

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université d'Oran 2 : Mohammed ben Ahmed
Faculté de sciences de la terre et l'univers
Département de géographie et Aménagement du territoire



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Gestion des risques majeurs et sécurité civile

Thème :

**Modélisation de la vulnérabilité aux maladies à
transmission hydrique dans la ville de Tiaret
(approche par SIG)**

Présenté par :

Djellikh Belkacem

Fathallah Abdelkader

Devant la commission d'examen composé de :

Président de jury : Belmahi Nadhir (MC-A)

Encadreur : Boutrid Med lamine (MC-B)

Examineur : Bendib Abdelhalim (MC-B)

Année universitaire : 2020 – 2021

Sommaire

Introduction générale.....	2
Chapitre I	
Milieu physique et condition socio-économique de la wilaya de Tiaret	
I.1 Milieu Physique.....	4
I.1.1- Présentation de la zone d'étude.....	4
I.2- CADRE GEOLOGIQUE.....	5
I.2.1 - Description litho stratigraphique.....	5
I.2.2 - Le Jurassique.....	5
I.2.3- Le Jurassique moyen	5
I.2.4- Le Jurassique supérieur.....	5
I.3-Le Crétacé.....	6
I.3.1-Crétacé inférieur.....	6
I.3.2-Crétacé supérieur.....	6
I.4-LA TOPOGRAPHIE.....	9
I.4.1-Le Relief.....	11
I.4.2-Sol Et Végétation	13
I.4.3-Hydrographie.....	13
I.4.3.1-Les eaux souterraines.....	13
I.4.3.2- Les eaux superficielles.....	13
I.5-Cadre climatique	16
I.5.1-Les données pluviométriques	16
I.5.2-Les données thermiques	19
I.5.3- Les données synthétiques.....	22
I.5.3.1- Quotidien pluviométrique d'Emberger.....	22
I.5.3.2- L'indice de continentalité thermique "k" de JOHANSON	23
I.5.3.3- Indice d'aridité	23
I.5.4- L'indice annuel de DEMARTONNE.....	23

I.5.4.1-Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN.....	23
I.6- Les phénomènes secondaires	24
I.6.1- Les vents	24
I.6.2- La neige.....	25
I.6.3- L'humidité atmosphérique.....	25
I.6.4- Les gelées.....	25
I.7-Conditions socio-économiques de la région.....	26
I.7.1- Infrastructure De Base.....	28
I.7.2- Le réseau routier.....	28
I.8- Réseau d'assainissement et le réseau d'Aep.....	31
I.8.1- Réseau d'assainissement.....	31
I.8.2- Réseau d'aep (Adduction en eau potable).....	31
I.7.3-L'agriculture.....	33
I.7.4-Industrie.....	34
I.7.5- Conclusion.....	35
 Chapitre II	
SIG et analyse multicritère	
II-Cartographie décisionnelle Multicritère.....	37
II.1- Introduction.....	37
II.2- Système d'information géographique et analyse spatiale.....	39
II.3- Capacités analytiques des SIG.....	39
II.4- Modélisation de Données.....	41
II.4.1- Introduction.....	41
II.4.1.1- Modèles conceptuels de données.....	42
II.4.2- Concepts de modélisation.....	42
II.4.2.1- Processus de conception d'une BD.....	43
II.4.2.2- Modélisation conceptuelle de données spatiales et MCD Spatiaux.....	43
II.4.3- Concepts de modélisation spatiale.....	43
II.4.3.1-TAD spatiaux.....	43

II.4.3.2- Relations topologiques.....	44
II.4.3.3- Agrégation.....	45
II.4.4- Pourquoi utiliser les MCD spatiaux et les concepts qu'ils proposent ?.....	46
II.5- MCD spatiaux (MADS, Perceptory).....	46
II.5.1- Perceptory.....	47
II.5.1.1- MADS.....	47
II.5.2- SGBD et géographie.....	47
II.5.2.1- Les BD spatiales.....	48
II.5.2.2- Définition d'un SGBD spatial.....	48
II.5.3- Méta-données géographiques.....	49
II.5.3.1- Les particularités de la modélisation de BD Géographique.....	50
II.5.3.2- SGBD, SIG.....	51
II.6- Aide à la décision multicritère.....	51
II.6.1- Concept de la décision.....	52
II.6.1.1- L'aide à la décision.....	52
II.6.2- Définition de l'aide à la décision.....	53
II.6.2.1- Formulation d'un problème multicritère.....	53
II.6.3- Analyse multicritère et aide à la décision spatiale.....	54
II.6.3.1- Méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision.....	55
II.6.3.2- AHP (Analytic Hierarchy Process).....	56

Chapitre III

Les maladies a transmissions hydrique (MTH)

III.1-Introduction.....	64
III.2- Les maladies transmissibles.....	64
III.2.1- Définition de maladies transmissible.....	64
III.2.2- Définition de maladies infectieuse.....	64
III.3- La typologie des maladies transmissible MT.....	64
III.4- L'eau et les maladies.....	65
III.4.1- Clarification des concepts.....	65
III.4.2- Ressources en eau.....	65

III.4.2.1- Définition de l'eau.....	65
III.4.2.2- L'Eau potable.....	66
III.4.3- Accès à l'eau potable.....	66
III.4.3.1- Définition des eaux usées.....	66
III.4.3.2- Pollution des eaux Selon l'OMS.....	66
III.4.3.3- Environnement.....	67
III.4.4- Assainissement.....	67
III.4.4.1- Hygiène publique.....	67
III.4.4.2- Santé.....	67
III.5- Les maladies à transmission hydrique.....	68
III.5.1- Définition des maladies hydrique MTH.....	68
III.5.1.1- Classification des maladies d'origine hydrique.....	68
III.5.2- Les principales maladies à transmission hydrique.....	68
III.5.2.1- La fièvre typhoïde.....	69
III.5.2.2- Le Choléra.....	70
III.5.3- Hépatites virales A et E.....	71
III.5.3.1-Dysenteries.....	72
III.6- Qui est John Snow, ce héros, père de l'épidémiologie ?.....	73
III.6.1- Comment l'épidémiologie est née et qui a été son « inventeur » ?.....	73
III.6.2- Qui est John Snow ?.....	73
III.6.2.1- Les épidémies de choléra.....	74
III.6.2.2- La première cartographie épidémiologique.....	75
III.7- Le risque MTH dans la ville de Tiaret.....	80
III.7.1- Les facteurs de vulnérabilité liés aux maladies à transmission hydrique (MTH).....	80
III.7.2- Méthode d'application de l'analyse.....	81
III.7.3- Schéma d'application de la méthode de travail.....	90
III.8- Conclusion.....	94
Références bibliographiques	95

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	situation géographique de la ville de Tiaret	4
2	La carte géologique de la wilaya de Tiaret	8
3	la carte hypsométrique de Tiaret	10
4	la carte des pentes de Tiaret	12
5	Le réseau hydrographique de Tiaret	15
6	la pluviométrie de Tiaret	18
7	température maximale de Tiaret	21
8	Diagramme ombrothermique (région de Tiaret)	24
9	L'évolution du tissu urbain (la commune de Tiaret)	27
10	Le réseau routier de la Wilaya de Tiaret	30
11	réseau d'assainissement et d'aep de la wilaya de Tiaret	32
12	Hierarchie des types abstraits de données spatiaux du modèle MADS	44
13	Pictogrammes des relations topologiques (modèle MADS)	45
14	Exemple de schéma MADS	46
15	Exemple du schéma des BD spatiales	48
16	schéma de modélisation de BD géographique	50
17	organigramme de la méthode AHP	57
18	organigramme de la 1ère étape de la méthode AHP (structure hiérarchique)	58
19	Exemple d'une matrice de comparaison par paire	59
20	Les indices de cohérence aléatoire	60

Figure	Titre	Page
21	John Snow	74
22	notice de prévention contre le choléra, Londres 1954	75
23	La première cartographie épidémiologique réalisée par John Snow (1854)	76
24	La carte épidémiologique	77
25	La ville de Londres	77
26	Résultat de superposition	77
27	représentation ponctuelle des décès	78
28	représentation ponctuelle des pompes à eau	78
29	Modélisation de la vulnérabilité (symbologie du hot spot "heat map")	79
30	Cross-connexion en forme raster	82
31	Type d'assainissement en forme raster	82
32	Le diamètre d'assainissement en forme raster	83
33	La longueur d'assainissement en forme raster	83
34	Les matériaux d'AEP en forme raster	84
35	La longueur d'AEP en forme raster	84
36	Le diamètre d'AEP en forme raster	85
37	La densité de population en forme raster	85
38	sous AHP pour l'assainissement	86
39	raster principale d'assainissement	87
40	sous AHP pour l'AEP	87
41	raster principale d'AEP	88
42	Calcul des poids et du RC	88

Figure	Titre	Page
43	La carte de vulnérabilité	89
44	carte de vulnérabilité aux MTH (la ville de Tiaret)	92
45	carte des secteurs touchés par les MTH dans la ville de Tiaret (2009-2020)	93

Liste des Tableaux :

Tableau	Titre	Page
1	les précipitations mensuelles de la région de Tiaret (98/09)	17
2	Températures mensuelles moyennes (98/09)	19
3	températures moyennes mensuelles des maximal et minimal de la région de Tiaret (2009)	20
4	Différents étages bioclimatiques (Emberger)	23
5	Répartition Générale des terres	33
6	les principaux éléments dans un SIG et l'AMC	38
7	Méta-données géographiques	49
8	Echelle de Saaty	56
9	Les ratios de cohérence acceptable	60

Dédicaces

Nous dédions ce petit travail :

A nos très chers parents qui nous soutenus et aidés profondément à réaliser ce travail.

A nos chers frères et sœurs.

A tous nos amis.

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement notre directeur de recherche, Boutrid Mohamed Amine pour son encadrement, et Pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils.

Un merci chaleureux pour nos chers parents pour leurs aide, leurs confiance ainsi leurs soutiens.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier les amis et collègues qui nous ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de la démarche, et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Contexte de l'étude :

Les Risques sanitaires et le développement durable occupent aujourd'hui une part prédominante dans les discours et les champs d'action des politiques publiques. La caractérisation et la gestion du croisement d'un aléa et d'enjeux socio-économiques assortis d'une certaine vulnérabilité d'une part, et la prise en compte du devenir environnemental, économique et social d'un territoire d'autre part.

Parmi les risques sanitaires mondiaux on va étudier le risque des maladies à transmission hydrique.

L'eau est la vie pour l'homme, c'est un besoin presque aussi indispensable que celui de l'air qu'on respire. Il est également indispensable pour obtenir ou maintenir l'hygiène individuelle, l'hygiène de l'habitat, la propreté des villes et lieux publics, mais en parallèle il est aussi un véhicule de transmission des maladies, la transmission de nombreux agents pathogènes : bactéries, virus, protozoaires, vers intestinaux.

Et parmi les infections à transmission hydrique que l'on retrouve en Algérie, on peut citer : la fièvre typhoïde, le choléra, les hépatites infectieuses, les dysenteries...etc. Il est clair que les changements climatiques ainsi que le mode de gestion de l'eau est en étroite relation avec l'ampleur des maladies à transmission hydrique.

En Algérie, la protection et la prévention des ressources hydriques est évalué aux premières alertes de pénurie en eau. En effet, La persistance de ces maladies est liée de nos jours à de nombreux facteurs du sous-développement dans la plupart des villes du pays, Forte poussée démographique en milieu urbain ,Détermination de l'hygiène de l'habitat, Inefficacité des services d'entretien des réseaux de distribution d'eau, Une diminution de l'accès à l'eau saine en qualité suffisante. Mauvaise qualité de l'assainissement, Détérioration de l'environnement, Coupures d'eau...etc

Objectif et Problématique :

Les maladies à transmission hydrique ont des conséquences sociales, économiques ainsi que le coût financier évalué à des milliards de dinars en cas d'épidémie, soit l'équivalent de l'ensemble des plans communaux ajouté à cela l'impact social à savoir : Journées de travail perdues, Absentéismes scolaires,

Introduction générale

Décès, Infirmités neurologique...etc. Et dans notre cas, on va spécifier et analyser la partie 'TRANSMISSION' par l'étude de la qualité et le mode de transport de l'eau potable tel que l'évacuation des eaux usées dans le milieu urbain de la ville de TIARET.

Notre travail consiste :

D'une part : l'étude de la vulnérabilité aux maladies à transmissions hydrique dans la ville de Tiaret à l'aide des SIG commençant par l'analyse du milieu physique de la zone d'étude, les conditions socio-économiques, l'infrastructures de base et les différents réseaux (réseau d'assainissement, réseau d'alimentation en eau potable).

D'autre part : de comprendre et connaître les obstacles physiques, naturels, socio-économiques ...etc.et d'évaluer la vulnérabilité du milieu urbain par rapport au démographie et la distribution des réseaux (assainissement et alimentation en eau potable) de la ville de Tiaret et de faire connaître les éléments amplificateurs en cas de déclenchement de risque des maladies à transmissions hydrique et d'illustrer les points chauds et comment gérer la situation de crise à l'aide des SIG et de la cartographie décisionnelle multicritère .

**Chapitre I : Milieu
physique et condition
socio-économique de la
ville de Tiaret**

I.1 Milieu Physique

I.1.1- Présentation de la zone d'étude :

La région de Tiaret est située dans la partie Nord-Ouest du pays. Se trouvant à plus de 300 kilomètres au sud-ouest de la capitale elle apparaît comme étant un centre de liaison entre plusieurs wilayas et constitue un relais entre les régions du Nord -Ouest et celles du sud. Toutefois, sur le plan administratif elle reste délimitée par plusieurs wilayat à savoir Tissemsilt et Relizane au Nord ; Laghouat et El -Bayadh au Sud, Mascara et Saida à l'Ouest et Djelfa à l'Est. Elle compte 851 426 habitants sur une superficie de 13 480 km². La densité de population de la Wilaya de Tiaret est donc de 63,2 habitants par km².

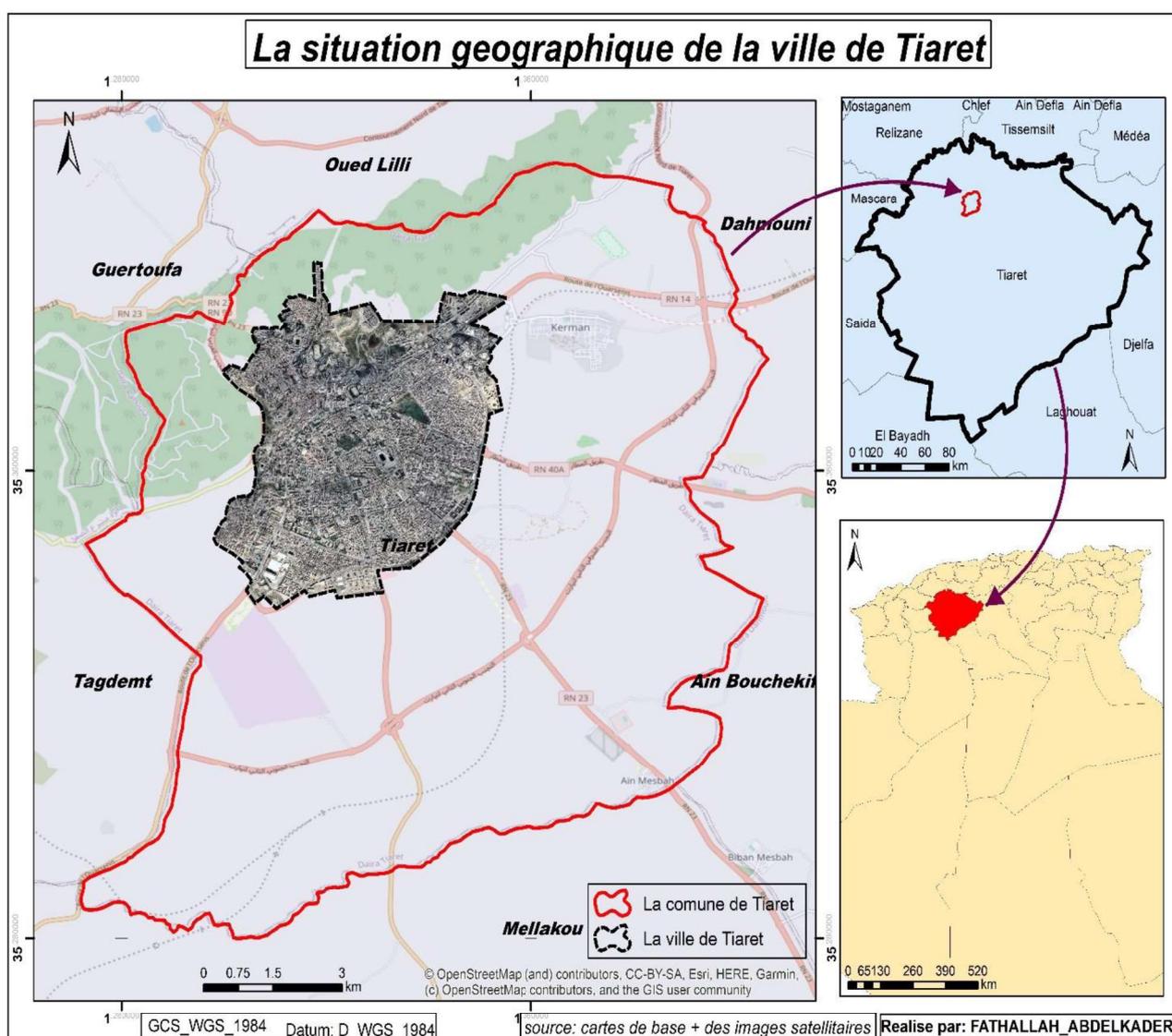


Figure 1 : situation géographique de la ville de Tiaret

I.2- Cadre géologique

I.2.1 - Description litho stratigraphique

I.2.2 - Le jurassique :

Le Jurassique de la région est représenté par :

Le jurassique inférieur :

Le lias :

Dont nous pouvons reconnaître du bas en haut les séries stratigraphiques suivantes :

- **Le lias inférieur** : Représenté par des dolomies cristallins et calcaires à grains fins plus ou moins dolomitiques.
- **Le lias moyen et supérieur** : dont on peut reconnaître :
 - **Domerien** : représenté par des calcaires marneux
 - **Toarcien** : représenté par des marnes schisteuses
 - **Aalénien** : représenté par des calcaires sublitographiques à grains fins.

I.2.3- Le jurassique moyen :

Il est représenté par le Bajocien et probablement par le Bathonien, il est constitué par une série de grès quartzeux roux ou blanc très peu fossilifères et dont l'épaisseur atteint une certaine de mètres.

I.2.4- Le jurassique supérieur :

Il est représenté à la base par des marnes schisteuses noirâtres et grises, peryteuses où s'intercalent quelques horizons marno-calcaires gris foncés.

- La partie moyenne est composée de marne et de marno-calcaires, la coupe de bas en haut :

1- Marne grise verdâtre à petites plaquettes de calcaires bruns (17m).

2- Marne grise à plaquettes de calcaires détritiques (3m).

3- Calcaire marneux plus ou moins dolomitiques, petits bancs 7 à 8m au sommet, un banc de 50cm.

- Au sommet apparaissent les dolomies cristallines (200à 250m) souvent du massif kimméridgien.

I.3-Le crétacé

I.3.1-Crétacé inférieur :

La coupe lithologique montre une succession de formation marno-calcaires épaisse de 200m datée du Berriasien-Valanginien, d'un ensemble Valanginien-Albien essentiellement gréseux qui se compose de 3 groupes :

1- Groupe gréseux inférieur (Valanginien-Barrisien) constitué à la base par calcaires et dolomies, au sommet par des grés.

2- Groupe greso-carbonate moyen (Albien), marqué par la présence au sein d'une partie détritique de plusieurs horizons calcaires et marno-calcaires.

3- Groupe gréseux supérieur (Albien), constitué par des grés inférieur (60m) y des argiles gréseux (10m) surmontées par des grés supérieurs (40m).

I.3.2-Crétacé supérieur :

Cénomaniens :

Le Cénomaniens affleure au niveau de Talmaia est formé de marne d'argilithique calcaires tendres de grés et d'un conglomérat à la base. Il présente une épaisseur de 40m et comprend de la base au sommet :

- Marnes compacts plus ou moins schisteuses de 15 à 25m.
- Marnes calcaires de 2.5m
- Marnes plus ou moins schisteuses de 4m.
- Calcaire avec quelques passées marneuses de 2,5 m.
- Marno-calcaire à intercalation marneuse de 2.5m.

Turonien :

Il présente par des dolomies gréseuses et des calcaires, le Turonien repose en concordance sur les terrains d'âge cénomaniens est effleure essentiellement dans la partie sud-est.

Sénonien :

Largement représenté au sud de notre secteur d'étude, le sénonien a un faciès très varié. Il comprend des calcaires des argiles gypseuses, des grés et des conglomérats de bases.

Le miocène :

Transgressif sur le crétacé supérieur forme la structure actuelle de la région qui est très simple et assez régulière. C'est une superposition de bancs de grès tendres miocène, surmontant en concordance une assise argileuse de la même formation.

Le quaternaire :

Il peut atteindre une épaisseur de l'ordre de 40m. C'est une formation fluviolacustre très hétérogène constituée de marnes crayeuses plus ou moins sableuses et argileuses couvert parfois de lits de sables et de galet. Elle renferme des encroutements calcaires, parfois elle simplement constituée de calcaire tendre et fissuré par endroit. La série renferme également des éléments détritiques qui pourraient prévenir du démantèlement des reliefs (Polveche, 1960).

La carte qui ce suite représente la carte géologique de la ville de Tiaret (Figure 2)

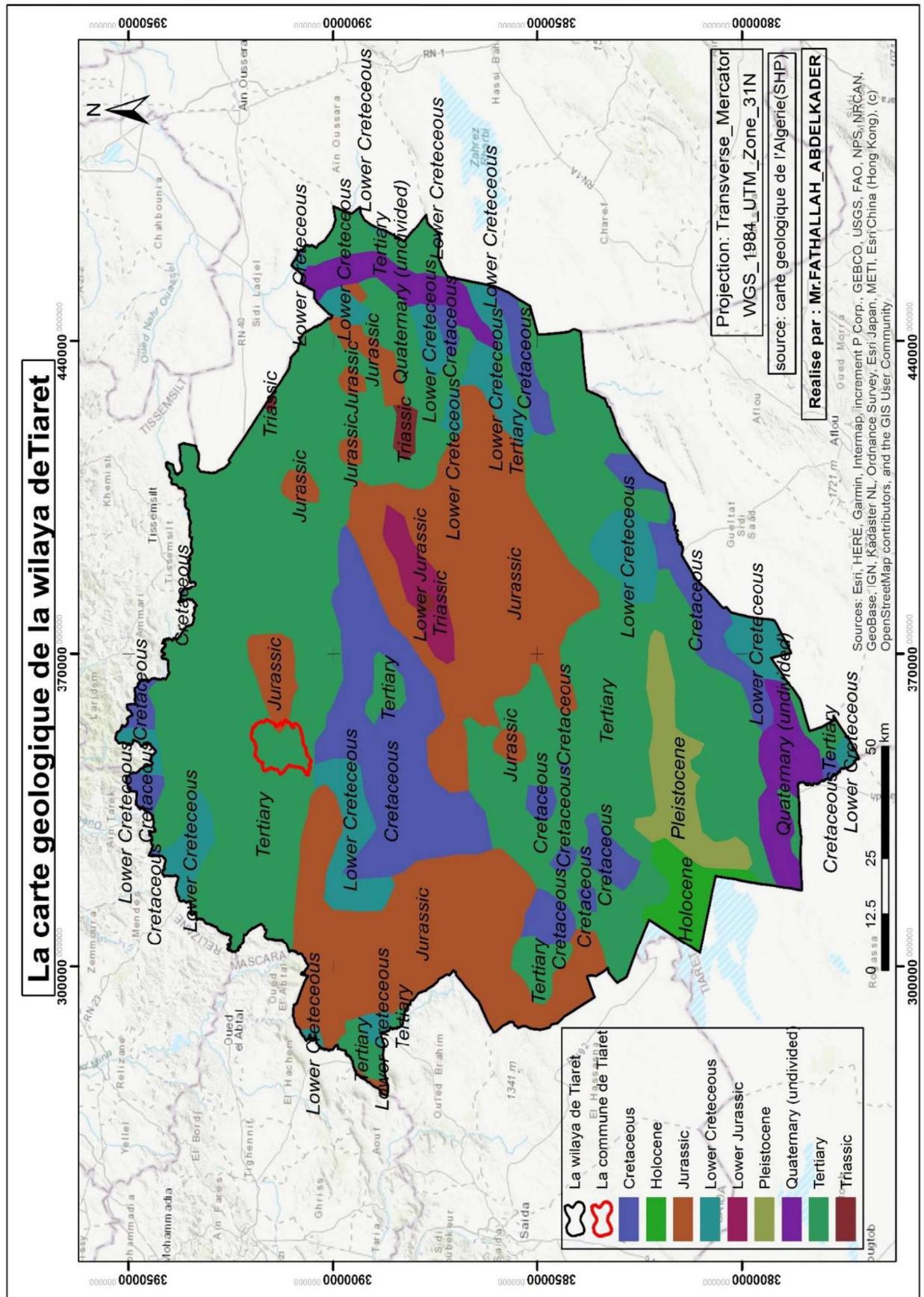


Figure 2 : La carte géologique de la wilaya de Tiaret

I.4-La topographie

La région de Tiaret présente une diversité d'unités naturelles qui caractérisent les deux grands ensembles morphologiques :

L'Atlas tellien et les hautes plaines. Du Nord au Sud, nous distinguons

* Une chaîne de piémonts constituant le versant méridional de l'Ouarsenis (Dj.Bechtout, Dj Si maârout, Dj. Mahmoud, Dj .Guédéle, a orientation Est-Ouest fortement érodée.

* Un domaine tabulaire vaste, s'étendant au pied de l'Ouarsenis où prédomine des formes planes emboîtées entre 800 et 1000m ; appelé communément le plateau du Sersou.

* Les monts de Frenda, un ensemble montagneux d'altitude moyenne 1200m qui prolonge localement les monts de Saïda, au relief modéré et localement boisé.

