tlemcen-)", mémoire d'ingénieur d'état en agronomie , université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen 2005/2006.

[14] Kidari F, Lalem M., "étude des travertins des sources karstiques anciennes et actuelles dans les Monts de Tlemcen", mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen 2000/2001.

[15] Babali B., "Contribution à une étude phytoécologique des monts de Moutas (Tlemcen- Algérie occidentale) : Aspects syntaxonomique, biogéographique et dynamique.", diplôme de Doctorat (L.M.D.) En Ecologie et Environnement,université Abou BekrBelkaid,Tlemcen 2013/2014.

[16] Bensaoula F., "Carte hydrogéologique d'Ouled-Mimoune au 1/50000 et notice explicative (Algérie)",Diplôme de Magister en hydrogéologie université d'Oran, 1992

[17] Bensaoula F., "Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (application aux Monts de Tlemcen-ouest oranais)",thèse de doctorat d'état en hydrogéologie,université de Tlemcen,2006

[18] Bouali N, Medjdoub K., " Contribution à l'étude Bio-écologique de faune Orthoptérologique de la région de Ain Fezza (Tlemcen)", mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen,2003-2004

[19] Naceur M K , "Evaluation des techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol à travers les Monts de la région de Tlemcen", mémoire Magister en agronomie, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen,2010-2011

[20] LemeriniCh , "Etude comparative entre l'Alfa steppique et l'Alfa forostier dans la région de Tlemcen", mémoire Ingénieur d'état en écologie végétal et environnement, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2011-2012

[21] LemeriniCh , "cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines karstiques.cas du bassin versant du meffrouche.", mémoire Master en hydraulique, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2013

[22] DraouS , " Vulnérabilité et risque de Pollution des eaux souterraines de la Plaine de maghnia", mémoire Magister en Ressources en Eau dans leur Environnement, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2013

[23] Dörfliger N et all., "Cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation des périmètres de protection en milieu karstique "Guide méthodologique, (édition: BRGM), Besançon, Janvier 2005

[24] bencherki A, "Réalisation d'une carte de vulnérabilité des nappes Phréatiques de la région de Saida, en Algérie, avec l'aide des Systèmes d'information géographique", Thèse présentée à la faculté des études supérieures et de la Recherche en vue de l'obtention de la maîtrise en études de L'environnement, Université de Moncton, 2008

[25] Dörfliger N. et all., « Cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques en vue de la délimitation des périmètres de protection, Paysages karstiques et activités anthropique », Guide méthodologique, DIREN Franche Comté, (édition: BRGM). 2005.

[26] Fellah H S., « La Cartographie De Vulnérabilité Et Du Risque De Pollution Des Eaux Souterraines Dans Le Groupement Urbain De Tlemcen », mémoire Master en hydraulique, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2011-2012

[27] Agence de l'eau, « Identification Des Ressources Karstiques Majeures Pour l'alimentation En Eau Potable En Vue De Leur Protection Sur Une Partie Du Massif Du Jura, Volume n° 4 : Méthodologie de la cartographie de la vulnérabilité RISK », , Septembre 2013

[28] Albinet M. et Margat J., "Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau Souterraine ", Publ. No. 103, 1975

[29] Amharref m. et Bernoussi a., « Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines », Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007

[30] Sidali R., « Etude de la forêt du domaine El-KHLOUFI, en vue de l'aménagement touristique », mémoire d'ingénieur en Agronomie, institut national agronomique, 1981-1982

[31] Meghelli N., "Restauration du Matorral cas de Parc National de Tlemcen", mémoire d'ingénieur d'état en Foresterie, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen 1997/1998.

[32] Auclair D. et Biehler J., 1967 Etude géologique des hautes plaines Oraïses entre Tlemcen et Saida. Publ.serv.géol.Alg.Bull.34

[33] Zwahlen F. (Ed), 2004 Vulnerability and risk mapping for the protection on carbonate (karst) aquifers-COST 620. European commission, directorate-general XII Science, research and development, Brussels, Luxembourg: 297p.