* Le haut plateau, constituant lui-même une vaste plaine regroupant la cuvette du Chott chergui à l'Ouest et le chaînon du Nador (Dj.Nador, Dj .N'sour, Dj. Es sefah, Dj.Chemer, Ras Sidi atallah)

La représentation cartographique suivante montre les différentes classes d'altitudes dans la wilaya de Tiaret (Figure 3)

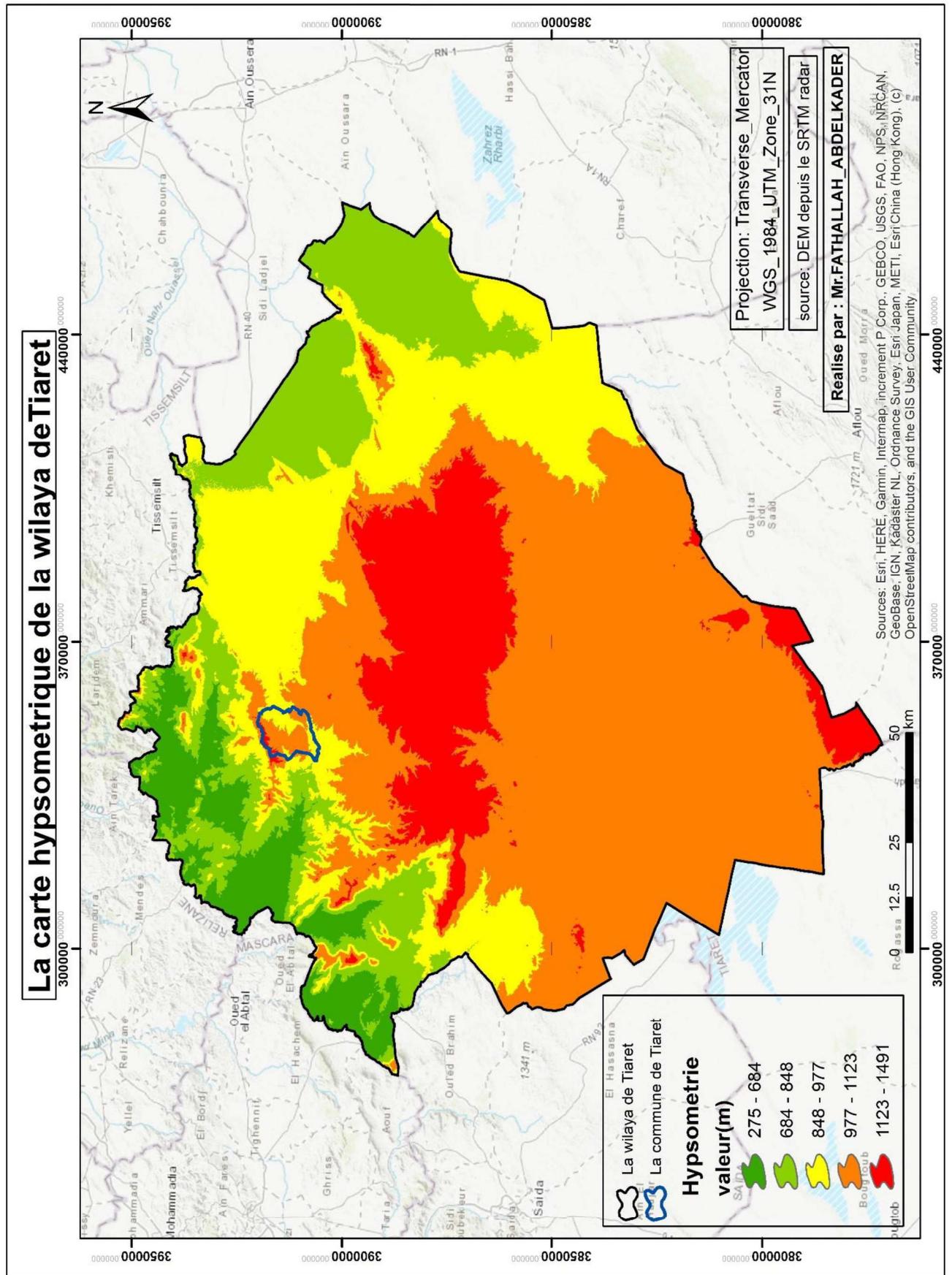


Figure 3 : la carte hypsométrique de Tiaret

I.4.1-Le relief :

Il s'atténue du Nord au Sud de la commune, le un tiers des surfaces est représenté par des pentes supérieures à 25 %, taux énorme pour un espace très limité. Le reste est constitué par de faibles pentes en inclinaison vers le Sud Est

La ville de Tiaret est représentée par trois types de pentes

La zone 1 : dont la pente varie entre 60 et 25% est forestière principale source d'apport de sol en cas de crue, Le sol est très friable constitué de sable ou d'argile sablonneuse, le couvert végétal est très mal entretenue favorisant d'apparition de zone d'alfa précurseurs d'avancé du désert, la réalisation et l'entretien de coupe-feu et calibrage de courant d'eau n'est pas effectué malgré l'importance que révèle cette partie pour la protection de la ville en elle-même

La zone 2 : représentant l'ancien tissu urbain en majorité, possède des pentes variant entre 7 et 5% avec des maximum parfois de 15%, cette zone est complètement urbanisée avec très peu de couvert végétal, favorisant l'écoulement rapide de la totalité des eaux pluviales ,ce qui entraine un une possibilité d'effondrement des bâtisses (vétusté de habitat)

La zone 3 : représente l'extension de la ville après l'Indépendance, les pentes varient de 5 à 1 %, avec des zones inondable par endroit, cette partie est urbanisée à 70 % l'écoulement rejoint en majorité Nahr OUSSEL.

Voire figure 4 .

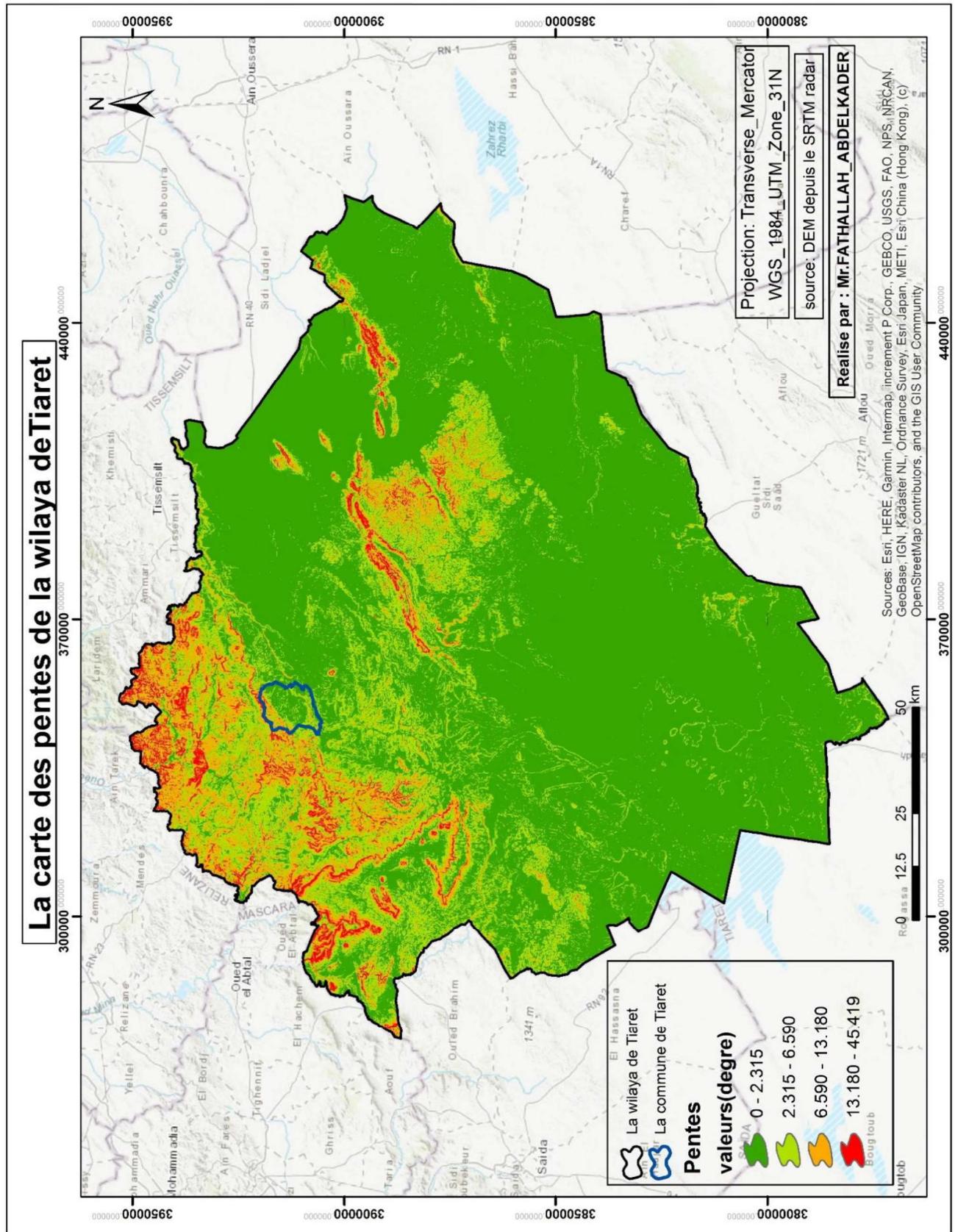


Figure 4 : la carte des pentes de Tiaret

I.4.2-Sol et végétation :

Au Nord de la commune (massif du Guezoul), les sols sont très peu évolués et de faible profondeur, les terres de moindre importance sont constituées essentiellement d'éléments grossiers (conglomérats, graviers), avec des affleurements d'épaisses croûtes calcaire-gréseuses.

Au Sud, les terrains s'étendent sur des alluvions anciennes formées d'éléments plus fins (argiles, limons, sable) qui constituent des sols relativement bons à structure équilibrée.

Ces différentes caractéristiques morphologiques et topographiques expliquent la diversité dans l'utilisation et l'occupation du sol. Quant au couvert végétal, il s'identifie à la nature et la lithologie des sols. Le paysage naturel se caractérise par une forte dégradation due à une surexploitation et à un défrichement intense. Par son aspect discontinu et clairsemé, la végétation apparaît être utile à la protection des sols contre l'érosion.

I.4.3-Hydrographie

I.4.3.1-Les eaux souterraines :

Elles demeurent inconnues. Les puisages excessifs et la faible pluviométrie ont engendrés la diminution des ressources estimées à environ 64 Km³.

La structure géologique de la région ne permet pas la constitution de nappes aquifères. Les formations gêneuses du miocène recèlent de petits niveaux aquifères perchés alimentés exclusivement par les précipitations et dont les émergences se trouvent au pied du Mont de Guezoul (Ain Djenan, Ain Kerma,...)

Malgré ces apports, il se trouve que des petites nappes individualisées à leur structure (pendage, glissement) séparées par des argiles, sont aléatoires et se manifestent par des puits (10 à 15 mètres).

I.4.3.2- Les eaux superficielles :

Le réseau hydrographique dans la commune est dense. Il est à caractère endoréique, les cours d'eau présentent un écoulement superficiel très irrégulier en fonction de la pluviométrie. Ces petits cours d'eau parallèles drainent la zone vers deux axes principaux : Nahr -Ouassel à l'Est et Oued Mina à l'ouest.

L'effet géomorphologique des eaux fait apparaître de larges vallées dans les argiles et les marnes cénomaniennes. On note qu'au niveau des terres où la

couverture de grès et de calcaire tertiaire persiste, de nombreuses sources surgissent.

On peut voir le réseau hydrographique de la wilaya de Tiaret par la représentation cartographique suivante (Figure 5) :

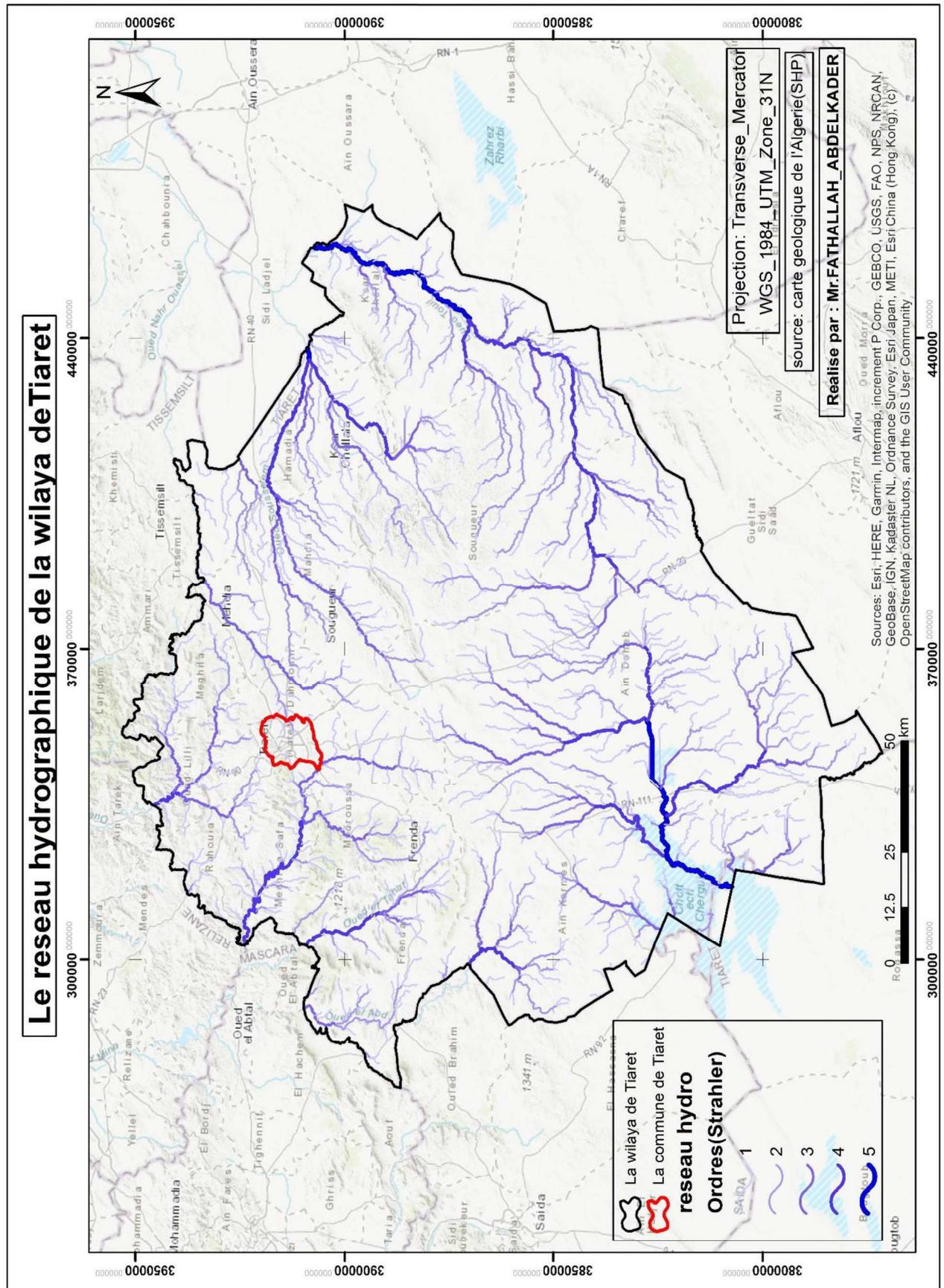


Figure 5 : Le réseau hydrographique de Tiaret

I.5-Cadre climatique :

Le climat de la région est caractérisé par deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévit durant l'année à savoir :

- Un hiver froid relativement humide, des chutes de neige, la température moyenne enregistrée est de 7,2 ° C.
- Un été chaud et sec avec une température moyenne de 29 ° C.

Les principales caractéristiques climatiques de la région sont liées à l'influence du relief, de l'altitude et de l'exposition. Ce climat est caractérisé essentiellement par une saison moyennement pluvieuse de Septembre à Mai et une saison chaude de Mai à Septembre.

Le sud de la wilaya influencé par les conditions sahariennes à de fortes contraintes pour le développement de l'agriculture qui se caractérise par :

Une faible pluviométrie (<300 mm / an), des températures excessives (32 ° à 36 °), une fréquence de sirocco, de fortes gelées.

Ces dernières décennies, la wilaya a connu dans son ensemble une sécheresse très persistante dans la mesure où les précipitations enregistrées sont très en deçà de la moyenne.

I.5.1-Les données pluviométriques :

Les précipitations caractérisent la balance climatique d'une région, par leur intensité, leur fréquence et leur irrégularité. Les pluies ont une influence importante sur le modèle de la région (Damagnez, 1975).

Le tableau suivant donne les moyennes mensuelles de la pluviométrie pour la région de Tiaret (période 1998-2009).

Tableau 1 : les précipitations mensuelles de la région de Tiaret (98/09)

Mois Année	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Juin.	Jui.	Aou t.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1998	25.3	29.2	17.2	50.4	65.9	1.5	0	3.9	12.4	7.7	8.8	29.8
1999	58.5	22.1	67	0	11.5	0.5	0.3	13.8	31.9	55.7	25.3	79.2
2000	0.5	0	3.9	22.4	22	0	0.6	2.1	17.5	22.4	61.6	53.2
2001	96.3	33.2	5.1	34	12.4	0.1	0.1	5.6	46.5	19.6	24.9	34.8
2002	5.6	14.8	17.9	39.3	49.5	8.1	0.7	29.5	0.5	16.2	60.4	28.3
2003	56.7	59.7	6.3	50	12.6	22	2.1	26.4	24	85.2	68	69.9
2004	11.7	38.9	17.3	39.1	66.6	19	5.8	10.5	34	35.8	17.5	64.6
2005	16.4	29.4	41.2	7.1	1.6	18	5.4	0	25.6	49.4	54.5	23.3
2006	39.63	74.4	16.7	41.1	76.9	3.5	4.07	7.62	213.1	11.94	6.61	39.12
2007	19.06	43.18	28.2	101	16	0.5	5.33	8.12	23.63	122.17	37.33	5.84
2008	18.55	20.82	24.4	16.7	60.4	15	1.02	1.78	31.74	66.81	56.38	68.08
2009	99.05	29.2	78.8	80.2	22.2	6.1	1.02	5.08	-	-	-	-

A.N.R.H 2009

D'après le tableau on peut ressortir les données suivantes :

- La moyenne annuelle des précipitations sur période de dix ans (1998/2008) est de 349,5 mm.

- La somme de précipitation enregistrée pour cette année (2008-2009) est de 544.44mm

Voire figure 6

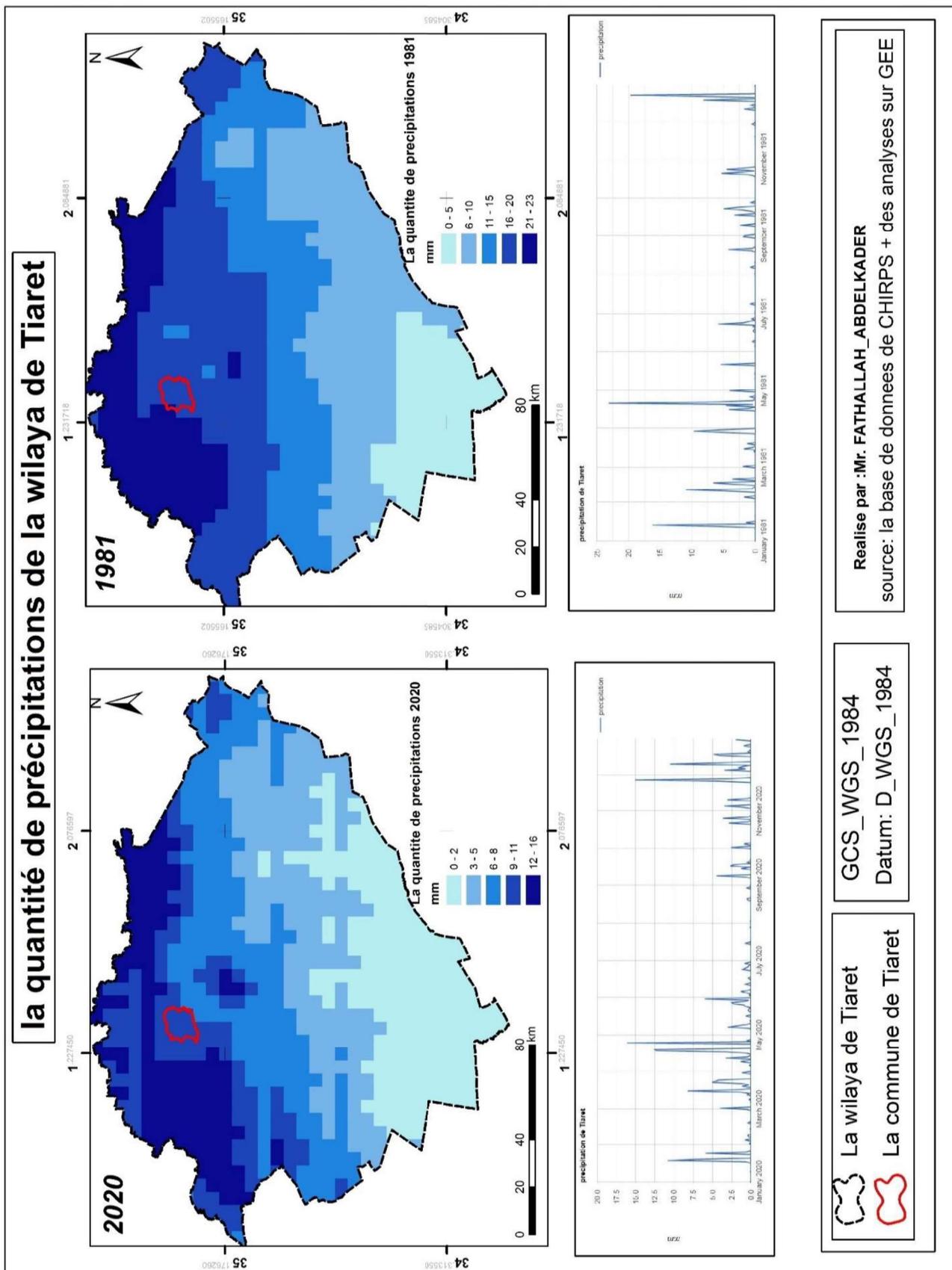


Figure 6 : la pluviométrie de Tiaret

I.5.2-Les données thermiques

Le régime des températures est fortement influencé par l'altitude.

Celle-ci renforce les gelées en hiver mais adoucit les températures en été (Couderc, 1973). Les moyennes mensuelles de la température sont rassemblées dans le tableau ci-dessous

Tableau 2 : Températures mensuelles moyennes (98/09).

Mois / Année	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1997	7.9	9.1	9.5	12.5	16.4	21.9	24.7	24.3	21.1	16.3	10.6	8
1998	7	8.5	9.2	11.6	14.5	22.9	26.3	25.8	22.7	14.1	10.4	5.8
1999	6.6	5.2	9.9	12.5	20.1	23.3	26.1	28.1	22.7	18.1	8.6	6.5
2000	4.6	7.9	10.6	13	19.2	22.9	27.2	26.4	21.3	14.3	10.9	9
2001	7	7.1	13.1	11.8	15.3	24	26.4	26.8	20.4	20.1	9.5	6.2
2002	6.5	8.1	10.4	11.8	16.8	24.5	25	24	21.1	17.3	11	8.9
2003	5.7	6	10.6	11.9	16.4	25.2	28.5	26.8	21.2	17.1	10.8	6.6
2004	6.9	8.6	9.7	11.1	13	22	25.9	26.7	21.9	18.6	9.1	6.2
2005	3.8	3.3	10.4	12.7	20.3	23	27.5	25.1	20.4	17.5	9.8	6.1
2006	4	5.3	9.9	15	19.4	24	27.4	25	21.2	18.7	12.3	6.9
2007	6.6	8.8	7.9	11.2	16.1	22	27	26.8	22.1	15	8.9	5.8
2008	5.6	8.5	9.2	13.4	16.1	22.2	27.6	27.1	21.5	15.3	7.8	5
2009	5.5	6	9.9	9.4	17.9	23.9	28.7	26.2	-	-	-	-

A.N.R.H, 2009

D'après le tableau :

La température moyenne la plus élevée est note au mois de juillet 2009

Tableau 3 : températures moyennes mensuelles des maximal et minimal de la région de Tiaret (2009)

	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
M C°	13.7	15.5	16.3	21.4	23.1	30.2	36.2	35.8	28.3	20.5	12.9	9.5
m C°	0.4	1.9	2.5	4.5	9.5	12.9	18.2	17.9	14.8	10.6	3.2	0.5
M+m/2	6.5	8.5	9.2	13.4	16.1	22.2	27.6	27.1	21.5	15.3	7.8	5

Station météorologique de Sidi Bouchekif

Le mois le plus chaud est juillet où la température moyenne atteint 27,6 ° C. En revanche en décembre on note la température la plus basse avec 5C °.

La figure suivante (figure 4) montre la représentation cartographique des températures de la wilaya de Tiaret :

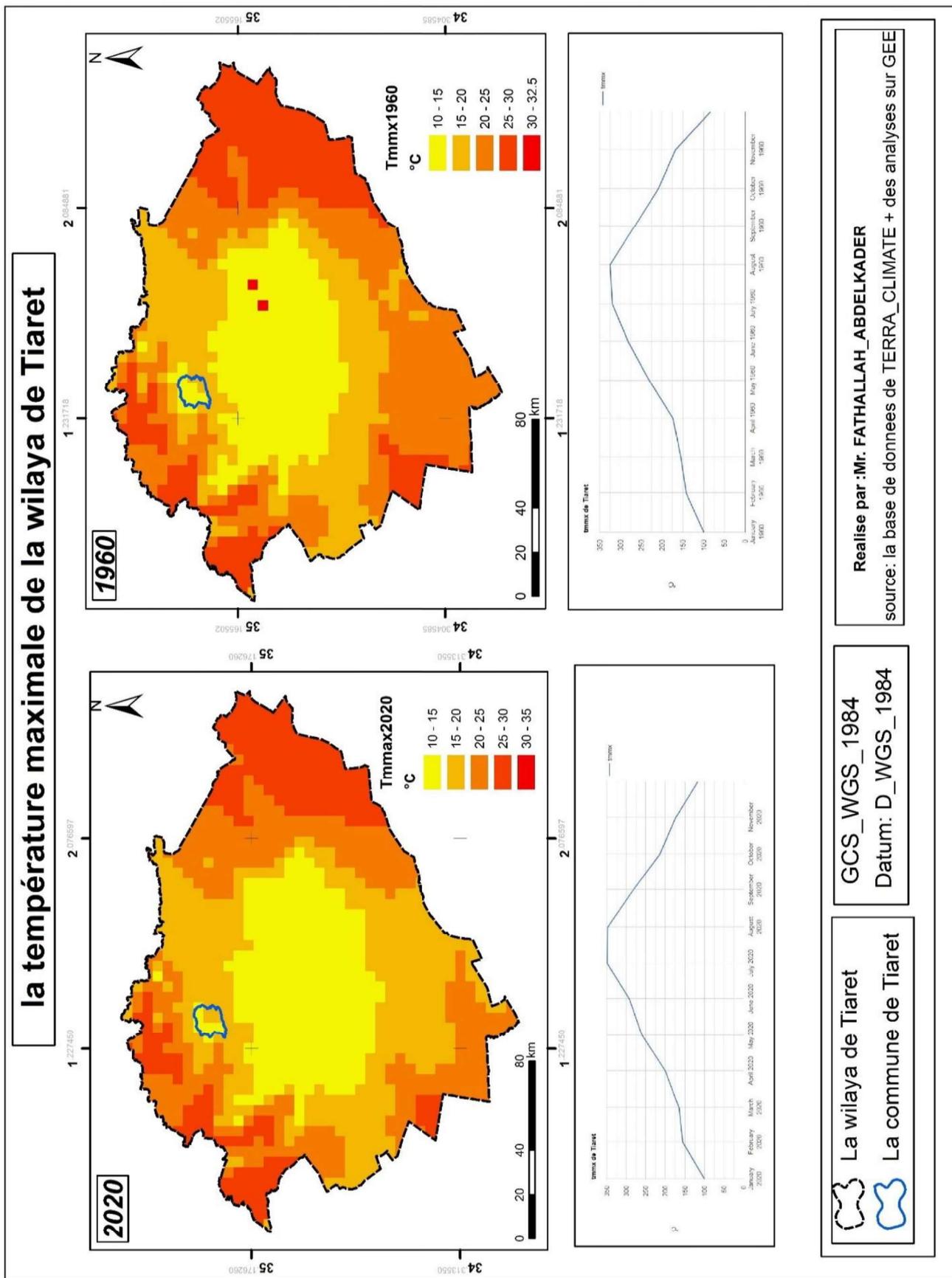


Figure 7 : température maximale de Tiaret

I.5.3- Les données synthétiques :

Les différents éléments du climat n'agissent jamais indépendamment les uns des autres ; à cet effet, les climatologues, phytogéographes et écologues ont combiné des formules pour établir une classification et d'en donner une représentation cartographique pour éventuellement représenter le climat d'un pays ou d'un continent. Les indices les plus employés font intervenir la température et la pluviosité qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

Afin de visualiser d'avantage les caractéristiques propres au milieu bioclimatique de notre zone d'étude, cinq formules ont été appliquées et qui nous ont permis d'obtenir les indices climatiques suivants :

I.5.3.1- Quotidien pluviométrique d'Emberger

Le système d'Emberger permet la classification des différents types de climat méditerranéens. Ceux-ci sont caractérisés par des saisons thermiques nettement tranchées et à pluviosité concentrée sur la période froide de l'année. L'été est la saison sèche. Ce quotient est défini par la formule :

$$Q = 2000P / M^2 - m^2$$

M est la moyenne des maxima du mois le plus chaud et **m** celle des minima du mois le plus froid. La valeur **Q** est d'autant plus élevée que le climat est plus humide. Notons que **M** et **m** sont exprimés en degré Kelvin.

Ce quotient a été modifié par STEWART en 1969, pour donner la nouvelle formule :

$$Q_2 = 3.43 P / M - m$$

Pour Tiaret $Q_2 = 68,16$. Cette valeur placée sur le climagramme d'EMBERGER, montre que Tiaret est située dans l'étage bioclimatique à la limite du Sub-humide à hivers frais.

En effet, cette irrégularité des éléments du climat reste une caractéristique du climat méditerranéen avec l'existence de deux saisons distinctes durant l'année avec un hiver froid et humide et un été sec et chaud.

Tableau 4 : Différents étages bioclimatiques (Emberger)

Etage bioclimatique	Valeur d'O ²	Pluviosité annuelle moyenne (mm)	Duré de la saison sèche
Humide	>95 à 145	900-1300	< 3 mois
Sub-humide	45 à 55	600-900	3 à 4 mois
Semi-aride	25 à 95	300-600	Environ 3 mois
Aride	15 à 40	100-300	> 5 mois
Saharien	< 20	100 et irrégulière	Indéterminé parfois 12 mois

I.5.3.2- L'indice de continentalité thermique "k" de JOHANSON :

Dont la valeur est d'autant plus élevée que le climat est continental. Pour Tiaret $k = 41,33$.

I.5.3.3- Indice d'aridité :

Le facteur de pluie de Lang a été modifié par De Martonne en 1923, de manière à éviter d'avoir des valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 C°. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température (De Martonne, 1926) :

IDM = $P/T+10$. Pour Tiaret il est de 42,03.

I.5.4- L'indice annuel de DEMARTONNE

Il est d'autant plus grand que le climat est moins aride. La formule fait intervenir deux paramètres principaux, les températures et les précipitations soit :

$I = 25,08$. Il est à noter que l'augmentation de l'indice d'aridité est proportionnelle à l'altitude, ainsi Tiaret à 1023 m d'altitude est à tendance aride.

I.5.4.1-Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Nous permet de distinguer de différentes périodes climatiques au cours d'une année.

Selon Gaussen, un mois est «Sec» si le quotient des précipitations mensuelles P exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en ° C, est inférieur à 2, La relation est : $P = 2T$

Il établit une juxtaposition entre la courbe thermométrique et la courbe pluviométrique, il se dégage plusieurs périodes caractéristiques du climat avec une saison sèche longue, une saison froide et une saison de croissance végétative réduite.

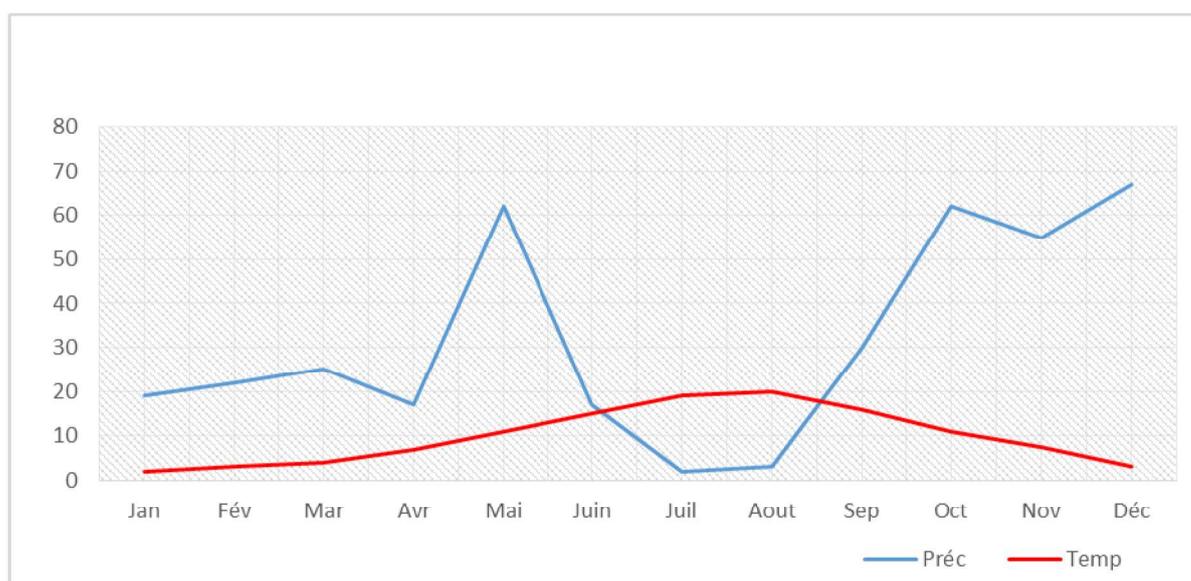


Figure 8 : Diagramme ombrothermique (région de Tiaret)

La représentation sur un même graphique des températures et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois, permet d'obtenir les diagrammes ombrothermiques qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses.

I.6- Les phénomènes secondaires

I.6.1- Les vents :

Dans les régions arides, les vents ont joué et jouent encore un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, dans les dégradations de la végétation et la destruction des sols (Le houero, 1995). La direction, la fréquence et la vitesse sont très variables au cours de l'année La vitesse moyenne annuelle est 5,8 m / seconde. Cependant, en hiver les vents dominants sont ceux du Sud, Sud - Ouest et Ouest, en été ce sont d'abord les vents du Nord et ensuite du

Nord-Ouest et l'Ouest et de Nord-Est. Généralement ils sont à l'origine des pluies. Par contre ceux du Sud sont généralement secs et chauds et deviennent très compromettant (desséchant) surtout pour la céréaliculture. Ils font baisser le degré hygrométrique de 60% à 20% Dans ces régions le siroco peut sévir pendant 15 jours (Djebaili, 1984).

I.6.2- La neige :

L'utilité de la neige réside dans le fait qu'elle assure un rôle de régulation des écoulements superficiels et d'alimenter les nappes souterraines. Les chutes de neige sont assez fréquentes avec des épaisseurs inférieures à 15cm. Une source d'eau à ne pas négliger pour le sol et les végétaux. En se référant uniquement à la station de Ksar Chellala, la neige tombe surtout en hivers, avec une moyenne de 10 jours / an.

I.6.3- L'humidité atmosphérique :

L'appréciation de ce facteur, est traduite par l'humidité ou l'état hygrométrique exprimée en pourcentage. Elle indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation. Au niveau de notre zone d'étude, elle est relativement faible, les pourcentages les plus élevés sont enregistrés en Décembre et Janvier.

I.6.4- Les gelées :

Les phénomènes de gelées apparaissent surtout lors des basses températures et sont extrêmement nuisibles aux cultures durant les saisons printanières et d'Automne, époques de croissance végétative. Ces basses températures ne font que la faiblesse des valeurs des minima aux mois de Mars, Avril et Mai.

I.7-Conditions socio-économiques de la région

La commune de Tiaret, se caractérise par une forte croissance démographique équivalente à un quadruple de la population durant une période de 37ans. Passant de 41189 habitants selon le premier R.G.P.H 1966 pour atteindre 197690 habitants au dernier R.G.P.H 1998; soit un taux d'accroissement global de 4,02% et un taux d'accroissement naturel de l'ordre de 2,17% et un solde migratoire positif de 1,85%, sachant que le mouvement naturel de la population à lui seul (natalité et mortalité) ne peut être responsable de cette augmentation de la population, cette dernière est importante particulièrement au niveau de l'agglomération chef-lieu. Cette dernière serait probablement liée à l'exode rural ayant impactée cette région particulièrement au cours de la décennie noire. Ceci a provoqué un déséquilibre flagrant entre les zones rurales y le chef-lieu de la wilaya.

L'augmentation de nombre de la population au niveau de la commune de Tiaret est justifié par :

- le statut de l'agglomération chef-lieu qui confirma davantage son attractivité par les possibilités d'offre d'emploi.
- La concentration des divers équipements au niveau de l'agglomération chef-lieu.

Cette augmentation en nombre d'habitants se répercute sur l'augmentation des habitations précaires favorisant ainsi les rejets liquides et solides, exposant davantage les populations au danger de la pollution.

La représentation cartographique suivante (figure 9) montre le développement et l'évolution du tissu urbain de la ville de Tiaret pendant 41 ans de 1981 à 2021.

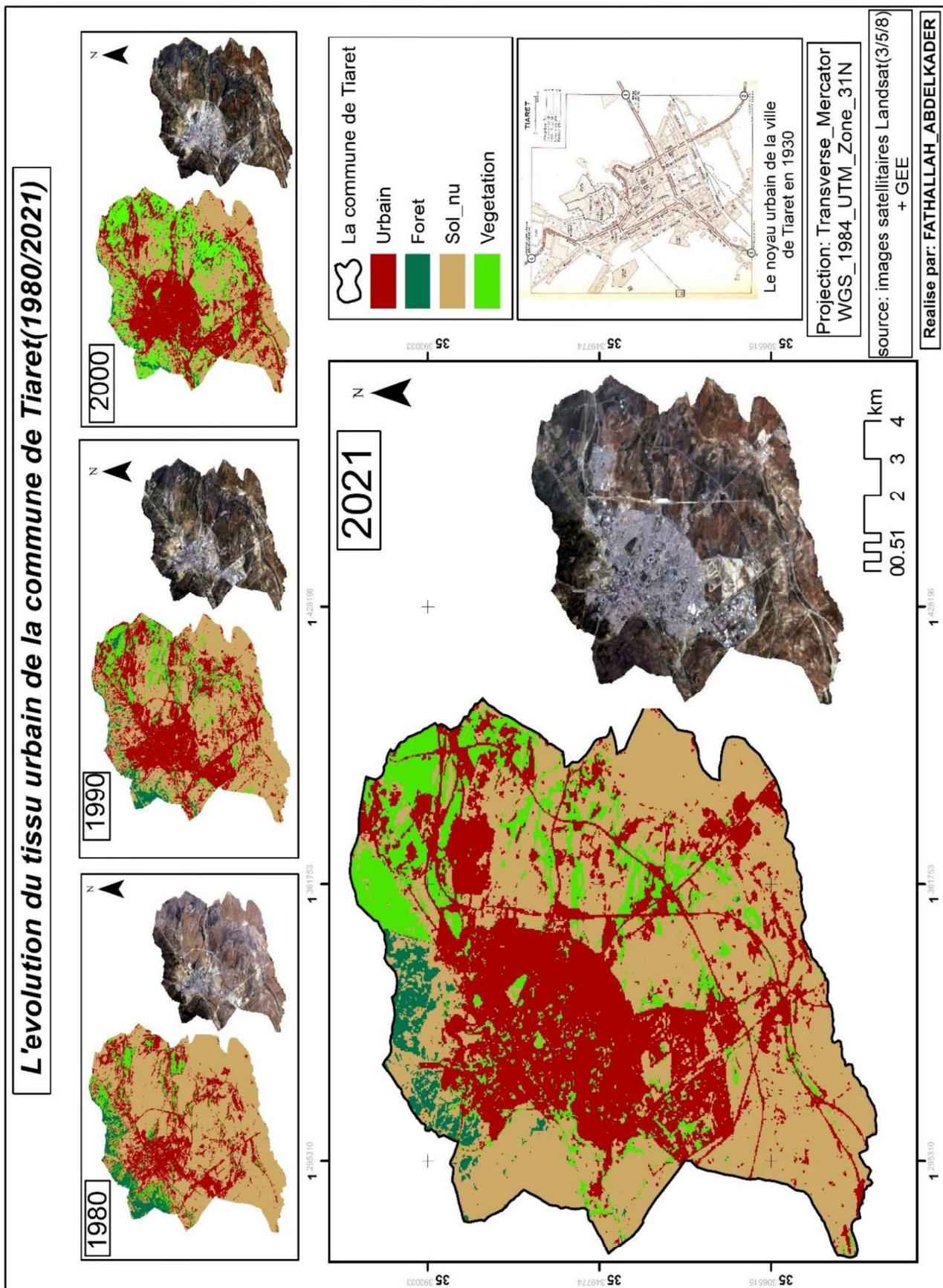


Figure 9 : L'évolution du tissu urbain (la commune de Tiaret)

I.7.1- Infrastructure De Base :

Les réseaux des communications routières, ferroviaires, aérien, téléphoniques,..., permettent le désenclavement, favorisent les échanges des biens et de personnes et la circulation des informations .La nature, la consistance, la diversification et l'état de ces réseaux sont à l'origine de multiples problèmes caractérisant les conditions de développement d'une région

I.7.2- Le réseau routier :

Le chef-lieu de la commune de Tiaret est le carrefour de plusieurs voies de communication d'une importance nationale, mais dont l'état reste au demeurant moyen.

Les routes nationales :

- **La R.N. -14** : Lie Tiaret à la région sud -ouest de la Wilaya et aux Wilaya de Saida et Mascara. Elle relie aussi Tiaret à sa région nord-est et à Alger par Tissemsilt.
- **La R.N. - 23** : C'est un axe très important qui ouvre la commune sur le nord-ouest par Relizane et sur le sud-est par Aflou.
- **La R.N. - 90** : Un troisième axe très important reliant la commune au nord par Oued Rhiou et au sud par Ain Guesma.
- **Les Chemins de Wilaya**

Le réseau secondaire est généralement dans un état moyen. Il draine un volume de trafic peu important par rapport au réseau primaire. On note deux chemins de Wilaya :

- **CW-07** : C'est le plus important, car il relie Tiaret à Bouchekif.
- **CW-11** : Relie la commune à Sidi Hosni à l'est, et à Mechraasfa à l'ouest.

a- Les pistes

Un grand nombre de fermes et regroupements humains sont reliés par des pistes. Ces pistes nécessitent un entretien afin de mieux assurer un accès aisé en toute saison.

b- La voie ferrée

La commune est traversée par une voie ferrée étroite reliant Relizane à Tiaret. La réfection de cette infrastructure permettra un fort allègement de la charge que subit les routes .Il faut noter que le passage à travers le territoire communal du projet de la Rocade ferroviaire des hauts plateaux d'Est en Ouest permettra le renforcement des infrastructures de base dans la région.

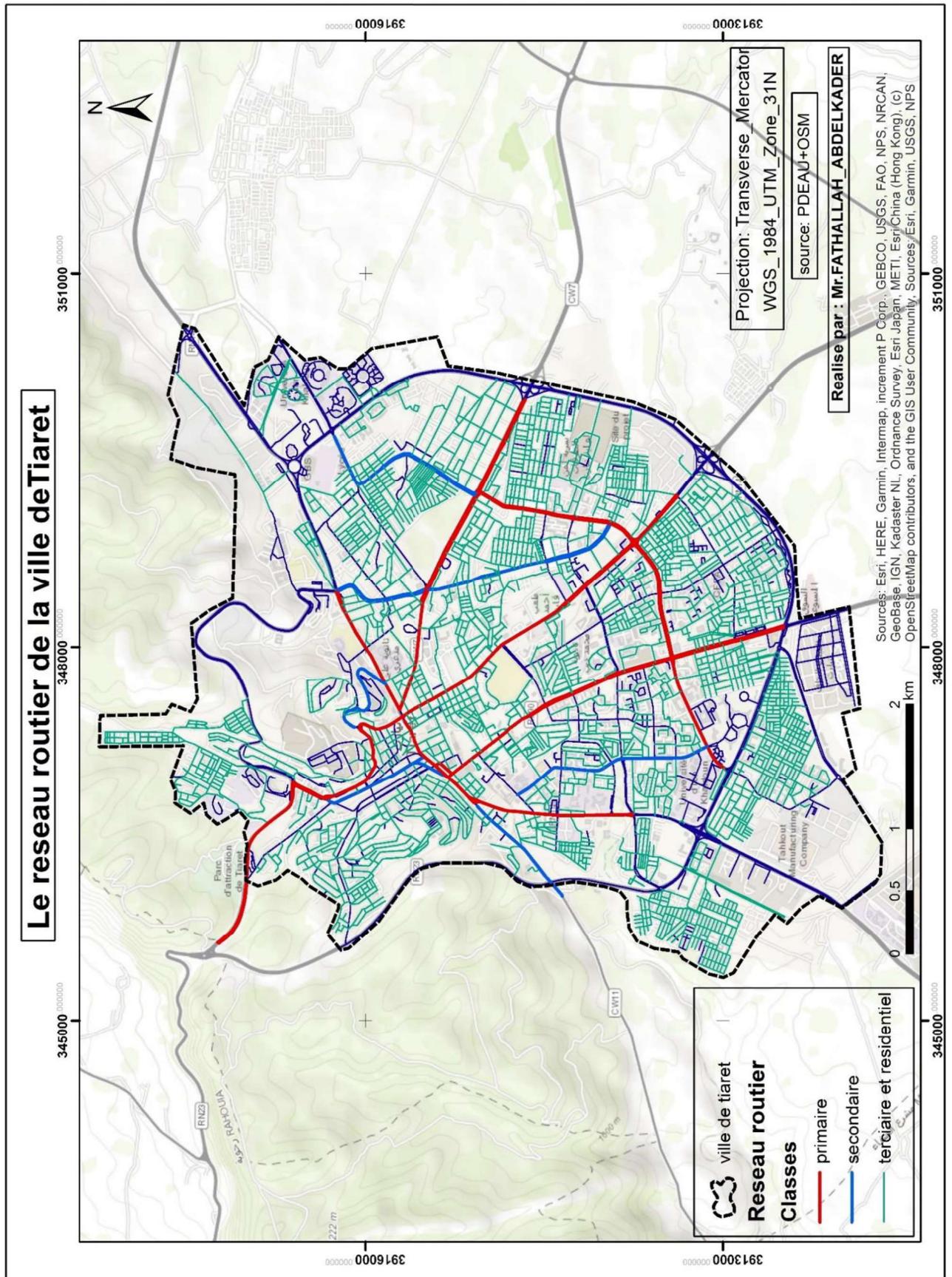


Figure 10 : Le réseau routier de la Wilaya de Tiaret

I.8- Réseau d'assainissement et le réseau d'AEP :**I.8.1- Réseau d'assainissement :**

L'assainissement est une méthode visant à améliorer la santé globale des différentes composantes de l'environnement. Il comprend la collecte, le traitement et l'élimination des déchets liquides, solides et excréments¹. L'objectif principal est de prévenir l'exposition humaine aux substances dangereuses, en particulier les matières fécales, en mettant en place des systèmes de traitement et d'élimination des déchets. Les dangers causés par un mauvais assainissement sont multiples et peuvent être physiques, microbiologiques, biologiques ou même chimiques. Les déchets, y compris les déchets humains et animaux, les déchets résiduels ou les eaux usées, peuvent causer de graves problèmes de santé.

I.8.2- Réseau d'AEP (Adduction en eau potable) :

L'adduction d'eau regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux vers les lieux de consommation.

L'approvisionnement en eau potable (AEP) peut être divisé en plusieurs éléments :

- La source d'eau peut être un forage équipé d'un système de pompage.
- Un réseau de transport constitué de canalisations (généralement souterraines), d'ouvrages d'art (ponts, siphons, canaux) et de systèmes de vannes et de pompage (automatisés ou non).
- Divers systèmes de stockage intermédiaire.
- Un réseau de distribution terminal qui livre de l'eau aux consommateurs finaux ou aux points de distribution centralisés (pompes, fontaines, etc.).

La représentation cartographique suivante désigne l'ensemble des deux réseaux (AEP et assainissement) et montre sa répartition dans la ville de Tiaret.

Remarque : concernant le réseau d'AEP, On prend la nature des matériaux de réseau en considération et ils sont présentés sur la carte (figure 11).

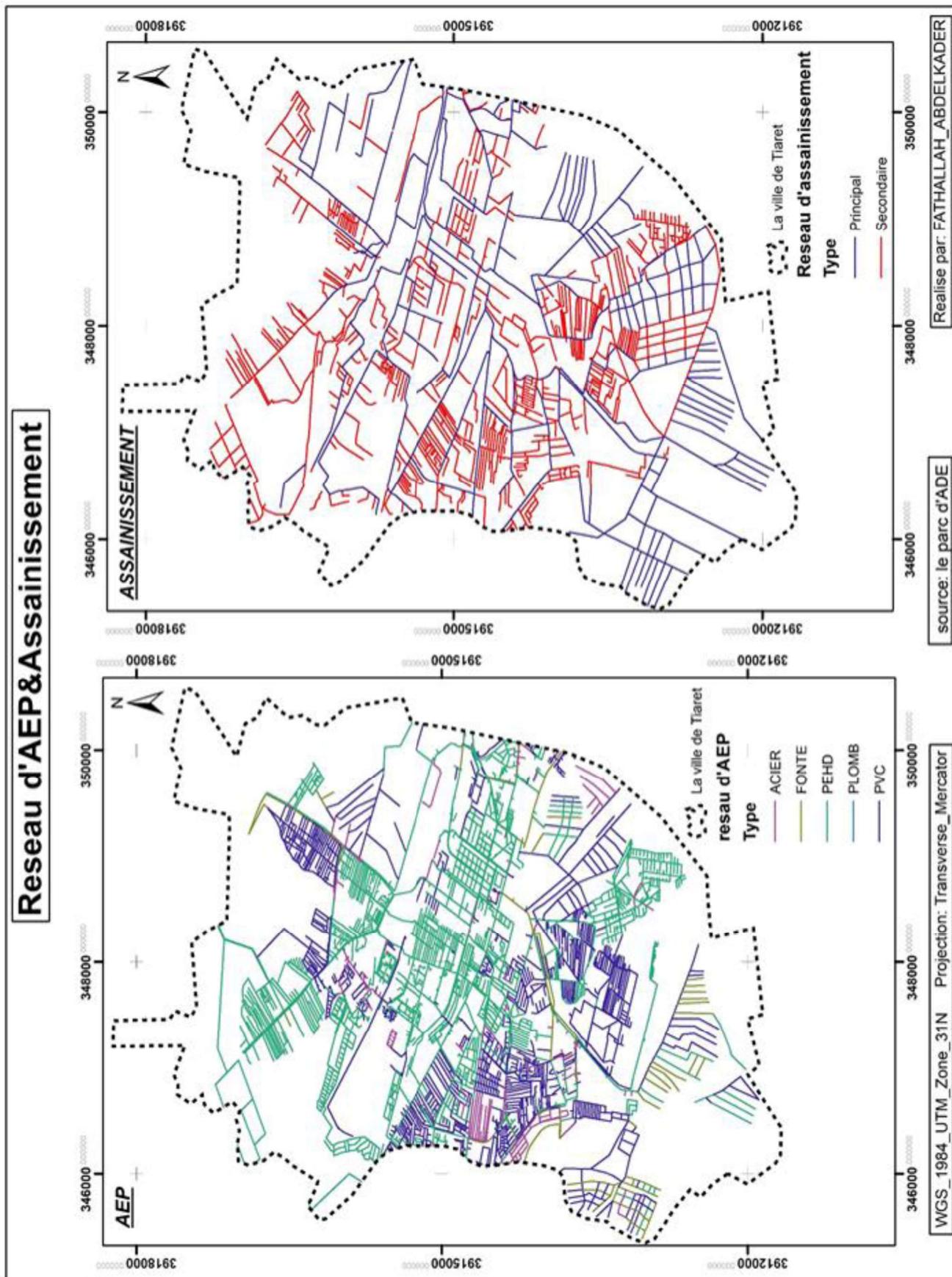


Figure 11 : réseau d’assainissement et d’AEP de la wilaya de Tiarret

I.7.3-L'agriculture

La commune de Tiaret couvre des reliefs de type différents le Djebel Guezoul au Nord est inculte ; seul le haut plateau au Sud est fertile. Plusieurs exploitations se partagent la surface agricole utile et nous citerons la ferme pilote Chaou-Chaoua (la jumenterie) qui occupe une superficie totale agricole de 876,55 ha dont 741,34 ha de surface agricole utile :

Quatre domaine autogérés occupent la presque totalité des terres :

- Le domaine Ziane Haoues avec : 11 E.A.C (1700 Ha) et 14 E.A.I.
- Le domaine Cherifi M'hamed avec : 07 EAC (525,75 Ha) et 17 EAI
- Le domaine Mabrouk el cheikh avec : 09 EAC (1076,93 Ha) et 23 EAI
- Le domaine Ghaouti Djillali avec : 05 EAC (182, 26 Ha) et 55 EAI
- Le secteur privé occupe une superficie de 1258 ha.
- La ferme pilote CHaou-chaoua (la jumenterie) d'une superficie totale agricole de 875 ha.

La superficie total de la commune de Tiaret est de 12270 ha, plus des trois quarts des terres de la commune, soit 9204 ha rode, sont agricoles. Ces terres agricoles sont occupées essentiellement de grandes cultures céréales et légumineuses, tandis que les cultures maraîchères et cultures fruitières viennent au second rang.

Tableau 5 : Répartition Générale des terres

Surface agricole totale (ha)	Surface agricole utile (S.A.U) (ha)	Forets (ha)	Pacages et parcours (ha)	Terres incultes (ha)
7162	7112	2341.65	692	2076.35

Subdivision de la Daïra de Tiaret

I.7.4-Industrie :

Malgré l'absence de toute tradition et de tout passé industriel, Tiaret a pu voir s'établir et se développer un important tissu industriel. En une période de temps très courte (10 ans), la région de Tiaret a pu bénéficier d'un nombre important d'unités industrielles. L'année 1976 a constitué le point de départ de l'ère industriel à Tiaret.

Il faut reconnaître, cependant que cette industrialisation à grande échelle s'est effectuée, parfois, dans des conditions qui n'ont permis de prendre correctement les préoccupations en matière de protection de l'environnement.

La zone industrielle de Tiaret se situe sur la route de Zaaroura ; elle a une superficie de 125 ha et possédant toutes les utilités.

Tous les déchets solides issus de la zone industrielle rejoignent la décharge publique de Tiaret et sont confondus avec les ordures ménagères.

I.7.5- Conclusion

Les caractéristiques du milieu naturel ou bien physique de la commune de Tiaret et de la wilaya ont été détaillés afin d'être capable de connaître tous les composantes du milieu et pour juger la vulnérabilité du site vise à vise le pourcentage de déclenchement d'un risque.

Démographiquement, la commune connue une augmentation du taux d'urbanisation, ce qui met une pression supplémentaire sur le côté socio-économique et ce qui met la population et le milieu urbain avec ces infrastructures principales (réseau routier, l'assainissement, réseau d'AEP...) dans une forte vulnérabilité et sous une possibilité de perturbation de fonctionnement des éléments du milieu urbain et ce qui mettre la ville plus vulnérable aux différents types de risques tel que les risques sanitaires.