SITES WEB

(1) <https://jodnette.wordpress.com/2009/05/31/la-grotte-des-faux-monnayeurs-a-mouthier-haute-pierre/>

(2) <http://www.babel-voyages.com/definition/ecotourisme-ou-tourisme-vert>

(3) <http://www.senat.fr>

(4) <http://whc.unesco.org/fr/conventiontexte/>

Annexes

Annexe A

Tableau A 1 : Moyenne mensuelle des précipitations de 1980-2013

Station	Moyenne mensuelle des précipitations de (1980-1981) à (2012-2013)													P moyennes annuelles (mm)
Meffrouche	Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	Av	Ma	Ju	Jt	At	560,93
	P (mm)	19,4	40,75	79,18	71,36	73,62	69,35	80,3	58,42	57,14	10,05	3,37	4,29	

Tableau A 2 : Moyenne mensuelle des précipitations et des températures de 1990-2005

Station	Moyenne mensuelle des précipitations et des températures de (1990-1991) à (2004-2005)													P annuelle (mm) et T moyenne (°C)
Meffrouche	Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	Av	Mi	Jn	Jt	A	560,52
	P mm)	18,95	41,98	79,94	66,15	73,24	66,71	80,28	58,42	57,14	10,05	3,37	4,29	
	T (°C)	19,6	14,5	11	8,2	6,7	8,2	10	10,7	14,8	20	24,4	24,3	

Tableau A 3: Répartition saisonnière des précipitations en mm 1980-2014

Station	Répartitions saisonnière des précipitations en mm (1980-2014)					P moyennes annuelles (mm)
	Mois	A	H	P	E	
Meffrouche	P (mm)	140,87	206,10	195,84	17,72	560,52
	%	25,13	36,77	34,94	3,16	100

Tableau A 4 : Moyennes des minima et maxima de 1990-205

Station	Les moyennes des Minima et Maxima de (1990-1991) à (2004-2005)													Moyenne annuelle (°C)
	S	O	N	D	J	F	Ms	Av	Mi	Jn	Jt	A		
Meffrouche	m(°C)	14.1	9.8	6.5	3.5	2.3	3.1	6	6.1	10.9	14.1	18.3	18.6	
	M(°C)	5.1	9.2	5.5	2.9	1.1	3.3	4	5.3	8.7	5.9	0.5	30	19,29
	(M+m)/2	9.6	4.5	1	.2	.7	.2	0	0.7	4.8	0	4.4	24.3	14,37

Annexe B

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 مديرية الصحة و السكان و اصلاح المستشفيات اولاية تلمسان
 المدير الولائي للتحاليل و المختبرات

Examen bactériologique de l'eau

Demandeur B.M.H. Ain Fezza
 Nature du point d'eau Source
 Lieu de prélèvement Souqua Les grottes Beni Aal
 N° du laboratoire 557 date 15/03/16

Aperçu direct de l'échantillon	Résultat de l'échantillon
Couleur Odeur Autres Observation	Coliformes <u>NPT203</u> E-Coli <u>Absence</u> Salmonelles <u>Absence</u> Clostridium Streptocoque <u>Absence</u> Autres

INTERPRETATION DU RESULTAT DE L'ECHANTILLON

ASPECT BACTERIOLOGIQUE

Eau potable bactériologique	<input checked="" type="checkbox"/>
Eau à surveiller	<input type="checkbox"/>
Eau suspecte à traiter	<input type="checkbox"/>
Eau souillée non potable	<input type="checkbox"/>

Le technicien

Tlemcen 17/03/16

le responsable

مديرية الصحة و السكان و اصلاح المستشفيات اولاية تلمسان
 مدير الولائي للتحاليل و المختبرات