Chapitre II : SIG et analyse multicritère

II-Cartographie décisionnelle Multicritère

Les problèmes de décision à référence spatiale sont complexes et de nature multicritère. Le traitement de ces problèmes requiert un ensemble de données géo-référencées comme entrée (input). Le système d'information géographique (SIG), par sa capacité dans le stockage, la gestion, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale, se présente comme l'outil le plus adéquat pour appréhender ces problèmes. Néanmoins, la technologie SIG actuelle souffre encore de plusieurs lacunes concernant essentiellement l'absence des capacités analytiques capables de supporter la nature multicritère des problèmes spatiaux. L'analyse multicritère offre à l'évidence plusieurs avantages au niveau de la prise de décision lorsqu'il doit être tenu compte d'intérêts conflictuels. Elle peut donc apporter le support nécessaire pour combler

ces lacunes comme l'illustre les travaux d'intégration SIG-AMC publiés depuis le début des années 1990. Cependant ces travaux présentent plusieurs limites qui les empêchent de se diffuser au-delà du cadre académique.

II.1- Introduction

Les SIG, systèmes d'information géographiques, stockent des données géo-référencées dans des bases de données géographiques, ouvrant ainsi de grandes potentialités en terme d'exploitation.

Une utilisation fréquente des SIG concerne la prise de décision à référence spatiale. En effet, les SIG, par leur capacité dans le stockage, la gestion, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale, se présentent comme l'outil le plus adéquat pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale. Néanmoins, la technologie SIG actuelle souffre encore de plusieurs lacunes dues en grande partie à un manque de capacités analytiques capables de supporter les problèmes spatiaux. La solution la plus diffusée pour faire évoluer les SIG vers un vrai outil d'aide à la décision est de les coupler avec les outils de la recherche opérationnelle et en particulier avec l'*analyse multicritère* (AMC). En effet, l'AMC offre à l'évidence plusieurs avantages au niveau de la prise de décision lorsque l'on doit prendre en compte des intérêts conflictuels. Elle apporte le support nécessaire pour combler ces lacunes. Cette solution est également adoptée dans le cadre de ce travail de recherche.

Remarque :

Connaissance approfondie du SIG et de l'AMC. Malgré le nombre relativement important de travaux d'intégration SIG-AMC, leur utilisation en pratique reste limitée et le plus souvent ne dépasse pas le cadre de la recherche universitaire.

Cette situation est due au :

l'utilisation de tels outils exige une bonne connaissance du SIG et de l'AMC

Tableau 6 : les principaux éléments dans un SIG et l'AMC

Concept	SIG	AMC
Attribut (Attribute)	Une propriété ou caractéristique permettant de décrire une entité spatiale ; Un champ de données.	Un moyen pour mesurer l'achèvement d'un objectif, une direction traduisant une perspective de changement d'état pour obtenir le système souhaité par le décideur.
Échelle (Scale)	Échelle de la carte qui représente le rapport entre la longueur mesurée sur une carte ou un plan et la longueur réelle.	Échelle de mesure qui peut être nominale, ordinale ou cardinale.
Agrégation (Aggregation)	Regroupement de plusieurs unités spatiales en éliminant les frontières communes ; regroupements des unités spatiales en vue d'une analyse statistique spatiale Combinaison de plusieurs plans d'information.	L'application d'une procédure mathématique permettant d'agréger (en utilisant, par exemple, une somme pondérée) plusieurs évaluations partielles . relatives à un ensemble de critères d'évaluation) de chaque action en une seule évaluation globale.

II.2- Système d'information géographique et analyse spatiale

Dans cette section, nous présentons d'abord une brève définition des SIG et une description succincte de leurs caractéristiques ainsi que les principales approches pour la modélisation et la représentation des entités géographiques. Ensuite, nous explicitons quelques capacités analytiques des SIG. Enfin, nous adressons les potentialités et les limites des SIG actuels en aide à la décision à référence spatiale.

Il est impossible de couvrir tous les aspects de la technologie SIG dans ce document. Nous renvoyons cependant le lecteur intéressé à la littérature spécialisée. Davis (2001) donne une introduction simplifiée et didactique à la technologie SIG. Pour une introduction plus approfondie, nous pouvons consulter avec intérêt les livres suivants : Peuquet et Marble (1990), Laurini et Thompson (1992), Burrough et McDonnell (1998), Looelney et al. (2001), et Chrisman

(2002). Concernant l'aspect base de données, une introduction simplifiée est donnée par Scholl et al. (1996) et pour approfondir, nous conseillons le livre de Rigaux et al. (2002). Pour ce qui est de l'analyse spatiale, nous pouvons consulter les ouvrages suivants : Sanders (2001) et Longley et Batty (2003).

II.3- Capacités analytiques des SIG

Les spécialistes des SIG semblent d'accord sur le fait que la caractéristique fondamentale qui distingue les SIG des autres logiciels graphiques et notamment des logiciels de cartographie numérique (e.g. CAD, CAM), est leur capacité d'effectuer des analyses (Laaribi 1994, Burrough et McDonnell 1998, Malczewski 1999). Un nombre croissant de fonctionnalités analytiques est offert par les SIG actuels et de nombreuses classifications ont été proposées (e.g. Goodchild, 1987 ; Aronoff, 1989 ; Bracken et Webster, 1990 ; Star et Estes, 1990 ; Maguire et al, 1991 ; Burrough, 1992 ; Laurini et Thompson, 1992 ; Chrisman, 1996 ; DeMers, 1997 ; Malczewski, 1999 ; Davis, 2001 ; Chrisman, 2002). Dans cette thèse, nous adoptons la classification établie par Chrisman (2002). Ce dernier distingue six groupes d'opérations spatiales de complexité croissante.

1. Opérations sur les attributs descriptifs. Les opérations les plus simples sont celles qui portent sur les attributs des entités spatiales sans impliquer la composante spatiale. Il s'agit généralement d'opérateurs mathématiques ou

ensemblistes qui transforment les valeurs existantes en de nouvelles valeurs. Exemples : classification, agrégation, changement d'échelle, etc.

Certaines opérations de ce groupe peuvent également engendrer, de façon indirecte, des changements sur la composante spatiale comme par exemple l'opération d'agrégation qui peut nécessiter l'élimination des frontières communes des entités polygonales appartenant à la même catégorie.

2. Techniques de superposition de couches (overlay). Ce groupe contient un ensemble d'opérations booléennes qui permettent à des entités géographiques, avec un ensemble de caractéristiques communes, d'être identifiées et affichées. Exemples : identifier toutes les propriétés à l'intérieur d'une zone d'affectation, toutes les zones inférieures à 200 mètres d'altitude avec une utilisation agricole du sol, etc. Cette technique est appropriée à une structuration et une représentation de l'information géographique par thèmes : couverture du sol, réseau hydrographique, réseau routier, réseau d'utilité public (électricité, gaz, eau potable, assainissement, téléphonie), foncier, habitat, etc.

3. Opérations métriques. Ces opérations se basent sur la notion de distance. Trois types d'opérations métriques peuvent être distingués :

(i) création des zones tampons relatives à des objets isolés (e.g. recherche d'une zone tampon relative à tous les bâtiments situés à 1000 mètres de l'aéroport)

(ii) mesure de distance entre objets (e.g. recherche de tous les bâtiments situés à moins de 150 mètres d'une borne d'incendie) et construction des champs de distance pour les données raster (utilisé par exemple dans les problèmes de localisation-affectation (location allocation) ou de localisation)

(iii) construction de diagramme de Voronoï "étendu" ("extended" Voronoï network) où la notion de zone de proximité concerne aussi bien les points que les lignes ; et où chaque zone représente la partie de l'espace qui est la plus proche d'un objet particulier (un point ou une ligne) que les autres.

4. Opérations sur les surfaces et le plus proche voisin. Les opérations de ce groupe portent sur une description continue de l'espace. Le calcul de la pente (i.e. inclinaison d'un terrain ou d'une surface par rapport au plan de l'horizon), du gradient (taux de variation en fonction de l'angle du plan tangent à la surface en un point donné), et l'aspect (direction de la pente) sont des exemples typiques de cette famille d'opérations. Les opérations de voisinage nécessitent deux composantes : un voisinage (neighborhoods) et une règle de combinaison

(e.g. une règle de dominance qui sélectionne une valeur sur certains critères). Le voisinage peut être défini sur la base de la distance Euclidienne ou sur la base des relations entre objets. La représentation de profil (élévation de la surface par rapport à une ligne spécifiée) ou la modélisation du drainage de surface sont deux exemples de ce type d'opérations.

5. Opérations avancées. Trois types d'opérations avancées peuvent être distinguées : (i) opérations itératives, (ii) modèles de localisation-affectation, (iii) méthodes d'analyse statistique. Les opérations itératives généralisent les opérations de voisinage. Exemple : calcul de zones de visibilité (viewshed), analyse des réseaux, etc. Les modèles d'allocation-affectation cherchent à optimiser une fonction objectif afin de localiser, par exemple, des écoles, des points de service, etc. Dans un problème de distribution des marchandises, la fonction objectif peut être par exemple, la minimisation de la distance totale entre les points de demande et les points de service. Les opérations statistiques permettent d'effectuer un ensemble de manipulations statistiques sur les attributs comme par exemple l'analyse de régression ou l'analyse par clusters (cluster analysis).

6. Opérations de transformation. Ces opérations, les plus complexes, impliquent des conversions d'une forme de données à une autre. En effet, les données en entrée peuvent être de différentes formes : semi de points, des courbes de niveaux, carte thématique, des Modèles Numériques de Terrain (MNT), etc. Pour le besoin de l'analyse, il est parfois nécessaire de convertir un semi de points en un TIN, des courbes de niveaux en un semi de points ou un TIN, un MNT en une carte thématique, etc. L'interpolation, la triangulation sont deux exemples d'opérations de transformation.

II.4- Modélisation de Données

II.4.1- Introduction

La gestion de la qualité des données couvre également leur modélisation. Par conséquent, il est important de considérer leur nature imparfaite (imprécise, incertaine, incomplète) dès le processus de modélisation. Depuis les années 70, une multitude de travaux ont porté sur la modélisation de l'imperfection dans les SI et en particulier dans les SIG.

Ce dynamisme nous conduit à identifier les solutions proposées sur ces trois niveaux de modélisation selon (MERISE) :

1. le niveau conceptuel
2. le niveau interne logique
3. le niveau interne physique

II.4.1.1- Modèles conceptuels de données

Un modèle conceptuel de données est un ensemble de concepts qui permettent de décrire et de manipuler des données du monde réel, et de règles d'utilisation de ces concepts. Les modèles comportent 2 parties : une partie statique qui décrit la structure des données (MCD) et les contraintes explicites sur ces données (CI), et une partie dynamique qui définit les traitements sur les données (MCT).

Les concepts de base de la modélisation sont :

- Les objets regroupés en classes et identifiés,
- Les liens entre objets avec leurs cardinalités,
- Les propriétés des objets,
- La représentation multiple des objets.

Un modèle conceptuel doit respecter les propriétés suivantes :

- Complétude (Description de tous phénomènes courants nécessaires à l'application)
- Fiabilité (formellement défini)
- Orientation utilisateur (compréhensible, clair, lisible)
- Orthogonalité (les concepts proposés doivent être indépendants)
- Compatibilité logiciel (traduisible en SGBD existant)
- Complètement opérationnel (capacités de manipulation des données)

II.4.2- Concepts de modélisation :

Pas de système d'information correct sans modélisation ! Pour cela il existe des concepts formels qui viennent du monde des bases de données. Dans cette

unité, nous introduisons les concepts généraux ainsi que la terminologie appropriée.

II.4.2.1- Processus de conception d'une BD

Une BD est une représentation de la partie du monde réel qui nous intéresse. Lors de la conception d'une BD pour les besoins d'un utilisateur, après interview, l'objectif est d'élaborer le schéma conceptuel de son application. L'utilisateur a une perception du monde réel axée sur son application : chaque utilisateur a sa propre focale d'observation. Son analyse de la réalité est donc partielle (elle ne représente que les informations intéressantes pour son application), subjective (elle représente le point de vue du concepteur) et infidèle (ne représente pas la réalité telle qu'elle est, mais telle qu'elle intéresse le concepteur). Les phénomènes observés sont abstraits en classes, puis représentés et décrits dans un schéma conceptuel selon le modèle choisi. Nous pouvons donc obtenir plusieurs schémas conceptuels pour les mêmes phénomènes du monde réel observés. Cependant le schéma conceptuel obtenu doit être conforme au modèle conceptuel choisi. Le processus est décomposé en 3 phases :

-Perception du monde réel

-Abstraction de classes

-Structuration selon les concepts des MCD choisi

II.4.2.2- Modélisation conceptuelle de données spatiales et MCD Spatiaux :

Du fait de la complexité des données spatiales, leur modélisation nécessite des concepts spécifiques. Cette unité expose les problèmes particuliers à la modélisation des données spatiales, présente les concepts dédiés :

Types abstraits de données (TAD) spatiaux (point, ligne surface), relations topologiques, agrégation, etc. et cite différents modèles conceptuels de données spatiales

II.4.3- Concepts de modélisation spatiale :

II.4.3.1-TAD spatiaux :

Nous avons vu que l'appréhension de l'espace conduit à choisir le mode de représentation des objets que l'on perçoit en unités d'observation ponctuelles, linéaires ou surfaciques, simples ou complexes. Les MCD issus du monde des bases de données classiques ne nous permettent pas de préciser la spatialité des

objets. Depuis plusieurs années, des chercheurs développent des concepts qui étendent les modèles en permettant de prendre en compte la spatialité des objets lors de la modélisation. Notamment ils intègrent des types d'objets spécifiques appelés TAD spatiaux. Ainsi en construisant le schéma d'une application, nous pourrions modéliser l'appartenance des bâtiments à une classe surfacique par exemple ; Ou percevoir les villes comme un objet géographique complexe composé d'objets linéaires tels que les rues, de surfaciques tels que les bâtiments ou les parcs et de points tels que les stations de métro. La figure présente les différents TAD proposés par le modèle MADS (modèle ER étendu aux données spatiales).

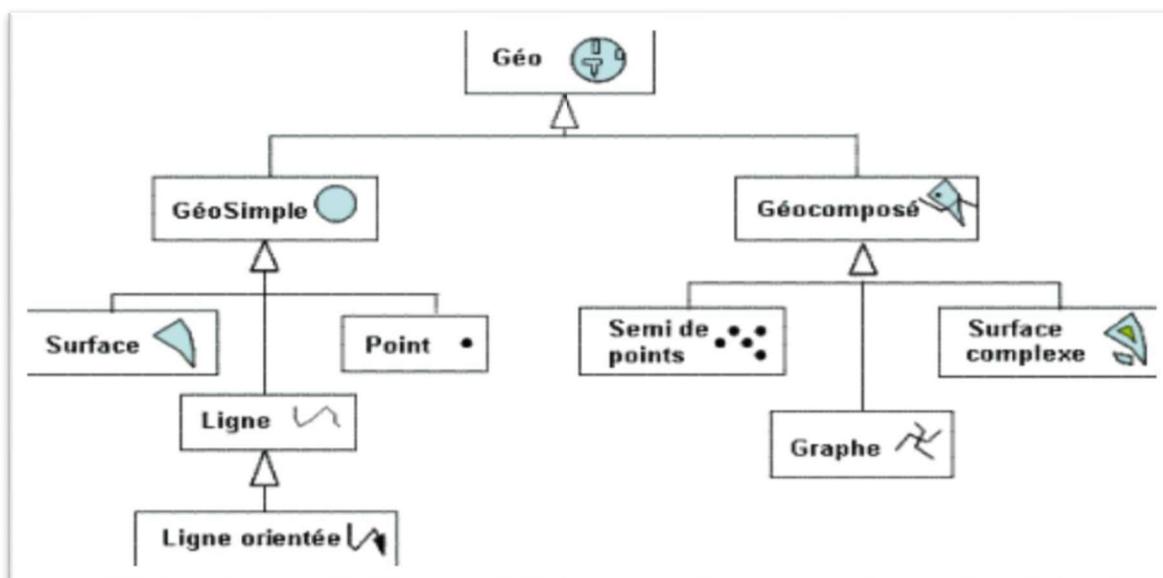


Figure 12 : Hiérarchie des types abstraits de données spatiales du modèle MADS

II.4.3.2- Relations topologiques :

De la même manière, des liens particuliers tels que les relations topologiques entre classes d'objets spatiaux peuvent être sur le schéma. Ainsi certains introduisent des pictogrammes topologiques (voir la figure ci-dessous) à placer sur les liens. On pourra ainsi préciser par exemple la relation d'inclusion de la géométrie des lots cadastraux dans les communes, comme dans l'exemple de schéma MADS plus loin.

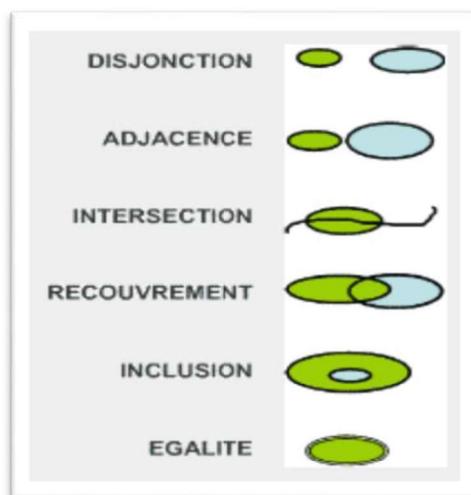


Figure 13 : Pictogrammes des relations topologiques (modèle MADS)

II.4.3.3- Agrégation :

Il existe également d'autres types de liens spatiaux particuliers : l'agrégation ou la composition, représenté par un lien fléché et un pictogramme sur le lien.

Ce lien permet de préciser qu'un lotissement est composé d'un ensemble de bâtiments. En d'autres termes, la géométrie du lotissement correspond à l'agrégation des géométries des bâtiments qui le composent.

Exemple de schéma conceptuel :

L'exemple proposé concerne la modélisation des municipalités régionales de comtés canadiens. Les municipalités sont représentées par des polygones complexes (zone composée de plusieurs parcelles ou comportant des trous) aux parties parfois disjointes (par exemple, la municipalité de Boucherville est composée de plusieurs îles en plus du territoire principal). Les lots cadastraux sont représentés par des polygones simples. Les rivières sont représentées par des chaînes complètes (ligne brisée comportant certains attributs topologiques). Les routes sont également représentées par des chaînes complètes. Le relief est représenté par une couche matricielle où chaque élément (ou "pixel") est une valeur d'élévation en mètres.

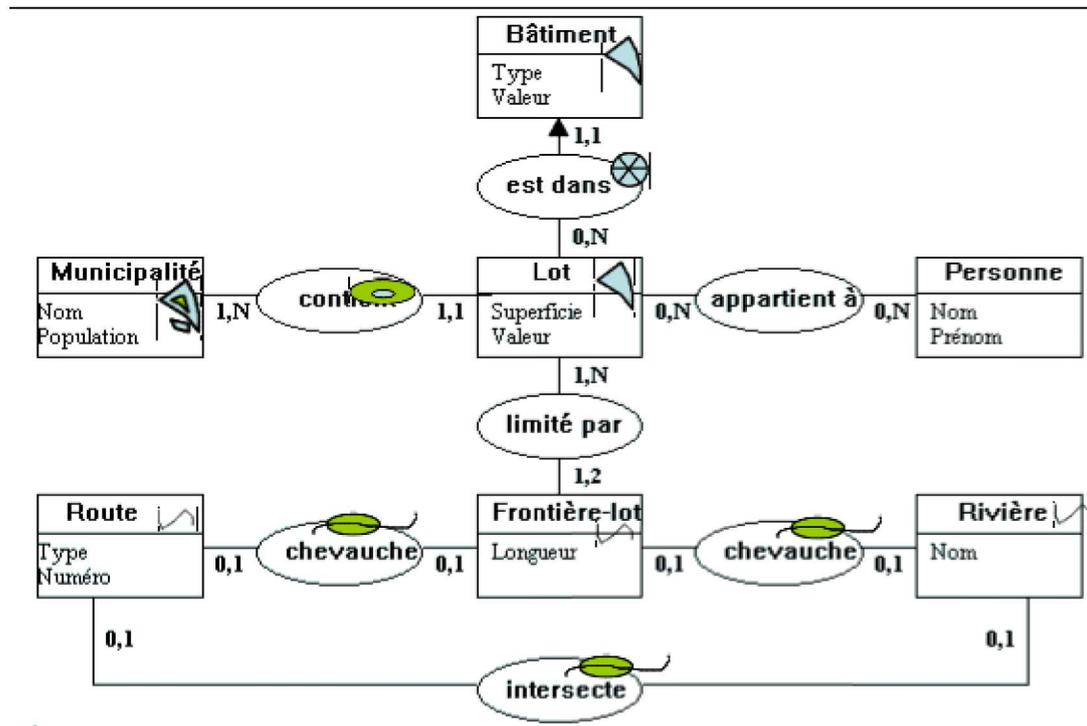


Figure 14 : Exemple de schéma MADS

II.4.4- Pourquoi utiliser les MCD spatiaux et les concepts qu'ils proposent ?

L'intérêt majeur réside dans le fait qu'un certain nombre de contraintes d'intégrité de la base de données sont directement liées à la définition des concepts proposés. Par exemple, la définition de la relation d'agrégation inclut la contrainte selon laquelle les géométries des composants sont inclus dans la géométrie des composés.

Couramment dans un SIG, les relations topologiques d'intersection, d'inclusion, d'overlay, etc. sont générées on the fly lors de requêtes. Il peut s'avérer intéressant de stocker le résultat dans une table lorsque les requêtes sont fréquentes de manière à éviter à l'utilisateur des temps de calculs qui peuvent parfois être longs et coûteux. De plus cela permet de mettre clairement en évidence l'importance de ce type d'information dans un schéma.

II.5- MCD spatiaux (MADS, Perceptory) :

Il existe différents MCD spatiaux. Nous citerons les 2 principaux actuels : Perceptory et MADS. Ils sont basés sur des MCD provenant du monde des bases

de données, respectivement UML et ER, et ont été étendus aux concepts spatiaux.

II.5.1- Perceptory :

Perceptory, développé par la chaire de SIRS de l'université de Laval au Canada, est une extension dans le méta-modèle du formalisme UML, dont les éléments de base sont : le paquetage, les classes, les attributs, les opérations, les associations, la généralisation. Le modèle intègre le concept de TAD spatiaux par la notion de pictogramme appelé PVL (Plug-in for Visual Language). Reportez-vous à l'article ou à l'URL suivants pour de plus amples informations sur le modèle Perceptory : "Bédard, Yvan 2000"

II.5.1.1- MADS :

Le modèle MADS (Modélisation d'Applications à Données Spatiales) est développé à l'EPFL au laboratoire de bases de données. Il est basé sur le modèle ER étendu à la spatialité. Il propose les concepts suivants : TAD spatiaux. Pour en savoir plus, reportez-vous à l'article :

"MADS: A Conceptual Model for Spatio-Temporal Applications"

II.5.2- SGBD et géographie :

L'information géographique :

Une information relative à un objet ou un phénomène du monde terrestre est décrite plus ou moins complètement par :

- la nature et les attributs de l'objet (sémantique)
- la localisation et la forme de l'objet (géométrie)
- la relation de voisinage entre objets (topologie)
- ne pas confondre la données et sa représentation

II.5.2.1- Les BD spatiales :

Ensemble organisé d'objets géographiques :

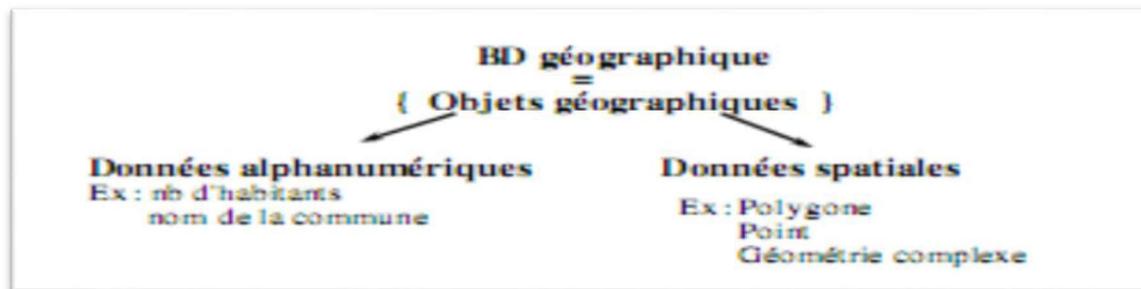


Figure 15 : Exemple du schéma des BD spatiales

Chaque objet est un couple formé d'une description qualitative ou quantitative et d'une localisation spatiale

- on parle respectivement de données spatiales
- et de données attributaires ou descriptives
- Organisé souvent en couches thématiques :

Les données sont organisées en couches regroupant les objets géographiques appartenant à un même thème.

- Ex : Hydrologie, Pédologie, Rue, Bâti

II.5.2.2- Définition d'un SGBD spatial

C'est un Système de Gestion des BD géographique, qu'il offre un type de donnée spatiale dans son modèle de données et son langage de requêtes.

Il implémente ce type et ses opérateurs, fournissant au moins l'indexation spatiale et des algorithmes efficaces pour la jointure spatiale.

Relations spatiales

Propriétés essentielles car « tout ce qui se passe à un endroit est lié à ce qui se passe au voisinage et ce lien décroît avec l'éloignement.

(« 1 ère loi » en Géographie TOBLER 79)

Relations de 2 types

- Inter-couches : relations verticales
- Intra-couche : relations horizontales

II.5.3- Méta-données géographiques

Echelle, Emprise, Référentiel géographique (Système de projection), Qualité (incertitude de localisation et des attributs), Datation, ...

Tableau 7 : Méta-données géographiques

	RELATIONNEL	SPATIAL
Données	Entier, Réel, Texte ...	Plus complexe : Point, Ligne, Polygone ...
Prédicats et calculs	Tests : =, > ...	Prédicats et calculs géom. et topologiques : Tests : intersecte, adjacent à, ... Fonctions géom. : intersection, surface ...
Manipulation	Opérateurs de l'algèbre : Sélections, Projection, Jointure ... Agrégats : Count, Sum, Avg ...	Manipulation par thème ou inter-thèmes Section et jointure sur critère spatial Agrégats : fusion d'objets adjacents
Liens entre objets	Par clés de jointures	Liens spatiaux (souvent) implicites

II.5.3.1- Les particularités de la modélisation de BD Géographique :

- Sémantique
- Géométrie
- Topologie

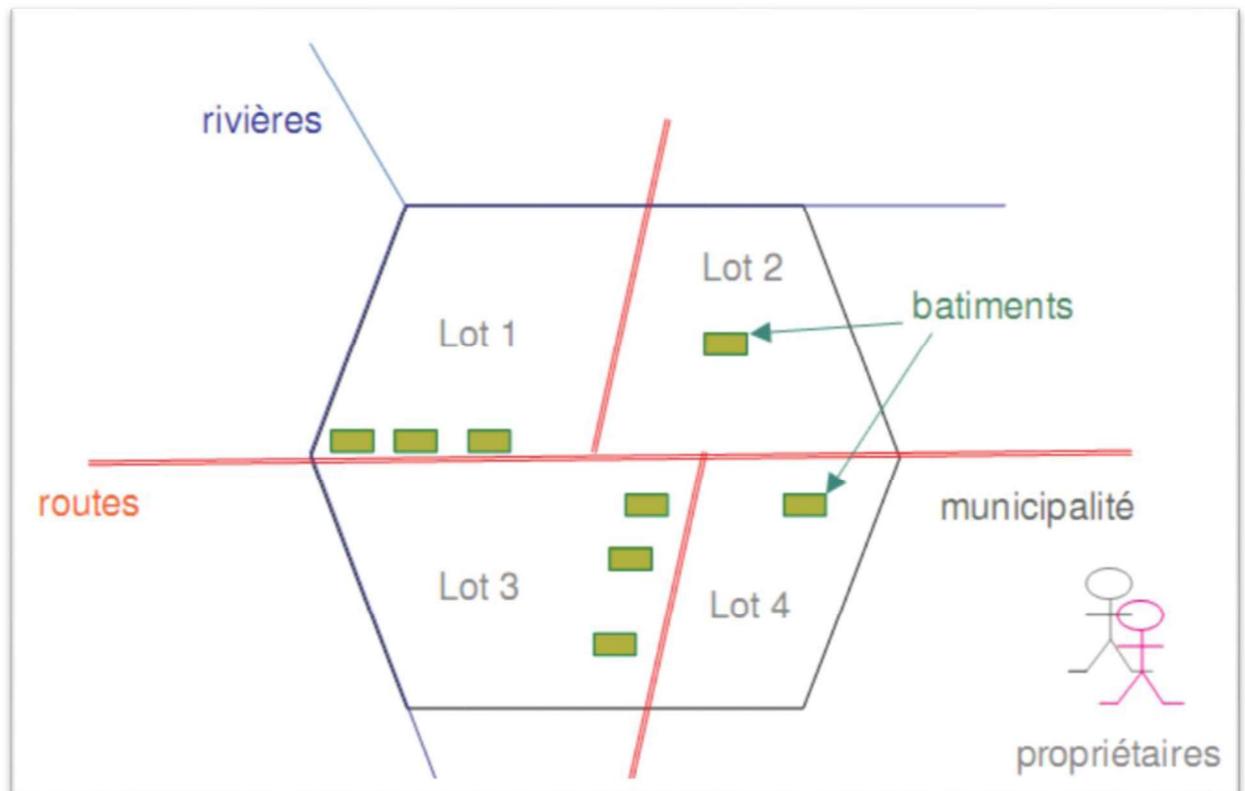
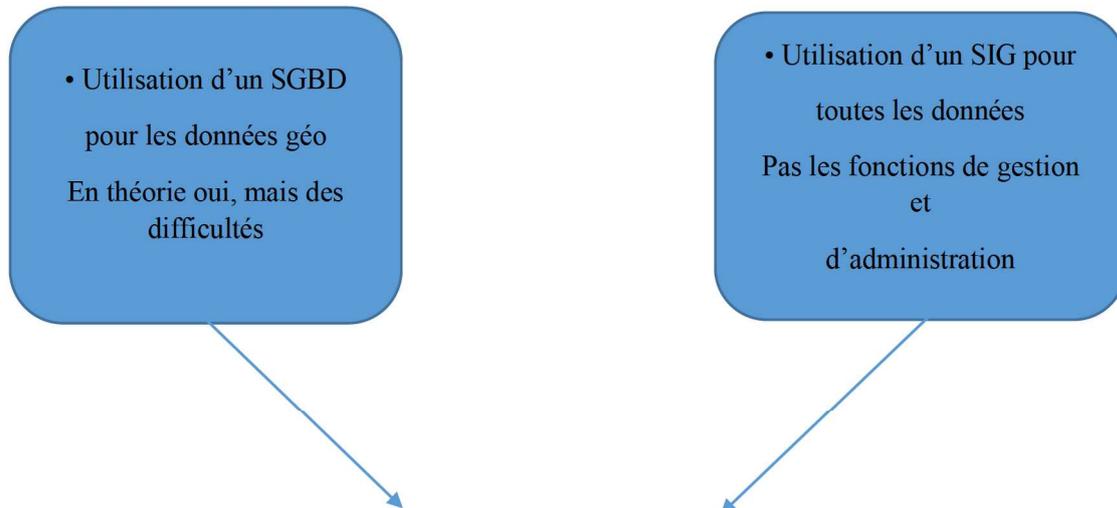


Figure 16 : schéma de modélisation de BD géographique

II.5.3.2- SGBD, SIG ?



Combiner la richesse de la structuration des données géographiques, un cas classique :

- Une BD classiques gérées par un SGBD pour les données descriptives
- Une BD contenant les entités géographiques (géométrie, topologie) gérée par un SIG-outil
- Lien entre les deux BD

II.6- Aide à la décision multicritère

L'aide à la décision est primordiale pour expliquer l'environnement de la décision, pour éclaircir son côté ombreux et pour orienter le décideur vers le chemin de la bonne décision. L'analyste se base sur des données multi sources, généralement ambiguës et imprécises de la part du décideur, son objectif est de construire des modèles formelles d'aide à la décision.

Beaucoup de disciplines s'investissent dans le contexte d'aide à la décision : l'informatique décisionnelle, le data mining, les SIG, l'intelligence artificielle, la simulation, la recherche opérationnelle, l'analyse multicritère etc.

Les méthodes d'analyse multicritère d'aide à la décision sont des techniques assez récentes et en plein développement. Par leur manière d'intégrer tout type de critères, ces procédures semblent mieux permettre de se diriger vers un

judicieux compromis plutôt qu'un optimum souvent désuet (Ben Mena, 2000). Le développement des méthodes multicritères d'aide à la décision a permis de prendre conscience de l'importance de la modélisation des préférences (Lagreze et Roy, 1980).

L'AMC a été appliquée depuis son émergence à des problèmes à référence spatiale, même sans l'utilisation du SIG (Chakhar, 2006).

II.6.1- Concept de la décision

La décision est définie comme étant « l'action de décider après délibération ». Une délibération doit se baser dans ce contexte sur la modélisation de l'environnement de la décision et sur des outils scientifique (généralement mathématique) pour agréger les préférences des décideurs. Pour les problèmes spatiaux, une visualisation et même une géo-visualisation de l'espace géographique dans lequel on doit décider est primordiale. Mintzberg, (1993) a donné une définition orientée théorie des organisations : « Une décision est l'engagement dans une action, c'est-à-dire une intention explicite d'agir ». Le but d'une décision est de résoudre un problème qui se passe à l'organisation ou l'individu. Mais la décision peut correspondre à un changement de l'environnement (comportement réactif) ou au désir de saisir une opportunité et ainsi changer l'environnement (comportement d'anticipation).

Décider est donc choisir une alternative mais selon Simon, (1983), l'alternative qui est finalement choisie ne permet jamais la réalisation totale ou parfaite des objectifs ; elle n'est que la meilleure solution possible dans des circonstances données. Pour converger vers une meilleure décision dans des circonstances souvent subjectifs et flous, ou il faut prendre en considération les avis de plusieurs parties prenantes l'aide à la décision s'impose.

II.6.1.1- L'aide à la décision

L'aide à la décision est généralement sollicitée par des organisations dans le cas où elles sont confrontées à des problèmes comme la planification, la localisation, l'allocation et la gestion de ressources, de dimensionnement de structure, de choix et d'évaluation, etc. Ces problèmes induisent une décision (ou une série de décisions) lourde(s) de conséquences, et que l'expérience et le bon sens, seuls, ne suffisent pas à éclairer. Cette série de décisions s'inscrit dans un processus appelé « processus de décision » (Lounes, 2013)

II.6.2- Définition de l'aide à la décision

Roy, (1985) a donné une définition que l'on trouve dans la plus part des travaux sur l'aide à la décision, selon l'auteur l'aide à la décision est : « l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part ». (Chakhar, 2006) conclut de cette définition que l'aide à la décision s'articule autour d'un processus de décision suivant le modèle classique de l'économiste H. Simon (Simon, 1960) qui se base sur un processus de décision en trois phases (intelligence, conception et choix). Les acteurs d'aide à la décision doivent s'insérer dans le processus de décision (Martel, 1999). Landry (1998) remarque que le succès d'une démarche d'aide à la décision dans une organisation nécessite la compréhension de l'ensemble du processus de décision dans lequel s'insère cette aide, ce qui implique une capacité d'appréhender adéquatement le problème qui justifie l'origine et qui alimente, par la suite ce processus.

Au cours des processus d'aide à la décision, il convient de distinguer principalement deux intervenants : l'homme d'étude et le décideur qui représente selon Dorra, (2010) un acteur bien identifié, doté de pleins pouvoirs, agissant en vertu d'un système de préférences rationnel au sens d'un certain corps d'axiomes excluant l'ambiguïté et l'in comparabilité. Dorra (2010) a ajouté que toute activité d'aide à la décision fait intervenir un décideur.

Celui-ci, est un intervenant principal à qui s'adresse l'aide à la décision et occupant une place centrale dans le processus de décision.

II.6.2.1- Formulation d'un problème multicritère

Un problème multicritère est formulé par l'expression suivante :

$$\text{Opt } \{(g_1(x), g_2(x) \dots g_m(x)) / x \in A\}$$

g_1, g_2, \dots, g_m désignent les fonctions critères qui correspondent à m critères. A est l'ensemble des actions admissibles. Il s'agit d'un problème mathématiquement mal posé, c'est-à-dire sans solution objective.

Par contre, un problème monocritère est simplement formulé par l'expression :

$$\{\text{Opt}(g(x)) : x \in A\}$$

Ce modèle traduit généralement un problème bien structuré et bien défini mathématiquement, qui s'impose à la fois au décideur et à l'homme d'étude.

II.6.3- Analyse multicritère et aide à la décision spatiale

L'AMC a été appliquée depuis son émergence à des problèmes à référence spatiale, même sans utilisation du SIG (Chakhar, 2006). Ci-dessous quelques travaux recensés par Chakhar, (2006) et actualisés dans le cadre de cette thèse, ces travaux sont cités selon leurs domaines d'utilisation :

- Localisation :(Martel et Aouni, 1992) ; (Khalil et al. 2003), (Bernadette, 2007), (Gourion et al. 2012).
- Aménagement et utilisation du sol : (Beinat et Nijkamp, 1998) ; (Koo et Connell, 2006).
- Allocation /affectation, plus court chemin, planification urbaine et régionale, zonage, environnement :(Lahdelma et al, 2000) ; (Kiker et al. 2005).
- Gestion forestière (Tarp et Helles, 1995) ; (Tecele, 1998).
- Agriculture (Janssen et Rietveld, 1990) ; (Francis , 2013)
- Gestion et conservation des ressources en eau : (Raju et Pillai, 1999a) ; (Raju et Pillai, 1999b) ; (Petit et Bruno, 2009), (Bachta, 1995).
- Planification du transport : (Clímaco et al, 1993) ; (Jankowski, 1995) ; (Marius, 2009)

Les travaux cités précédemment ont montré des limites de l'AMC pour la prise en charge des caractéristiques géographiques des problèmes géo-décisionnels. Chakhar, (2006) a constaté à partir de la littérature que les logiciels d'AMC sont peu pratiques dans l'aide à la décision à référence spatiale pour les deux raisons suivantes :

- Les logiciels d'AMC ne disposent pas de capacités nécessaires pour la gestion des données à référence spatiale.

- Les logiciels d'AMC manquent d'outils nécessaires à la représentation cartographique des résultats qui peuvent améliorer leur compréhension.

On a remarqué pendant les travaux de cette thèse que le décideur ne peut pas être convaincu des propos de l'analyste sans la visualisation de la géographie du problème (critères et action).

Le décideur ou l'homme d'étude ne peut pas prononcer ces préférences sans l'étude géographique des éléments décisionnels du problème à traiter.

L'intégration du SIG et l'AMC semble être la meilleure solution pour combler leurs lacunes respectives (Chakhar, 2006).

II.6.3.1- Méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils (procédures d'agrégation) qui servent à aider pour décider et non pas pour décider. Le processus de décision basé sur l'AMC doit faire sortir la bonne décision de l'esprit du décideur dans un environnement multicritères ou certain critères sont conflictuels.

Les méthodes d'analyse multicritère permettent de se diriger vers un judicieux compromis plutôt qu'un optimum. Les actions sont généralement désignées par un ensemble :

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ où n est le nombre d'actions

Si le nombre des actions n est fini, les méthodes associées sont discrètes et s'il est infini les méthodes associées sont continués.

Les actions sont évaluées et comparées sur la base d'un ensemble de critères d'évaluation :

g_1, g_2, \dots, g_m m est le nombre de critères. L'évaluation d'une action a selon un critère g_j est notée (a, g_j) .

Pour comparer les actions de l'ensemble A , il est nécessaire d'agrégier les évaluations partielles (i.e. par rapport à chaque critère) en une évaluation globale en utilisant un mécanisme d'agrégation donné. Dans la catégorie discrète, il existe deux approches d'agrégation : (i) approche du critère unique de synthèse, et (ii) approche de surclassement de synthèse.

II.6.3.2- AHP (Analytic Hierarchy Process)

Depuis son invention par T.L Saaty en 1980 (Saaty, 1980), AHP est très utilisée par les chercheurs et les praticiens, surtout dans les pays anglophone. C'est une méthodologie systématique, flexible et simple pour l'aide à la décision multicritères.

AHP est une méthode d'aide à la décision multicritère, qui s'appuie sur le calcul des vecteurs et des valeurs propres, et sur une échelle allant de 1/9 (le poids le moins estimé) à 1 (pour l'égalité) jusqu'à 9 (pour le poids le plus absolument important)

Tableau 8 : Echelle de Saaty (Saaty, 1977).

	Degré de préférence
1	Importance égale
2	Importance faible
3	Importance assez modérée
4	Importance modérée
5	Importance assez forte
6	Importance forte
7	Importance très forte
8	Importance extrême
9	Importance capitale

L'application de la méthode AHP commence par la structure hiérarchique du problème à traiter avant l'évaluation et le calcul des priorités.

Les critères peuvent être qualitatifs ou quantitatifs (Saaty, 2007). La structure hiérarchique est descendante, de l'objectif qui se trouve en racine jusqu'aux alternatives qui constituent les feuilles de la hiérarchie arborescente, cette structure clarifie le problème et reflète la tendance naturelle de l'esprit de l'homme (Hua et al. 2008).

Les INPUT de cette méthode sont les matrices de comparaison par pairs, la méthode AHP s'applique selon l'organigramme ci-dessous :

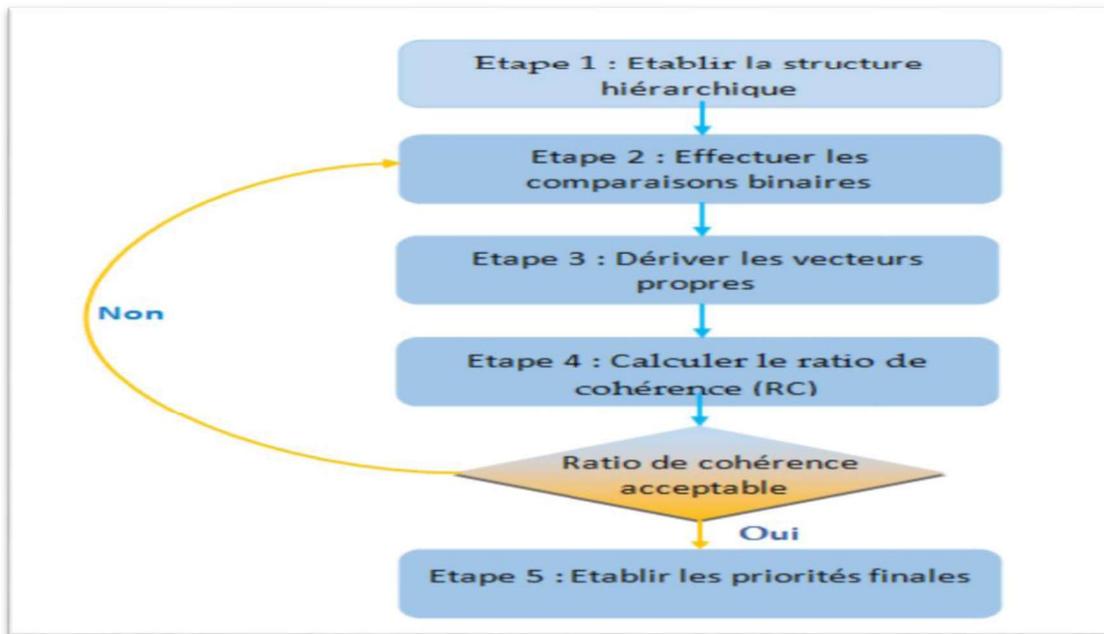


Figure 17 : organigramme de la méthode AHP

- **Étape 1** : Etablir la structure hiérarchique qui consiste à décomposer le problème aussi complexe soit il en une structure hiérarchique à travers des niveaux :

Niveau 0 : Définir l'objectif cible.

Niveau 1 : Définir les critères de jugements principaux.

Niveau intermédiaire : Il peut y avoir plusieurs pour déterminer les sous critères

Dernier Niveau : Définir les alternatives ou les actions possibles.

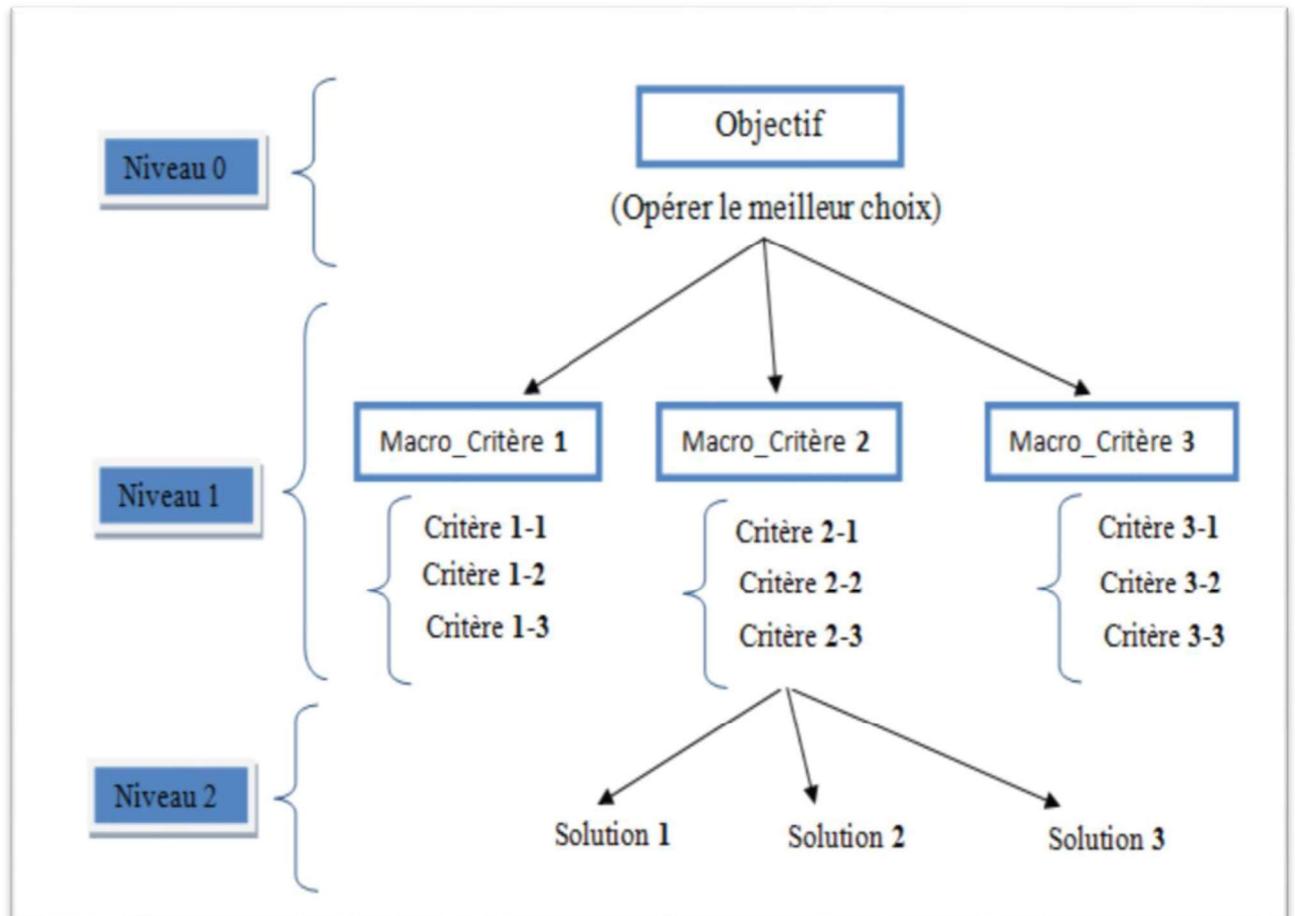


Figure 18 : organigramme de la 1^{ère} étape de la méthode AHP (structure hiérarchique)

- Étape 2 : Effectuer les pondérations binaires

Cette étape consiste à étudier les points suivants :

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur en utilisant l'échelle de 9 points de T.L Saaty.
- Former une matrice carrée réciproque $N \times N$ composée par les ratios issus des Comparaisons. N étant le nombre d'éléments comparés,

$A = [a_{ij}]$ avec $a_{ii} = 1$ pour $i = 1, \dots, K$ et $a_{ji} = 1/a_{ij}$ (valeur réciproque)

	A1	A2	A3
A1	1	3	6
A2	1/3	1	2
A3	1/6	1/2	1

Figure 19 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire.

- Étape 3 : Calcul des priorités

Le but est de trouver un ensemble de poids w_1, \dots, w_n , tel que w_i/w_j correspond aux comparaisons a_{ij} dans la matrice de comparaison par pair. Le calcul se fait selon les trois étapes ci-dessous :

- Effectuer la somme des éléments de chaque colonne j :

$$\sum a_{ij} = 1 \quad \forall i, j \quad (2.2)$$

- Diviser chaque élément de la matrice par la somme des éléments de sa colonne (Normaliser) :

$$a_{ij}' = a_{ij} / \sum a_{ij} \quad \forall i, j \quad (2.3)$$

- Calcul de la moyenne de chaque ligne i :

$$w_i = \sum a_{ij}' = 1/n \quad (2.4)$$

Remarque : Le calcul des priorités revient au calcul des vecteurs et des valeurs propres.

- Étape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC) :

Les priorités calculées ont un sens seulement si les matrices de comparaison par pair sont cohérentes (Respect de la transitivité), un contrôle de cohérence doit être appliqué. Saaty, (1977) a proposé un indice de cohérence (IC) qui se calcule en se basant sur le calcul des valeurs propres :

$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ (2.5) Tel que :

n est la dimension de la matrice de comparaison

λ_{\max} est la valeur propre maximale de la matrice de comparaison.

Le ratio de consistance est calculé par la formule :

$RC = IC/IA$ (2.5) tel que :

RC : est le ratio de cohérence.

IA : est l'indice aléatoire.

IC : est l'indice de cohérence.

Si RC est inférieur à 10 %, alors la matrice est considérée comme consistante et acceptable sinon il faut revoir les comparaisons. Le tableau illustre les indices acceptés par Saaty selon les dimensions de la matrice.

IA est un indice aléatoire qui a été déterminé par T.L Saaty, (Saaty, 1977) d'une manière empirique,

Tableau 9 : Les ratios de cohérence acceptable (Saaty, 1977).

Taille de la matrice (n)	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et +	0,10

Figure 20 : Les indices de cohérence aléatoire Satty (1977) :

N = nombre de critère	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

- Étape 5 : Établir les priorités finales

La dernière étape doit synthétiser les priorités locales à travers tous les critères pour déterminer la priorité globale. L'approche d'AHP utilisée est appelée « mode distributif » qui adopte une fonction additive avec normalisation de la somme des priorités locales à l'unité :

$$p_i = \sum_j l_{ij}$$

l_{ij} : Priorité locale

w_j : Poids du critère j

Il faut remarquer que le mode distributif cause le problème du renversement du rang qui est une des limites de la méthode AHP (Ishizaka et Labib, 2011) Une importante littérature traite les avantages et les inconvénients d'AHP (Forman, 1993), nous résumons les avantages de la méthode AHP dans les points suivants :

- Simplicité d'utilisation.
- Élimination des ennuis dus aux unités de mesure.
- Bonne illustration graphique.
- Évaluation de plusieurs attributs (critères et alternatives à la fois souvent contradictoires).
- Possibilité de valider la cohérence sur la base du calcul de la valeur propre.

La méthode AHP présente toutefois certaines limites qui doivent être prises en compte lors de son utilisation (DeVecchio, 2006) :

- Renversement du rang Une des principales critiques de la méthode AHP réside dans le fait qu'il y a possibilité de renversement du rang des alternatives dit « Rank reversal » lors de l'ajout ou la suppression de critères.
- Nécessité d'interprétation des résultats Les résultats obtenus grâce à la méthode AHP s'avèrent très utiles dans une prise de décision. Par contre, le jugement et l'expérience d'experts sont et seront toujours nécessaires pour interpréter l'ordre définitif des options ainsi que la décision finale.
- Subjectivité de l'analyse Il est important de noter qu'une analyse individuelle avec la méthode AHP sera toujours influencée par la vision et les valeurs

personnelles du répondant. La subjectivité sera inévitablement introduite dans l'analyse puisqu'il s'agit de l'intuition du décideur et sa perception de l'environnement de la décision. Dans les travaux de cette thèse, nous avons proposé une base de règle pour un prétraitement des critères qui permet d'alléger le problème de renversement du rang. La logique floue est introduite au niveau des comparaisons par paires pour surmonter le problème de subjectivité des décideurs.

**Chapitre III : la
modélisation de
vulnérabilité aux
maladies a transmission
hydrique (MTH)**

III.1-Introduction

Au sens général de l'expression, les maladies hydriques (ou maladies à transmission hydrique) sont les maladies (et par extension les risques sanitaires) liés à la qualité de l'eau et à l'accès à l'eau potable. Ce sont souvent des « maladies évitables » à traiter comme enjeu de santé environnementale.

III.2- Les maladies transmissibles

III.2.1- Définition de maladies transmissible

Les maladies transmissibles sont définies comme suit :

Selon le dictionnaire médicale¹ « Le mot Maladie transmissible est due à des pathogènes qui se propagent facilement, Egalement appelée maladie contagieuse. »

Et d'après le rapport annuel de santé médecine a qualifié de maladie transmissible « toute affection qui peut être communiquée d'un individu contaminé à un autre en bonne santé. Les maladies sont transmises par voie aérienne, par les éternuements ou la toux. L'affection peut également se transmettre en entrant en contact cutané ou sexuel avec une personne malade, ou en respirant un air contaminé par des micro-organismes. De la nourriture ou une surface infectée peuvent également être des modes de communication d'une maladie transmissible ».

III.2.2- Définition de maladies infectieuse

Les maladies infectieuses selon le rapport publié sur santé –médecine « Quand un agent infectieux pénètre dans l'organisme, il lui transmet une maladie infectieuse. L'agent infectieux peut être un champignon, une bactérie, un virus ou un parasite.

La contagion d'homme à homme n'est pas automatique. Le paludisme ou le tétanos, transmis respectivement par un parasite et une bactérie, ne sont pas contagieux. Mais les maladies sexuellement transmissibles ou la tuberculose se transmettent d'homme à homme. Pour prévenir la contagion, on peut avoir recours à des traitements préventifs, à la vaccination ou à des mesures de protection »

III.3- La typologie des maladies transmissible MT :

On classe les infections en fonction de la nature des germes impliqués :

- **L'infection virulente** : elle est provoquée par des germes qui agissent par leur seul pouvoir virulent.

- **L'infection spécifique** : elle est caractérisée par les effets de la toxine libérée dans l'organier

- **L'infection mixte** : elle est à la fois virulente et t'oxygène. C'est le cas de la gangrène gazeuse

- **La toxi-infection** : elle est le plus souvent d'origine alimentaire. Les bactéries ingérées libèrent dans la lumière intestinale des toxines. La dysenterie bacillaire, commence toujours par des diarrhées, puis se poursuit par les signes généraux d'une intoxication (asthénie, anorexie, tufhos, etc.) Les germes restent localisés dans le gros intestin.