Figure B 1 : Analyse bactériologique de la source d'Ain Souiga

Annexe C

No.	Hazards	Weighting Value	Map Symbols		
			Marker	Line	Shade
1	Infrastructural development				
1.1	Waste Water				
1.1.1	urbanisation (leaking sewer pipes and sewer systems)	35			1
1.1.2	urbanisation without sewer systems	70			1
1.1.3	detached houses without sewer systems	45	1		
1.1.4	septic tank, cesspool, latrine	45	2		
1.1.5	sewer farm and waste water irrigation system	55	3		9
1.1.6	discharge from an inferior treatment plant	35	4		
1.1.7	surface impoundment for urban waste water	60	5		9
1.1.8	runoff from paved surfaces	25	6	1	
1.1.9	waste water discharge into surface water courses	45	7		
1.1.10	waste water injection well	85	8		
1.2	Municipal Waste				
1.2.1	garbage dump, rubbish bin, litter bin	40	9		8
1.2.2	waste loading station and scrap yard	40	10		8
1.2.3	sanitary landfill	50	11		8
1.2.4	spoils and building rubble depository	35	12		8
1.2.5	sludge from treatment plants	35	13		
1.3	Fuels				
1.3.1	storage tank, above ground	50	14		
1.3.2	storage tank, underground	55	15		
1.3.3	drum stock pile	50	16		
1.3.4	tank yard	50	17		11
1.3.5	fuel loading station	60	18		
1.3.6	gasoline station	60	19		
1.3.7	fuel storage cavern	65	20		
1.4	Transport and traffic				
1.4.1	road, unsecured	40		2	
1.4.2	road tunnel, unsecured	40	21		
1.4.3	road haulier depot	35	22		11
1.4.4	car parking area	35	23		11
1.4.5	railway line	30		3	
1.4.6	railway tunnel, unsecured	30	24		
1.4.7	railway station	35	25		
1.4.8	marshalling yard	40	26		
1.4.9	runway	35	27	2	
1.4.10	pipeline of hazardous liquids	60		4	
1.5	Recreational facilities				
1.5.1	tourist urbanisation	30	28		2
1.5.2	camp ground	30	29		2
1.5.3	open sport stadium	25	30		3
1.5.4	golf course	35	31		3
1.5.5	skiing course	25	32		3
1.6	Diverse hazards				
1.6.1	graveyard	25	33		10
1.6.2	animal burial	35	34		10
1.6.3	dry cleaning premises	35	35		
1.6.4	transformer station	30	36		
1.6.5	military installations and dereliction	35	37		13
2	Industrial activities				
2.1	Mining (in operation and abandoned)				
2.1.1	mine, salt	60	38		7
2.1.2	mine, other non-metallic	70	39		7
2.1.3	mine, ore	70	40		7
2.1.4	mine, coal	70	41		7
2.1.5	mine, uranium	80	42		7
2.1.6	outdoor stock piles of hazardous raw material	85	43		6
2.1.7	ore milling and enrichment facilities	70	44		
2.1.8	mine waste heap and dirt refuse	70	45		6
2.1.9	ore tailings	70	46		6
2.1.10	mine drainage	65	47	5	
2.1.11	tailing pond	65	48		6
2.2	Excavation sites				
2.2.1	Excavation and embankment for development	10	49		
2.2.2	gravel and sand pit	30	50		12
2.2.3	quarry	25	51		12

No.	Hazards	Weighting Value	Map Symbols		
			Markersymbol-Number	Linesymbol-Number	Shadesymbol-Number
2.3	Oil and gas exploitation				
2.3.1	production wells	40	52		
2.3.2	reinjection wells	70	53		
2.3.3	loading station	55	54		
2.3.4	oil pipeline	55		4	
2.4	Industrial plants (none mining)				
2.4.1	smelter	40	55		4
2.4.2	iron and steel works	40	56		4
2.4.3	metal processing and finishing industry	50	57		4
2.4.4	electroplating works	55	58		4
2.4.5	oil refinery	85	59		4
2.4.6	chemical factory	65	60		4
2.4.7	rubber and tyre industry	40	61		4
2.4.8	paper and pulp manufacture	40	62		4
2.4.9	leather tannery	70	63		4
2.4.10	food industry	45	64		4
2.5	Power plants				
2.5.1	gasworks	60	65		4
2.5.2	caloric power plants	50	66		4
2.5.3	nuclear power plant	65	67		4
2.6	Industrial storage				
2.6.1	stock piles of raw materials and chemicals	60	68		
2.6.2	containers for hazardous substances	70	69		
2.6.3	cinder tip and slag heaps	70	70		5
2.6.4	non hazardous waste site	45	71		5
2.6.5	hazardous waste site	90	72		5
2.6.6	nuclear waste site	100	73		5
2.7	Diverting and treatment of waste water				
2.7.1	waste water pipelines	65		5	
2.7.2	surface impoundment for industrial waste water	65	74		9
2.7.3	discharge of treatment plants	40	75		
2.7.4	waste water injection well	85	76		
3	Livestock and Agriculture				
3.1	Livestock				
3.1.1	animal barn (shed, cote, sty)	30	77		
3.1.2	feedlot	30	78		
3.1.3	factory farm	30	79		
3.1.4	manure heap	45	80		
3.1.5	slurry storage tank or pool	45	81		
3.1.6	area of intensive pasturing	25			14
3.2	Agriculture				
3.2.1	open silage (field)	25	82		
3.2.2	closed silage	20	83		
3.2.3	stockpiles of fertilisers and pesticides	40	84		
3.2.4	intensive agriculture area (with high demand of fertilisers and pesticides)	30	85		14

Figure C 1: Les valeurs de poids d'aléas (extrait du Cost 620).