- **L'intoxication** : elle se définit comme l'ingestion de la seule toxine bactérienne. La maladie peut se développer ultérieurement, même sans la présence du germe responsable.

III.4- L'eau et les maladies

III.4.1- Clarification des concepts

Clarification des concepts Les concepts définis sont ceux relatifs aux ressources en eau, à la qualité et l'accessibilité de l'eau, à l'environnement, à l'assainissement et à la santé humaine.

III.4.2- Ressources en eau

Elles sont définies comme "l'offre en eau" de la nature, à comparer aux demandes en eau du point de vue social et économique. Il existe des ressources en eau naturelles renouvelables et des ressources en eau naturelles non renouvelables. Autrement, elles représentent la quantité d'eau de surface ou souterraine disponible à l'échelle mensuelle ou annuelle dans une région et susceptible de satisfaire les besoins domestiques, industriels, agricoles ou autres. Dans ce cas, les ressources en eau sont des eaux souterraines (ou superficielles) renouvelables et disponibles (offre/demande) quantitativement pour la satisfaction des besoins des ménages³.

III.4.2.1- Définition de l'eau

L'eau (H₂O) est un liquide inodore insipide et incolore constitué d'hydrogène et d'oxygène. Forme des cours d'eau, des lacs et des mers. L'eau (H₂O) est un élément essentiel pour tous les organismes vivants.

III.4.2.2- L'Eau potable

Une eau potable ne contient pas d'organismes pathogènes (pouvant causer des maladies), de composés chimiques dangereux ni de substances radioactives. Elle a un bon goût et une belle apparence. Elle ne dégage pas d'odeur et ne présente pas une couleur désagréable. Dans ce cas, l'eau potable est exempte de contaminants physicochimiques et bactériologiques pouvant nuire à la santé de l'homme.

III.4.3- Accès à l'eau potable

Selon l'OMS, chaque individu a accès à l'eau potable s'il est desservi par un réseau ou une pompe à moins de 200 m de son habitation. Une personne a accès facile à une eau de boisson de qualité, lorsqu'elle dispose de cette eau sur place ou dans les 15 minutes de marche de son domicile. Dans ce cas, un individu a accès à l'eau potable s'il dispose d'un robinet d'eau potable à domicile ou à côté ou à une distance qui garantit la qualité de l'eau.

III.4.3.1- Définition des eaux usées

Une eau usée est une eau chargée de substances minérales ou biologiques, issues de l'activité humaine provoquant, sous une concentration anormale, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur. On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales, les eaux agricole.

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance des rejets excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

III.4.3.2- Pollution des eaux Selon l'OMS

Pollution des eaux selon l'OMS, il y a "pollution des eaux" lorsque la "composition ou l'état des eaux est directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme et dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins

facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel 'Ici, la pollution de l'eau est la modification de la qualité de l'eau par les matières organiques et les microorganismes provenant des activités humaines.

III.4.3.3- Environnement

L'environnement est un espace où sont situés les facteurs et les conditions déterminant l'état et l'évolution d'un être vivant, d'un écosystème ou d'un élément artificiel (de PARCEVAUX, 1990). Ici, l'environnement est un milieu naturel dont les composantes sont influencées par les actions de l'homme, et qui en retour agissent sur la vie de celui-ci.

III.4.4- Assainissement

L'assainissement est une technique, qui, à l'origine visait à évacuer les eaux de ruissellement, à mettre « hors d'eau » des bâtiments et de leurs accès. La modernisation de cette technique dans le temps a conduit à évacuer également les effluents provenant des activités humaines et industrielles. L'UNESCO et la Banque mondiale définissaient l'assainissement comme « le maintien de conditions de propreté et d'hygiène qui aident à prévenir les maladies » (NASEKWA et KIZA, 2008). Dans ce cas-ci, l'assainissement est la propreté, l'hygiène que l'homme apporte à son être, son environnement et dans la société où il vit afin de se garantir une bonne santé.

III.4.4.1- Hygiène publique

C'est l'ensemble des mesures de protection de la santé. Elle couvre la protection de l'individu, de la collectivité, elle englobe la prophylaxie des maladies transmissibles, hygiène alimentaire, l'éducation pour la santé, l'assainissement.

III.4.4.2- Santé

L'OMS définit la santé comme un état de complet bien-être qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité physique, mental et social. La santé est aussi un état d'équilibre dynamique entre l'individu, son entourage humain et son environnement matériel. Dans ce cas, la santé est conditionnée par l'hygiène de l'environnement et par la qualité de l'eau utilisée par l'homme dans son milieu. La problématique de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Cotonou mérite des réflexions. Bon nombre d'études ont permis d'élucider la question de l'eau potable dans le monde et à Cotonou ; elles représentent une balise à partir de laquelle cette recherche est menée dans l'optique d'une

contribution à la résolution de cette problématique de l'eau potable à Cotonou. Pour le faire, une méthodologie est adoptée.

III.5- Les maladies à transmission hydrique

III.5.1- Définition des maladies hydrique MTH

D'après Bouziane. M, les maladies hydriques sont « les maladies (et par extension les risques sanitaires) liés à la qualité de l'eau et à l'accès à l'eau potable. Les maladies à transmission hydrique (appelées également maladies des mains sales ou maladies des canalisations) constituent un groupe de maladies à allure épidémique, dont la symptomatologie est le plus souvent digestive (diarrhées, vomissement ...) et dont la nature et propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté ».

III.5.1.1- Classification des maladies d'origine hydrique

On détermine 5 classes de pathologies d'origine hydrique :

- Les pathologies liées à l'eau de boisson souillée par les microorganismes ;
- Les pathologies liées à la mauvaise qualité chimique de l'eau de boisson ;
- Les pathologies transmises par les agents pathogènes qui utilisent des hôtes intermédiaires évoluant dans l'eau ;
- Les pathologies transmises par des vecteurs évoluant dans l'eau ;
- Les pathologies liées à la pénurie d'eau.

III.5.2- Les principales maladies à transmission hydrique :

Les maladies infectieuses la fièvre typhoïde ; la dysenterie bacillaire et le cholera sont des maladies infectieuses bactériennes à transmission hydrique. Elles sont à déclaration obligatoire et font l'objet d'un suivi intersectoriel, du fait que leur apparition dans une région donnée témoigne d'une dégradation importante de l'hygiène publique : cross-connexions entre les réseaux d'AEP et réseaux d'assainissement ; vides sanitaires mal conçus et régulièrement inondés par les eaux usées ; infiltrations des eaux usées de surface.

Ces trois maladies ont également en commun.

III.5.2.1- La fièvre typhoïde :**Définition :**

La fièvre typhoïde est une toxi-infection contagieuse, fréquente à déclaration obligatoire c'est une bactériémie à point de départ l'lymphatique mésentérique. La fièvre typhoïde est une infection bactérienne dans le réservoir de germes.

Agent pathogène : salmonelles majeurs :

- Salmonella typhoïde (bacille d'Eberth)
- Salmonella paratyphus A, B, C
- Entérobactérie gram négatif
- Munie d'une endotoxine. Résistante dans le milieu extérieur, particulièrement dans l'eau ;
- Cliniquement : Elle se manifeste par une symptomatologie digestive et générale secondaire à la multiplication de la bactérie dans l'intestin et son passage après dans le sang ;
- Diagnostic positif : hémoculture, coproculture, sérodiagnostic de « Widal et Félix ».

Transmission :

- inter humaine (selles, linge souillé mains sales) ;
- Indirect : eau et aliments contaminés ;

Période de contagiosité :

Cette période s'étale pendant toute la durée d'élimination des germes. Les germes sont éliminés de début de la deuxième semaine chez les typhique et cela pendant une durée variable selon le statut définitif de portage.

III.5.2.2- Le Choléra :

Le cholera est une maladie d'origine diarrhéique aigue due à l'intégration d'aliments ou d'eau d'aliment ou d'eau contaminé par le vibron cholera.

Définition :

Le choléra est une maladie toxi-infection due à des vibrions pathogènes apparentant aux vibrions cholériques, le cholera provoque une diarrhée dont l'importance dépend de l'intensité des désordres causes par imprégnation d'épithélium intestinal par la toxine cholérique.

La diarrhée peut n'avoir aucune caractères spécifique si elle est classique par contre, elle correspond, si elle est majeure, au tableau classique de la maladie communément appelée choléra. Ce tableau est caractérisé par l'aspect purement hydrique des déjections et intensité de déshydratation qui résulte de l'abondance des selles.

Agent pathogène

- Vibron choléra O1.
- Bacille gram négatif.
- Deux agents occasionnent le choléra : vibron classique et le vibron choléra El Tor 6.

Réservoir

C'est l'eau, et non l'homme, qui semble constituer le véritable réservoir du choléra. la présence du vibron est en effets permanente dans les eaux même en dehors des périodes épidémiques.

Par ailleurs, le vibron disparaît rapidement de l'intestin de l'homme, que l'homme soit la malade ou porteur asymptomatique. Le vibron ne resterait présent que 7 jours environ dans les selles de l'homme.

Dans les conditions d'endémie, on compte 8 à 10 porteurs asymptomatiques pour un malade.

Le porteur asymptomatique ne semble pas jouer un rôle majeur dans la dissémination du choléra. Les vibrions sont éliminés par les selles et aussi les vomissements dans graves d'infection.

Transmission :

- Direct : Inter humaine par manipulation de produits contaminés ou de cadavres : maladie des mains sales.
- Indirect : eau et aliments souillés.
- Clinique : le tableau typique : l'aspect purement hydrique des selles, la déshydratation.
- Diagnostic positif : coproculture et sérologie.

Période de contagiosité :

En règle générale courte (7 jours) pour le malade et le porteur sain même si théoriquement cette période peut se prolonger jusqu'à négativation des selles.

III.5.3- Hépatites virales A et E :**Définition :**

Hépatite est une inflammation du foie secondaire à l'infection des hépatocytes par plusieurs types de virus dont le VHA et le VHE.

- Hépatite A : maladie infantile bénigne.
- Hépatite E : touche les adulte, la mortalité est importante (80%) surtout chez la femme enceinte.

Agent pathogène :

- VHA : picora virus, résistant aux antiseptiques et à la chaleur.
- VHE : moins résistant dans le milieu extérieur, plus sensible aux désinfectants et au chlore.
- VHA et VHE sont éliminés dans les selles.

Transmission :

L'eau polluée est la principale source de contamination pour ces hépatites épidémiques.

- Clinique de l'Hépatite A : fièvre, signes gastro-intestinaux, ictère.

Hépatite E : risque d'hépatite fulminante.

- Diagnostic positif : Hépatite A : sérologie (anti-VHA).

Hépatite E : coproculture

Réservoir :

L'homme est le réservoir essentiel de la maladie même si le virus a pu être isolé des selles du chimpanzé au stade aigu de la maladie. Les selles constituent la source immédiate de l'infection. La possibilité d'une élimination buccale et rhinopharyngée du virus peut être envisagée.

Période de contagiosité

La période de contagiosité débute pendant la deuxième moitié de la période d'incubation et peut se prolonger quelques jours après le début de l'ictère. La plupart des hépatites ne sont plus infectieuses une semaine après le début de l'ictère. L'élimination fécale des virus semble cesser au moment du pic des transaminases.

III.5.3.1-Dysenteries

Définition

La dysenterie est une maladie aiguë ou chronique du gros intestin, caractérisée par l'évacuation de selles petites et liquides, souvent pleines de sang et glaireuses, accompagnées de coliques violentes. L'ulcération de la paroi intestinale est parfois possible. Bien que des cas graves de diarrhée soient souvent appelés dysenterie, ce terme désigne au sens strict une maladie causée soit par une amibe spécifique, *Entamoeba histolytica*, soit par un bacille du côlon.

Transmission :

- Direct : Infection manu portée.
- Indirect : Aliments souillés et consommés crus (irrigation par des eaux usées) et par aussi des mouches.
- Affection parasitaire colique extrêmement fréquente.

Agent pathogène :

- Protozoaire, fragile dans le milieu extérieur.
- La forme kystique plus résistante, représente l'agent de dissémination de la maladie.
- Transmission : eau et aliments souillés par les kystes, éliminés dans les selles des malades et les porteurs sains.

III.6- Qui est John Snow, ce héros, père de l'épidémiologie ?

En ce moment, on parle beaucoup d'épidémiologie (et pour cause !). Dans les médias, on n'a jamais autant donné la parole aux médecins, aux infectiologues et aux épidémiologistes et c'est une bonne chose. Contrairement à la médecine qui étudie la maladie à l'échelle de l'individu (poser un diagnostic, identifier les causes, les symptômes et proposer un traitement au patient), l'épidémiologie est une science qui s'intéresse aux maladies à l'échelle d'une population (humaine ou animale), ainsi que leur répartition dans l'espace et le temps. Ainsi, l'épidémiologie s'intéresse à tous les facteurs environnementaux liés aux maladies.

III.6.1- Comment l'épidémiologie est née et qui a été son « inventeur » ?

On considère que l'épidémiologie est véritablement née en 1854 pendant l'épidémie de choléra qui sévissait à Londres et que son inventeur est un certain John Snow. Non, non pas le personnage auquel vous pensez. John Snow, un médecin qui exerçait à Londres à l'époque, médecin des pauvres du quartier de Soho.

III.6.2- Qui est John Snow ?

John Snow (1813-1858) est un médecin anglais, né dans une famille pauvre. Il devient végétarien à l'âge de 17 ans, au cours de son apprentissage. Sa première contribution à la communauté scientifique n'est pas celle que vous croyez. Avant d'inventer l'épidémiologie, il crée d'abord un inhalateur de vapeur d'éther afin de contrôler la quantité dispensée aux patients. Son inhalateur est équipé d'un variateur permettant une meilleure administration des gaz. Cette invention contribuera à démocratiser l'anesthésie générale. C'est lui qui anesthésie la Reine Victoria avec du chloroforme pour la naissance du prince Leopold et de la princesse Beatrice (8ème et 9ème enfants de la reine). Contrairement à d'autres médecins qui cherchent à breveter leurs inventions liées à l'anesthésie, John Snow publie les plans des siennes afin de les rendre accessibles à tous (merci John !).

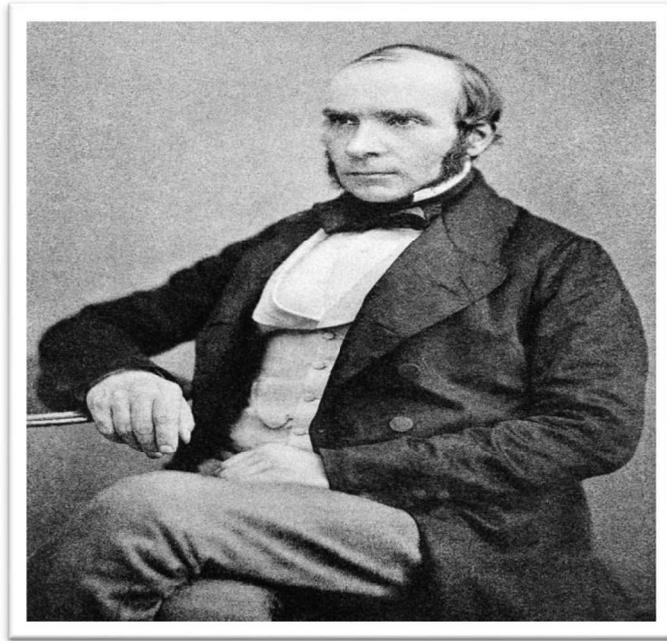


Figure 21 : John snow

III.6.2.1- Les épidémies de choléra

John Snow est confronté pour la première fois à une épidémie de choléra pendant son apprentissage, d'octobre 1831 à février 1832. Il affronte seul cette épidémie et on peut légitimement penser que cela laissa des traces. A l'époque, on pense que le choléra est propagé dans l'air, en particulier l'air infecté des abattoirs. On en voulait pour preuve l'odeur putride qui s'en dégageait. Imaginez, si vous en avez le courage, l'état sanitaire des abattoirs de l'époque (ce n'est peut-être pas si étonnant qu'un médecin comme Snow soit devenu végétarien). John Snow n'adhère pas à cette théorie car il constate que les employés des abattoirs ne sont pas nécessairement les premiers concernés par l'épidémie. Il soupçonne que l'eau de boisson joue un rôle.

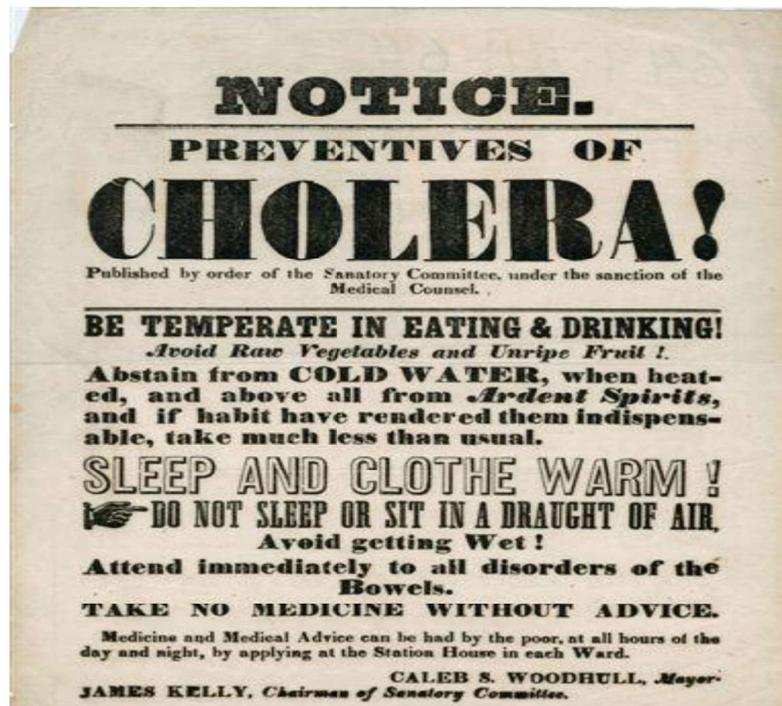


Figure 22 : notice de prévention contre le choléra, Londres 1954

III.6.2.2- La première cartographie épidémiologique

A Londres, l'eau des familles est puisée dans la Tamise. Soit en amont, soit en aval des égouts (!!!). John Snow place sur une carte de Londres tous les cas de choléra. Cette carte montre que les cas de choléra sont situés majoritairement en aval des égouts. Il explique que les gens se contaminent par l'absorption de matières fécales contenues dans l'eau de boisson pompée en aval des égouts. Mais personne ne le croit.

Il faut attendre l'épidémie de 1853 pour qu'on le prenne au sérieux. De nouveau, le médecin cartographie les lieux de résidence et de travail des malades et des 578 morts. Cette cartographie révèle que les décès sont liés à une pompe à eau publique et qu'il y a dissémination du choléra par la distribution de l'eau. John Snow a identifié la source de la contamination. Il fait enlever le bras de la pompe à eau et l'épidémie finit par disparaître. C'est ainsi que John Snow, a sauvé des centaines de vies, peut-être davantage et est devenu un héros (un vrai !). L'épidémiologie était née.

Grâce à l'épidémiologie, on peut aujourd'hui comprendre comment les épidémies naissent et se propagent et identifier les épicentres.



Figure 23 : La première cartographie épidémiologique réalisée par John Snow (1854)

Pour donner une explication à la méthode de John Snow comment ça marche en peut donner la démarche suivante :

- 1- Ramener la carte épidémiologique de John Snow.
- 2- Superposé cette dernière sur un plan de la ville de Londres.
- 3- Mentionner ponctuellement les décès.
- 4- Mentionner ponctuellement les pompes à eau.

Les figures ces dessous (25, 26,27) montre bien la démarche suivi par John Snow afin de réalisé une carte qui contient la localisation des décès et les pompes a eau dans la ville de Londres :



Figure 24 : La carte épidémiologique

+



Figure 25 : La ville de Londres

=



Figure 26 : Résultat de superposition

En passant maintenant à notre méthode de travail pour réaliser une Modélisation de la vulnérabilité avec la nouvelle symbologie du hot spot (heat map) à l'aide de La première carte épidémiologique réalisée par John Snow. Voir les figures (28,29,30)



Figure 27 : représentation ponctuelle des décès.

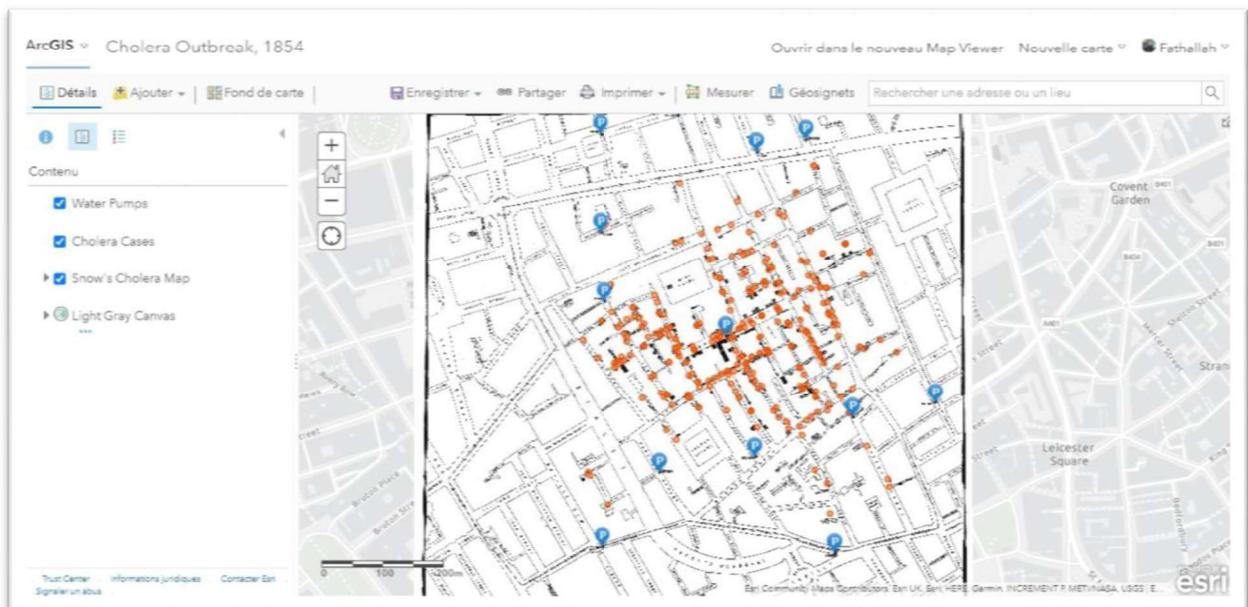


Figure 28 : représentation ponctuelle des pompes à eau.

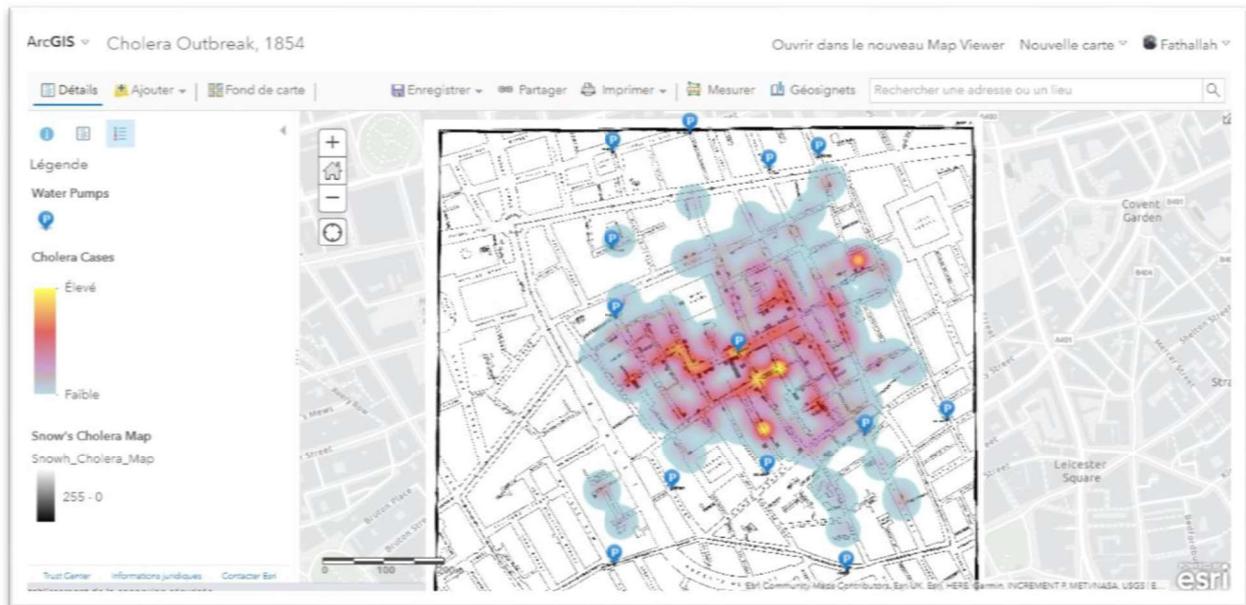


Figure 29 : Modélisation de la vulnérabilité (symbologie du hot spot "heat map")

III.7- Le risque MTH dans la ville de Tiaret

En raison de son expansion rapide et du développement de ses activités, la ville de Tiaret et La population en excès de vitesse a vu sa demande en eau continuer à augmenter. L'eau de consommation n'est pas toujours suffisant après avoir enlevé la pollution, certains des éléments détectés sont assez étonnants. Dans la commune de Tiaret, le risque de maladies microbiennes liées à l'eau potable est actuellement une menace élevée. La propagation de ces maladies est due à la mauvaise qualité de l'eau causée par divers facteurs, tels que :

- Urbanisation anarchique rapide et incontrôlable, réseaux délabrés, croissance démographique importante.
- La pénurie de ressources en eau, en particulier la pénurie de gestion de l'eau, fait que la qualité de l'eau n'est pas liée aux problèmes de santé humaine et d'environnement. Mettre en évidence les vraies causes de fragilité dans le temps et dans l'espace. Il est nécessaire de spatialiser les différents paramètres qui affectent le niveau de vulnérabilité.

La carte des risques MTH met en évidence l'hétérogénéité géographique (spatiale) de l'exposition (spatialisation à travers divers facteurs de risque et vulnérabilités induites).

L'indice des paramètres de vulnérabilité spatiale génère un grand nombre de variables, et son interaction nécessite la mise en place d'une base de données géoréférencée liée au SIG. Quel Il permettra de concevoir des scénarios de modélisation des risques MTH et de leur impact sur l'espace urbain. Les applications SIG et les méthodes d'analyse spatiale sont utilisées en épidémiologie et en géographie de la santé. C'est le résultat de la prise de conscience de l'intérêt pour un meilleur positionnement Populations et territoires confrontés à des risques de santé publique (Charlotte Roudier Davel 2006).

III.7.1- Les facteurs de vulnérabilité liés aux maladies à transmission hydrique (MTH)

L'apparition des foyers épidémiques est liée à la convergence de plusieurs facteurs aggravants dont les effets cumulés expliquent l'état de vulnérabilité :

- Les cross connexion entre l'assainissement et l'AEP.
- L'insuffisance des ressources hydriques.

- Une forte poussée démographique.
- Vétusté du réseau (AEP et assainissement)
- Nature des matériaux de conduites

III.7.2- Méthode d'application de l'analyse

Notre méthode d'analyse multicritères (AHP), basé sur la hiérarchisation de problème spatial complexe,

Commençant par les racines vers les feuilles.

Notre travail été réalisée par le plus puissant produits d'ESRI, le arc gis pro avec l'intégration de l'extension AHP (Add in), cette extension accepte les inputs juste comme des formes raster.

Notre problème est aussi complexe, il contient des macro-critères et des micro-critères.

Chaque critère a des sous critères :

Cr1 : Le réseau d'assainissement décomposé trois sous critères (le type – la longueur – le diamètre)

Cr2 : Le réseau d'AEP : contient trois sous critères (les matériaux – le diamètre – la longueur)

Cr3 : la densité de population est déjà un critère principal

Cr4 : les cross-connexion est déjà un critère principal

-La première étape est de convertie toutes les formes vecteurs vers le raster,

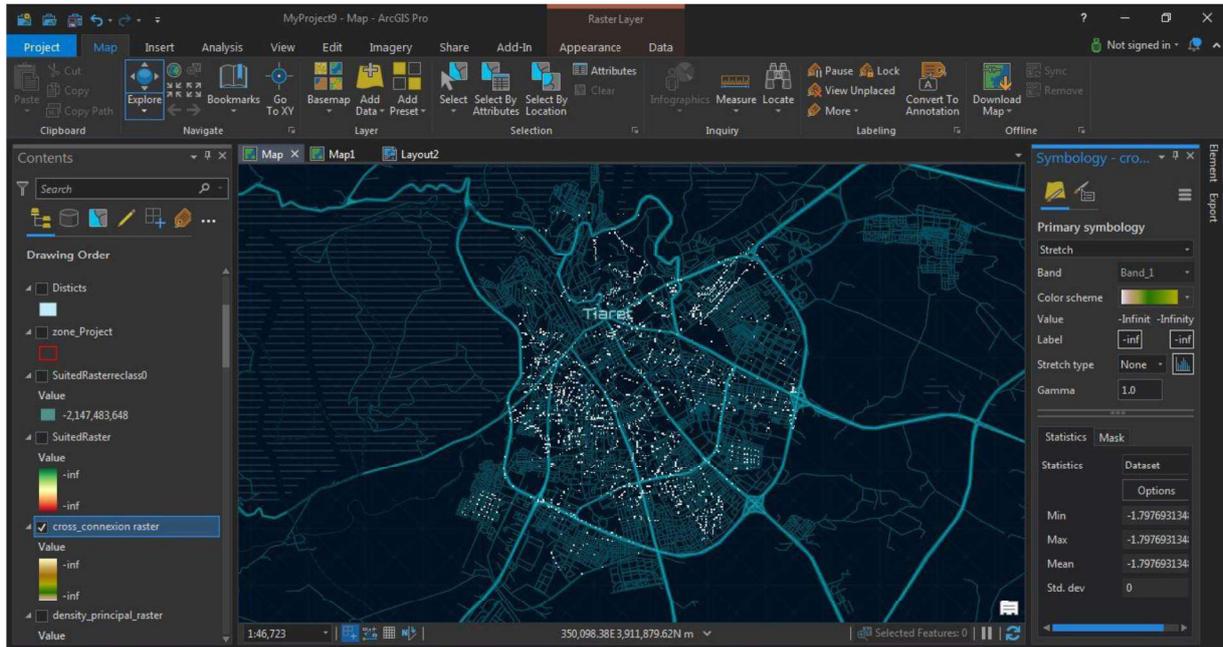


Figure 30 : Cross-connexion en forme raster

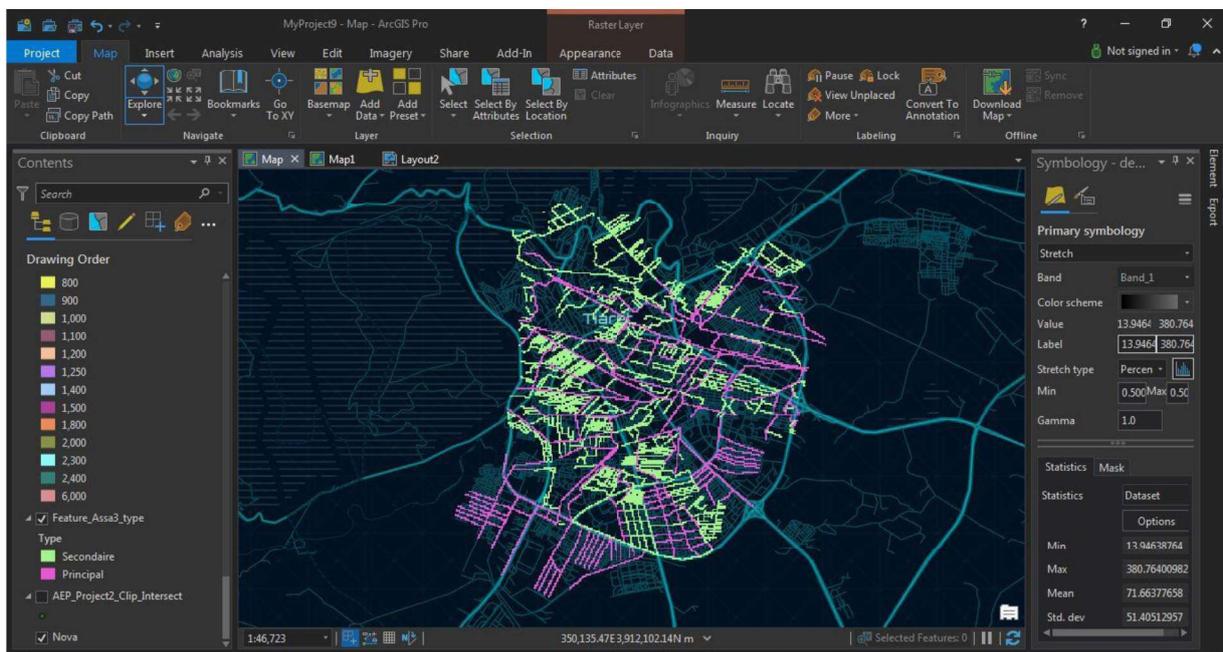


Figure 31 : Type d'assainissement en forme raster

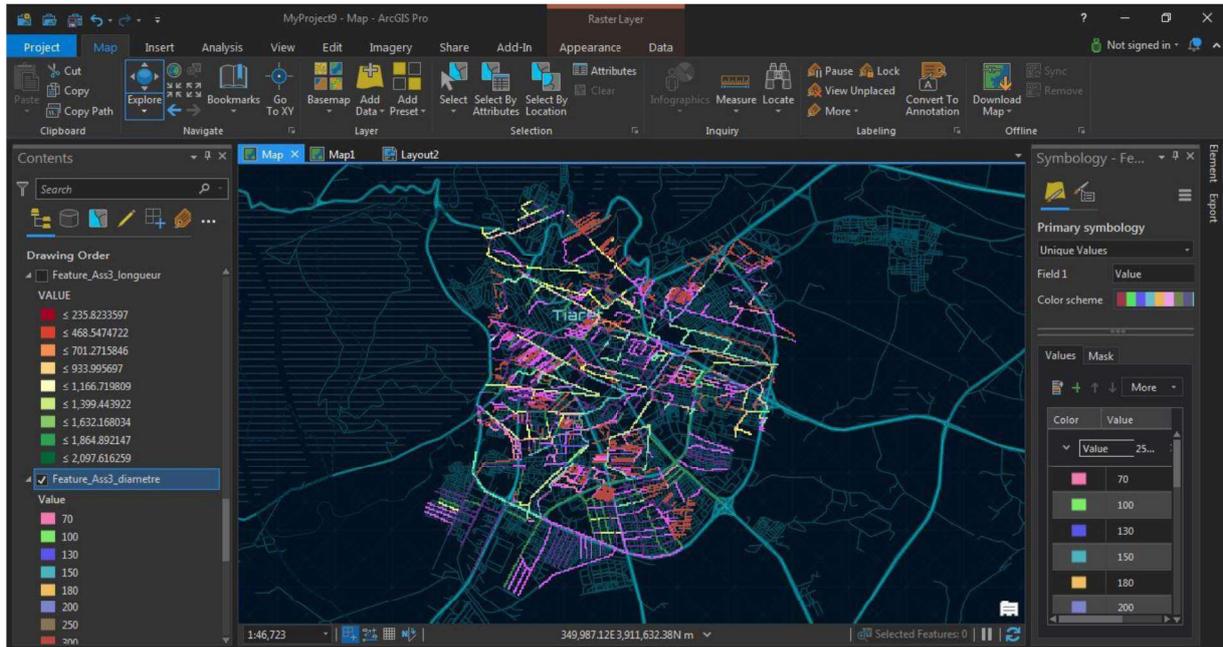


Figure 32 : Le diamètre d'assainissement en forme raster

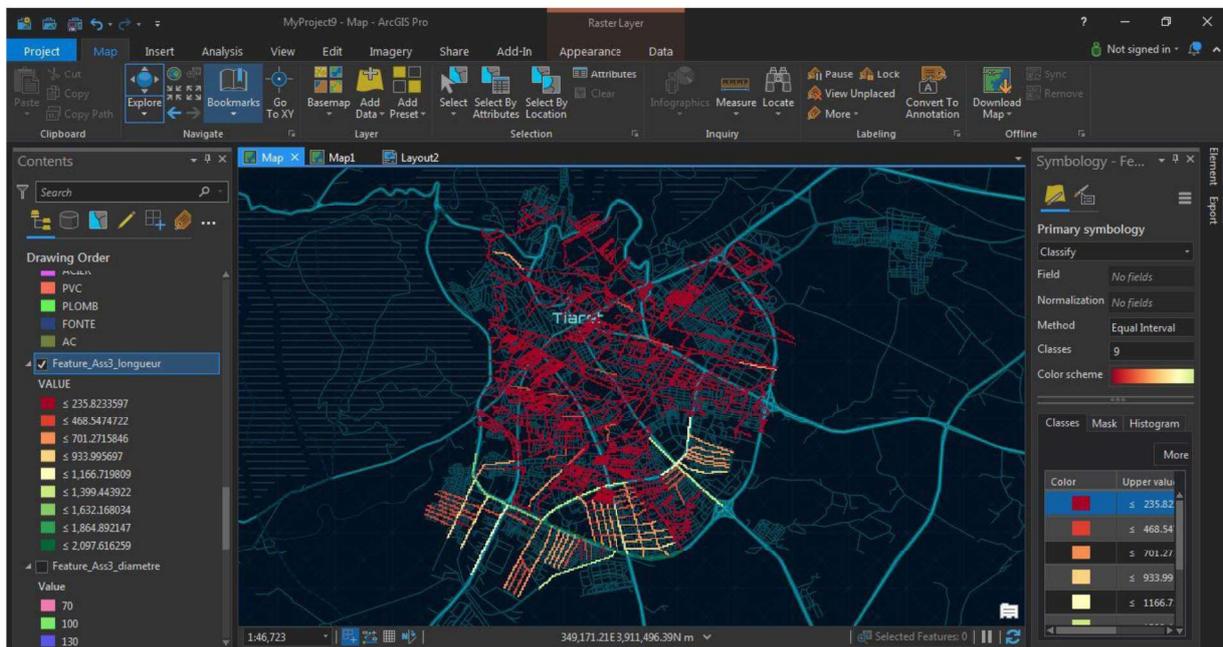


Figure 33 : La longueur d'assainissement en forme raster

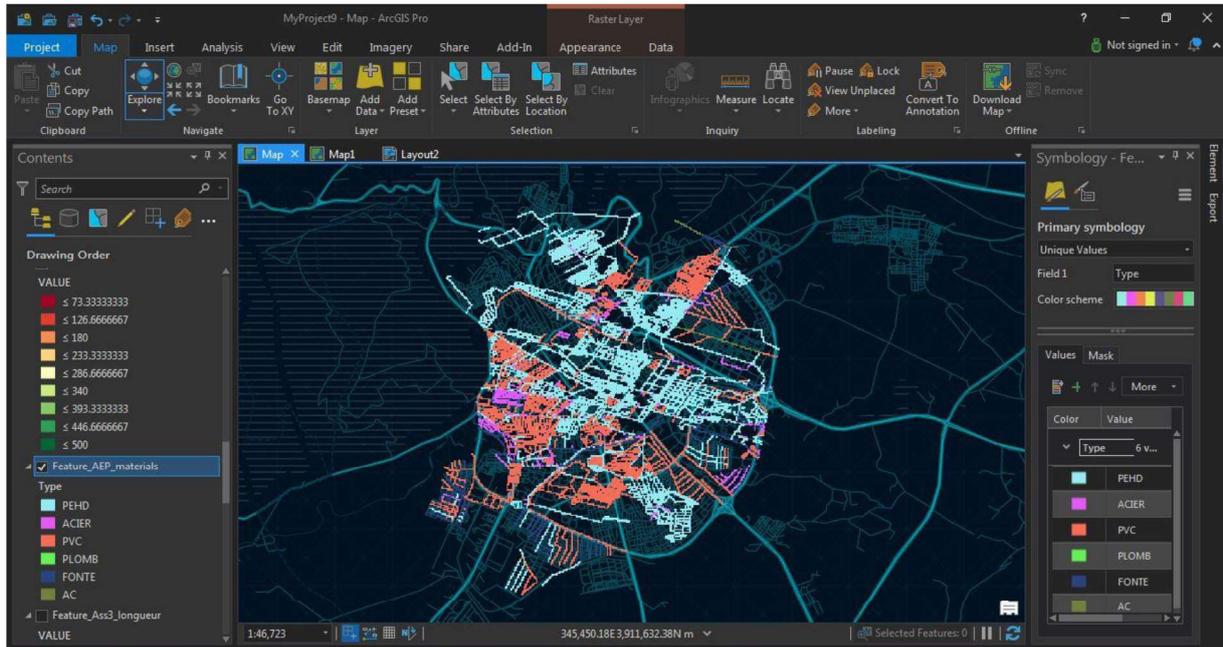


Figure 34 : Les matériaux d'AEP en forme raster

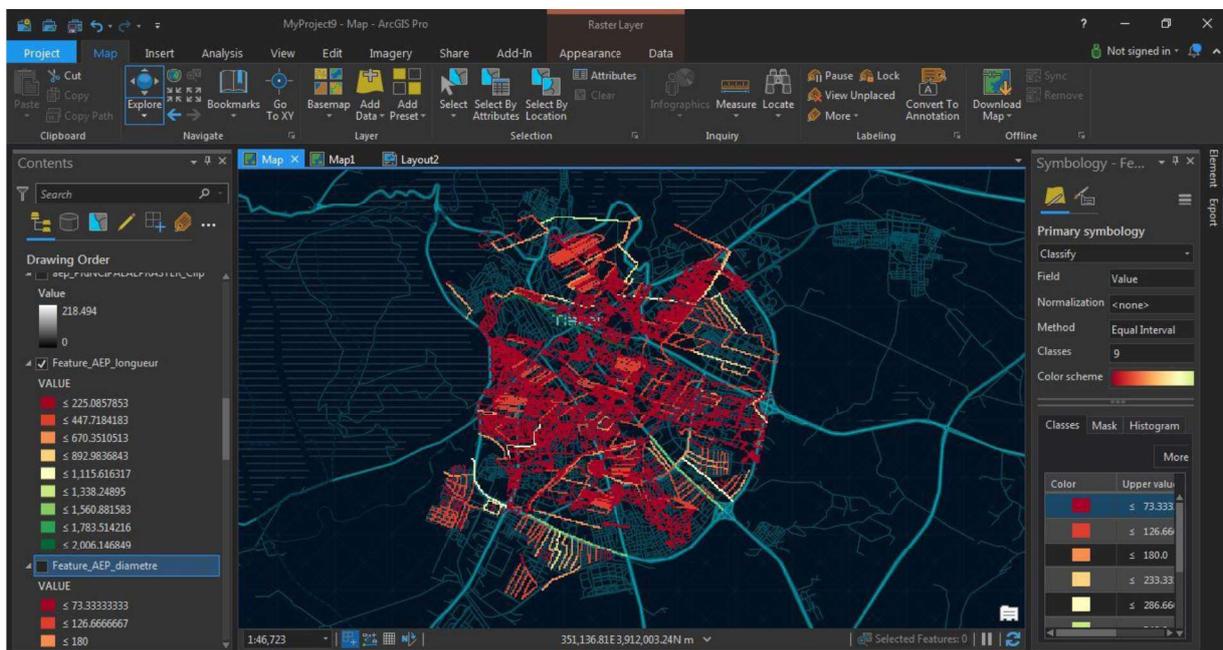


Figure 35 : La longueur d'AEP en forme raster

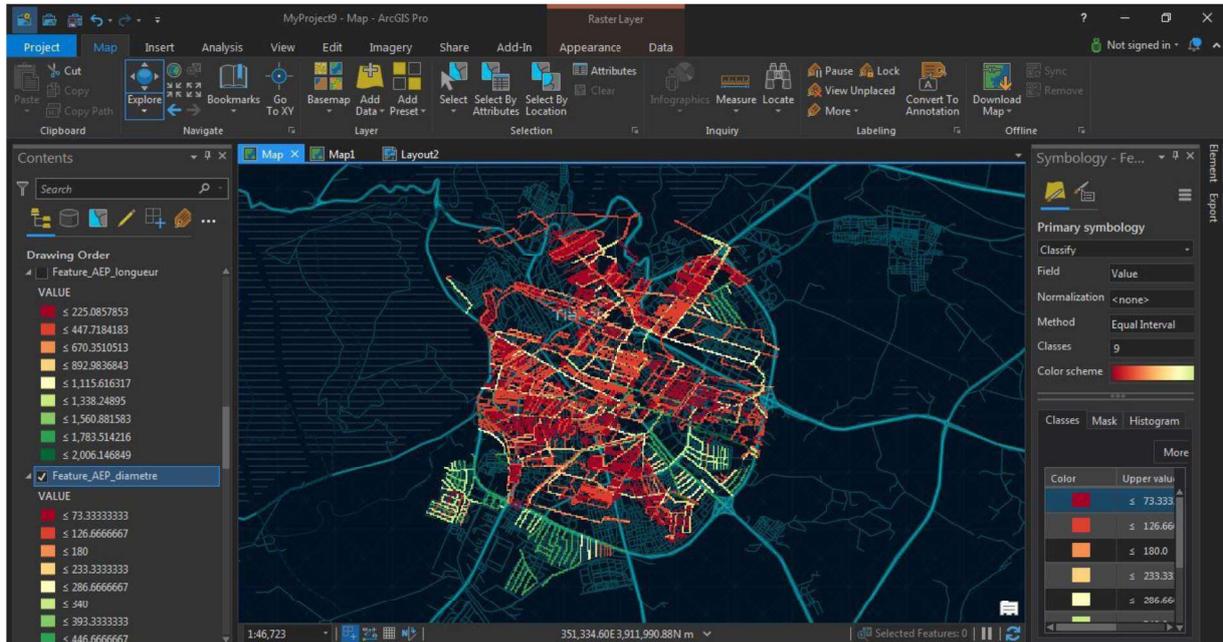


Figure 36 : Le diamètre d'AEP en forme raster

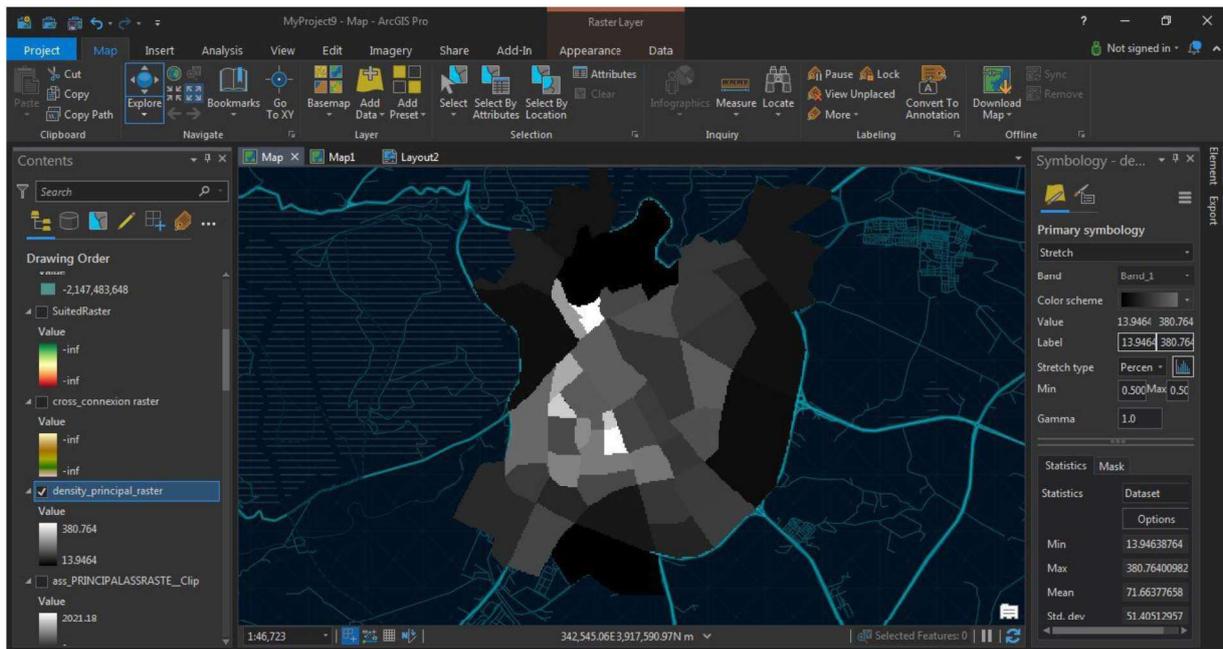


Figure 37 : La densité de population en forme raster

- La deuxième étape vient de prendre les critères principaux comme des rasters principaux, donc on a besoin de simplifier notre deux critères complexe (réseau d'assainissement et réseau d'AEP) avec une sous AHP appliquée avec la même structure de notre méthode (la hiérarchisation, les pondérations binaires, le calcul des poids et le ratio de cohérence), les résultats de cette sous AHP nous donnent les rasters principaux de l'assainissement et l'AEP.

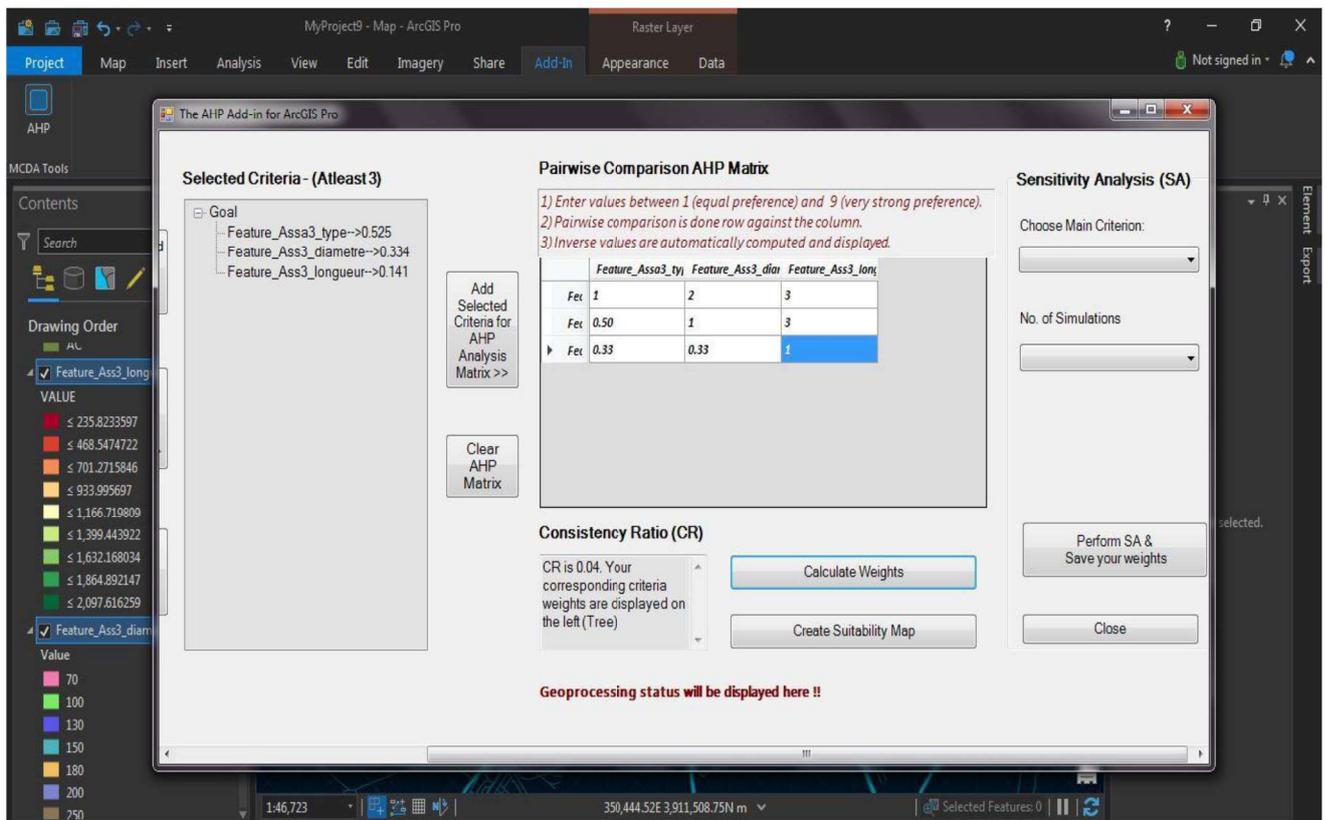


Figure 38 : sous AHP pour l'assainissement

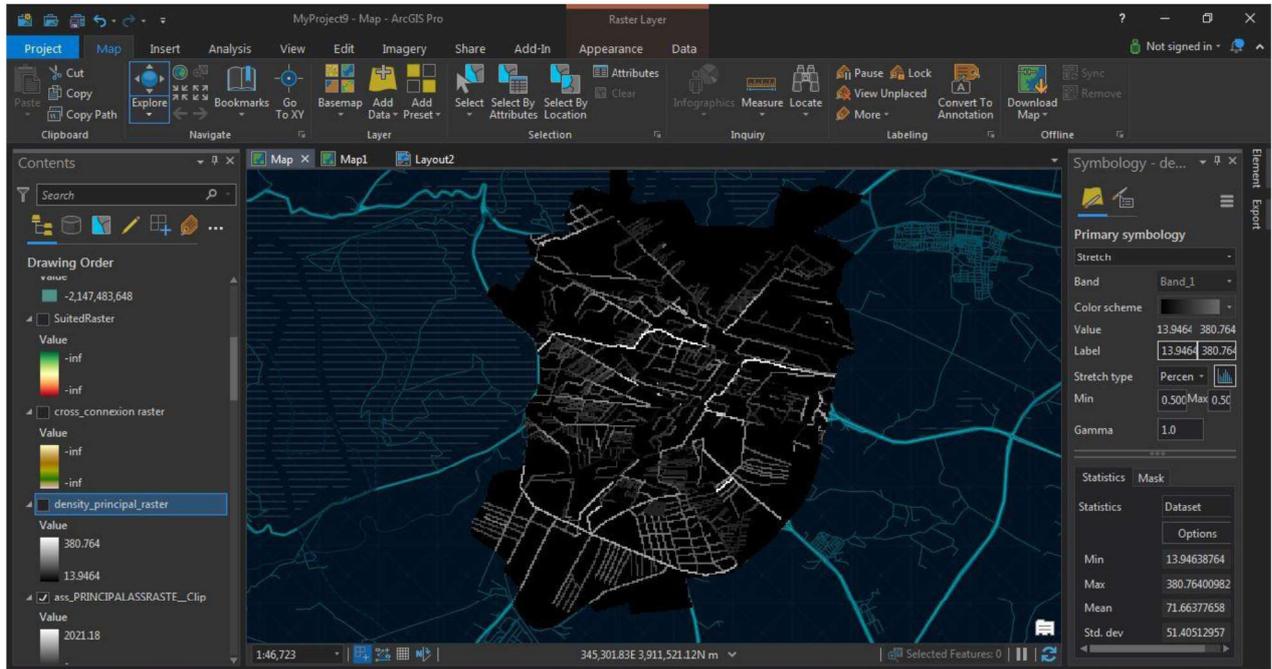


Figure 39 : raster principale d'assainissement

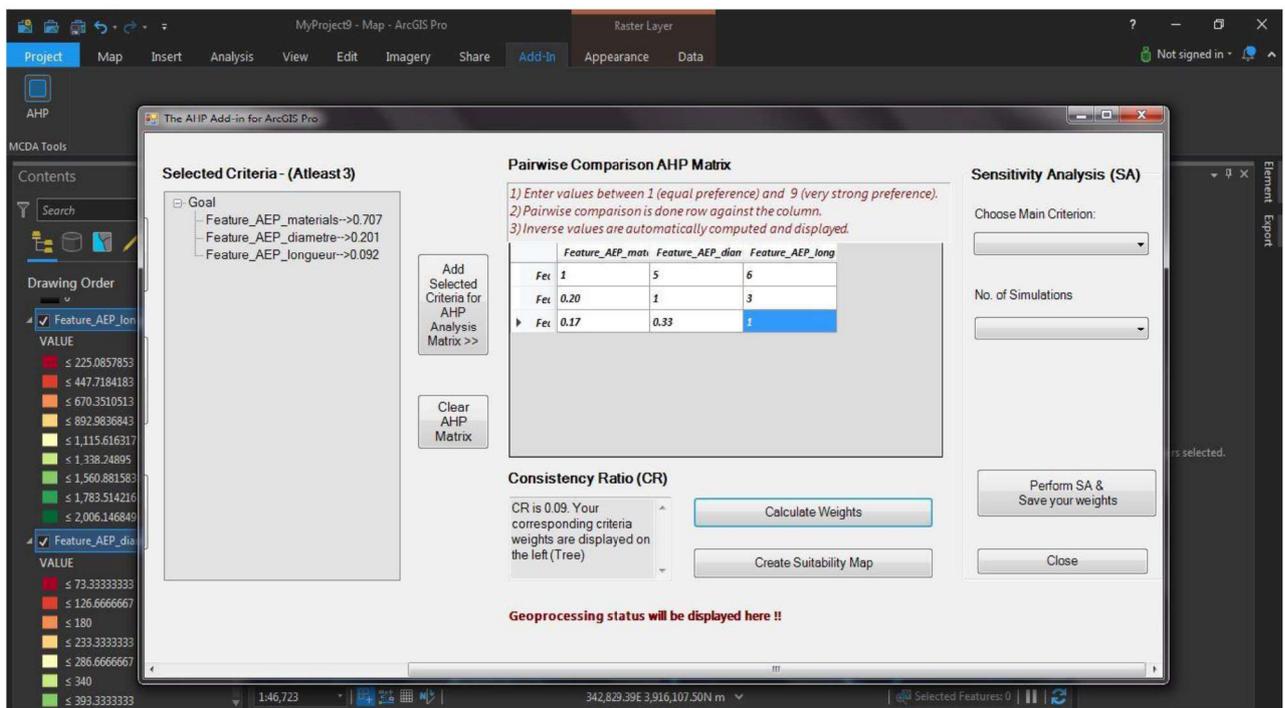


Figure 40 : sous AHP pour l'AEP

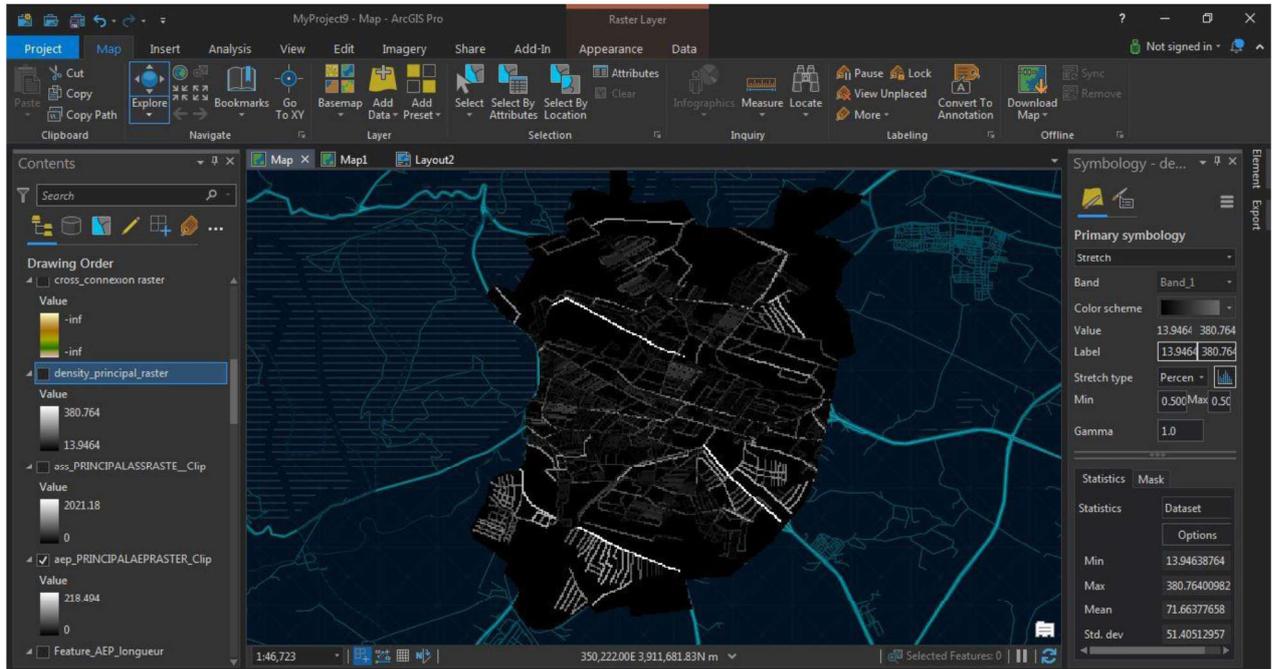


Figure 41 : raster principale d'AEP

-La troisième est d'intégrer nos quatre rasters principaux dans notre nouvelle extension et d'appliquer les comparaisons par-paires selon l'échelle de Thomas Saaty (de 1 à 9), on attend un ratio de cohérence acceptable (≤ 0.1)

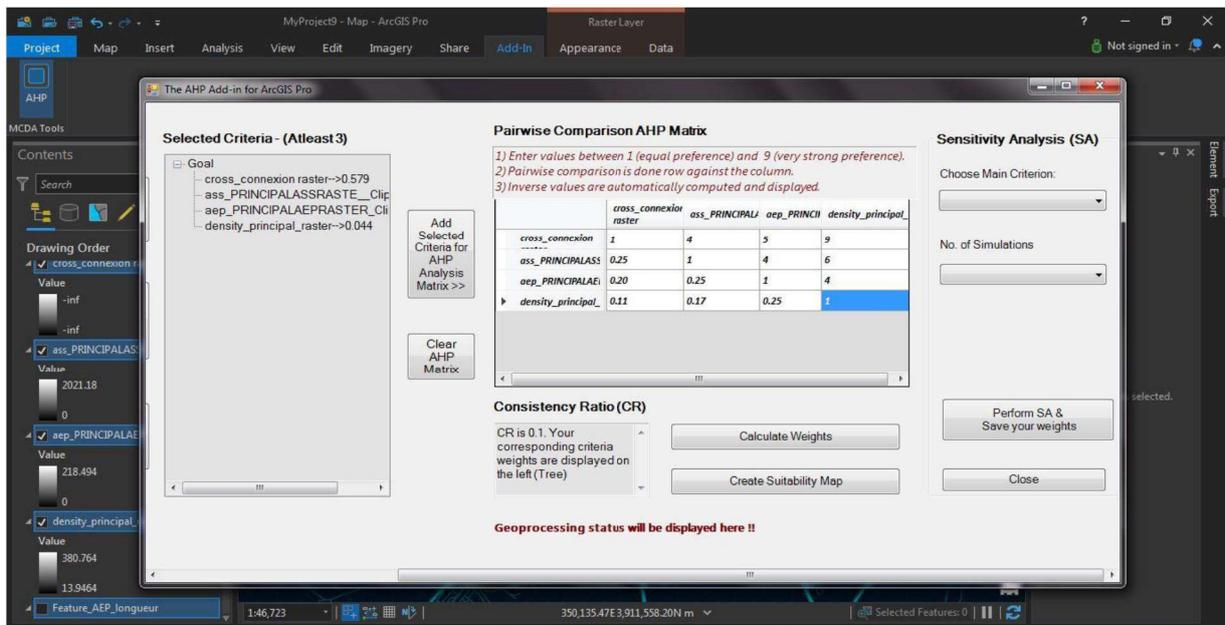


Figure 42 : Calcul des poids et du RC

- La dernière étape représente l'élaboration de la carte de vulnérabilité, puis la rectification de la symbologie avec la nouvelle technique d'ESRI (Heat Map) de la couleur bleu vers jaune (le jaune représente les hot spots ou on a le risque potentiel).

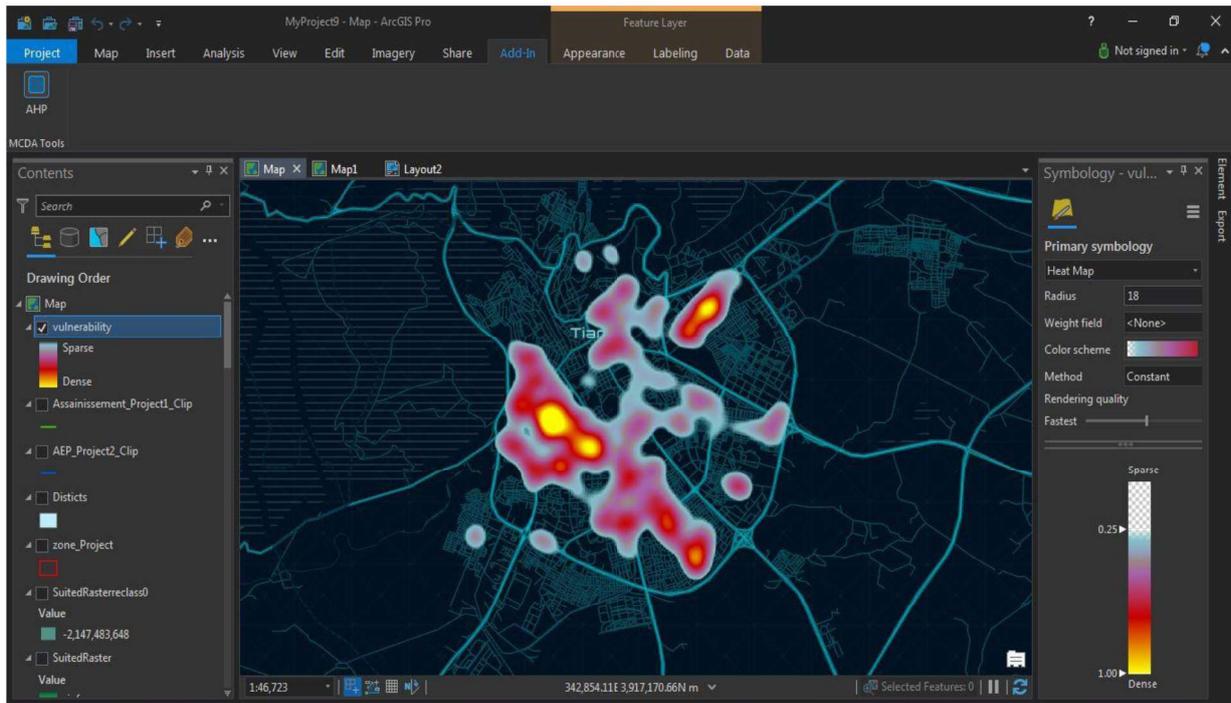
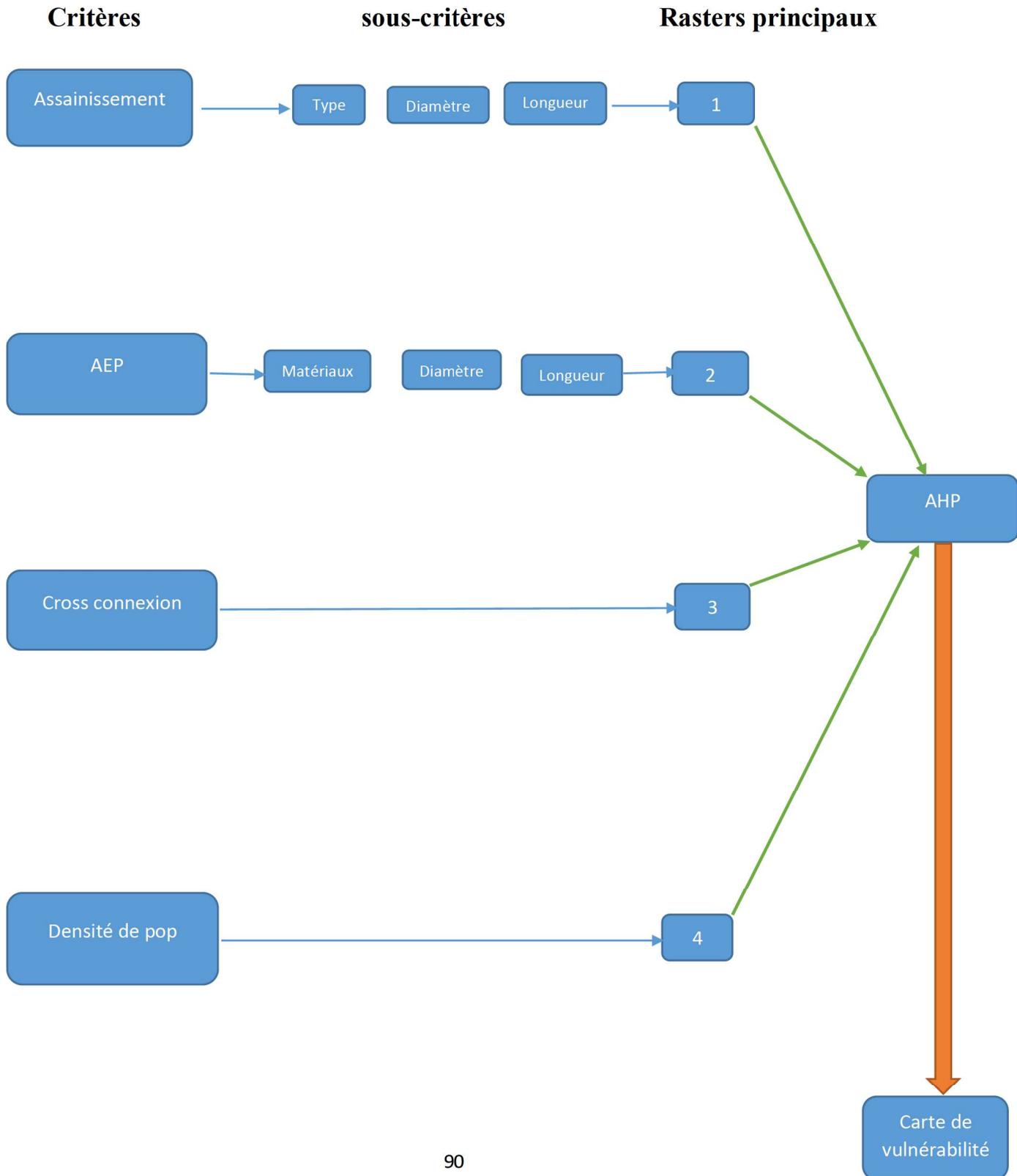


Figure 43 : La carte de vulnérabilité

III.7.3- Schéma d'application de la méthode de travail



III.7.4- Fiabilité et validation :

D'après notre méthode d'analyse AHP (Analytique Hierarchie Process) et la mise en œuvre de la base de données a référence spatiale, notre résultat présente les foyers de déclenchement de risque MTH (risque potentiel) dans la ville de Tiaret, Les zones les plus vulnérables sont les quartiers a proximités de la zone industrielle, les matériaux constitutifs et la vétusté de réseau de distribution et le réseau d'évacuation plus l'urbanisation anarchique et le raccordement non contrôlé sans oublier les projets de bricolage applique sur ces réseaux comme les forages sans avoir des plans qui contiens la distribution spatial.

La carte des secteurs urbains touchés par les MTH (la réalité) valide et confirme la fiabilité de notre méthode d'analyse tel que les zones touchées par ce risque sont les mêmes hot-spots représentés dans la carte de vulnérabilité.

Donc les deux figures si dessous (45-46) représentent l'exportation cartographique finale de notre recherche

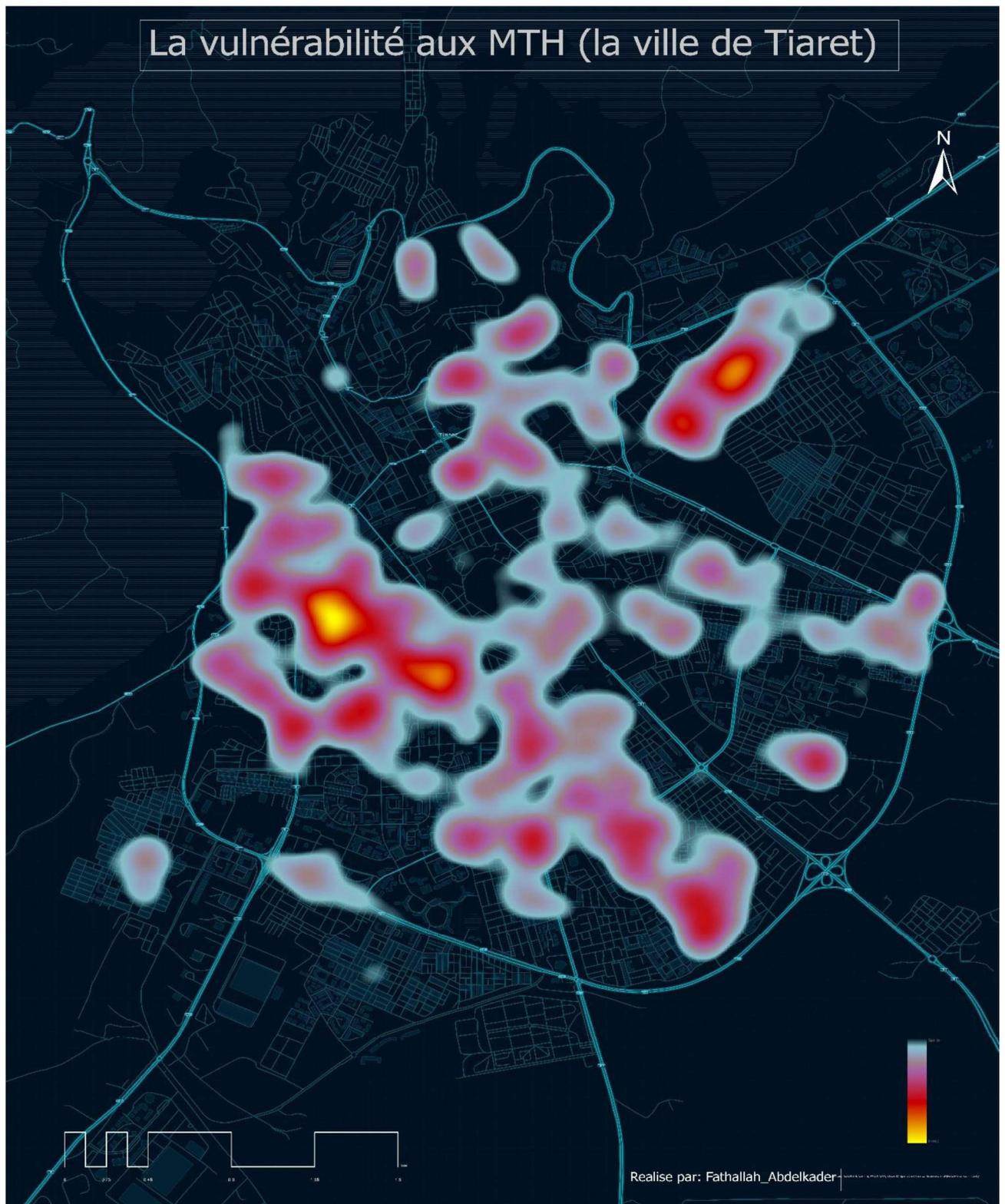


Figure 44 : carte de vulnérabilité aux MTH (la ville de Tiaret)

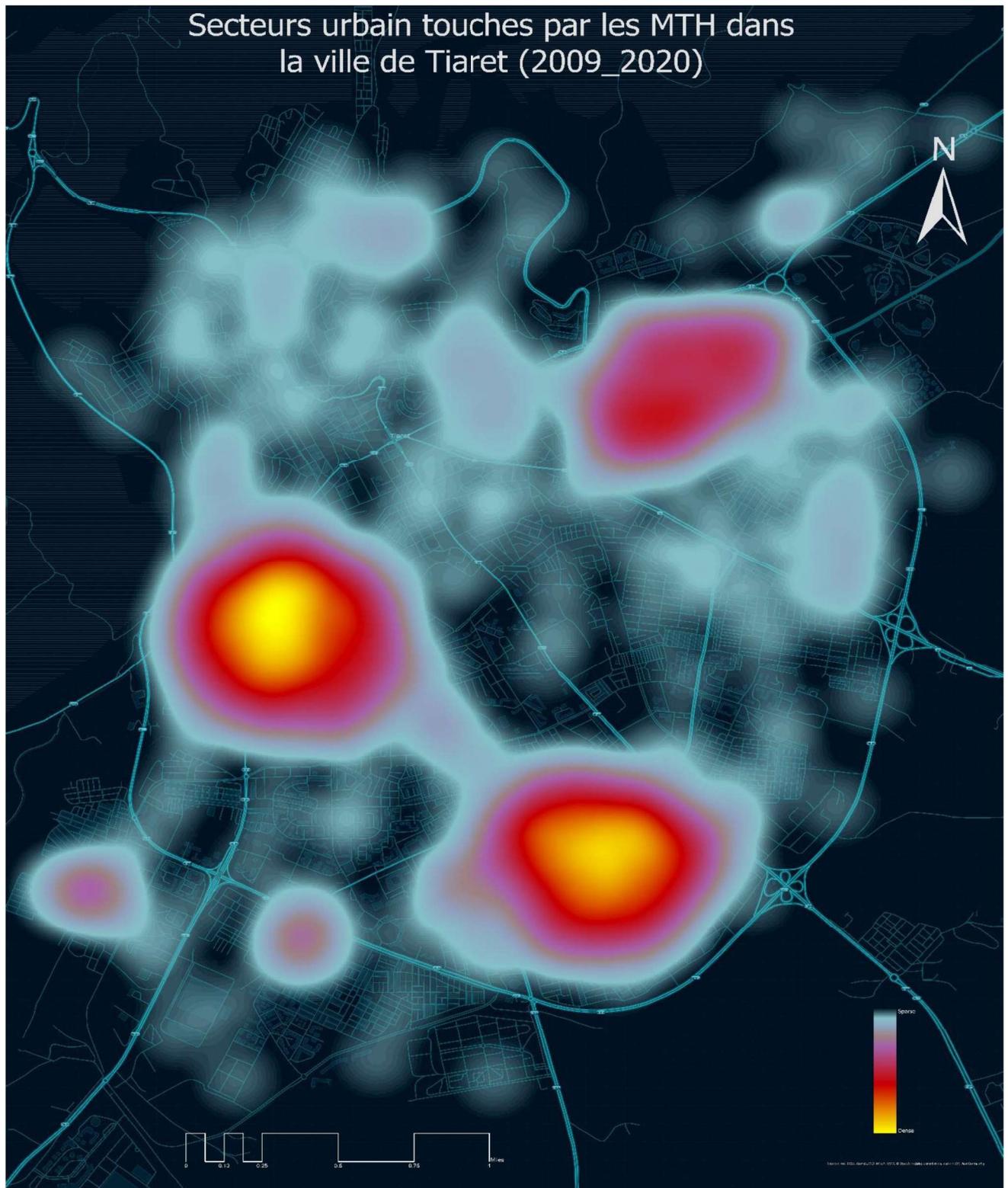


Figure 45 : carte des secteurs touchés par les MTH dans la ville de Tiaret (2009-2020)

III.8- Conclusion :

Après avoir les différentes caractéristique de la ville de Tiaret (Milieu physique, caractéristiques socio-économique) et la mise en œuvre du SIG&AMC qui nous donnons la carte finale qui représente une carte d'aide à la décision tels que les interventions et les décisions vient selon cette carte pour éviter le gaspillage des biens publique sans résoudre les problèmes majeurs et amplificateur de vulnérabilité, parmi les aménagements qu'on peut proposer pour rectifié les réseau (assainissement et AEP) et prévenir la santé publique :

- D'évité le maximum les cross-connexion.
- L'entretien fréquent des réseaux (assainissement et AEP).
- La rénovation des anciennes conduites.
- Dissuader la construction sans permis de construire, et le raccordement non contrôlé des réseaux (assainissement et AEP).
- De respecter les servitudes et la séparation entre le réseau qui contient des matériaux danger et toxique et le réseau d'évacuation des eaux usés des bâtis.
- Respecter le taux de capacité des routes afin de protéger les installations souterraines.

Nous comme des aménageurs avec un esprit analytique et de gestion ont mieux connaitre que le problème n'est pas seulement un problème technique, Le vrai problème est sociale et administrative comme :

- L'obstruction et la Marginalisation de la recherche scientifique.
- L'absence de la donnée simple (l'exemple de John Snow, les données de 1854 sont disponible par contre, en Algérie ils sont introuvables 2021 malgré que notre recherche concerné par des maladies à déclaration obligatoire).
- La corruption administrative.
- La négligence de la gestion et le don de toute l'importance à l'occupation.

Références bibliographiques

- Oulbachir Karima, Ecologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents étages bioclimatiques. Université d'Oran 1, Ahmed Ben Bella, 2010. Thèse de Doctorat.
- Salem Chakhar. Cartographie décisionnelle multicritères : formalisation et implémentation informatique. Université Paris Dauphine - Paris IX, 2006. Thèse doctorat.
- TAIBI Aissa. Fouille de données en épidémiologie spatiale : contribution a la sélection des sites industriels, Université d'Oran 1, Ahmed Ben Bella-Oran, 2018. Thèse doctorat.
- W. Kherifi, F. Bekiri. Les maladies à transmission hydrique en Algérie. Journal Algérien des Régions Arides (JARA) .Biskra, 2017. article scientifique.
- Amghar Wassila. FODIL TASSADIT. Résurgence des maladies à transmission hydrique en Algérie : entre causes et effets. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou. 2017. Mémoire master.
- Besma KHALFI. Modélisation et construction des bases de données géographiques floues et maintien de la cohérence de modèles pour les SGBD SQL et No SQL. Université PARIS VIII – Université de Tunis 2017. Thèse doctorat.
- A R A Rasam^{1, 2}, R Ghazali¹, A M M Noor¹, W M N W Mohd¹, J R A Hamid¹, M J Bazlan¹ & N Ahmad². Spatial epidemiological techniques in cholera mapping and analysis towards a local scale predictive modelling. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8)/ IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 18. 2014. article scientifique.
- Notice d'impact investisseur, Bureau d'étude étatique (Urbatia), 2020.
- A.N.R.H 2009.
- Station météorologique de Sidi Bouche kif.
- Subdivision de la Daïra de Tiaret.