République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences
Département de Génie Civil

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Constructions Hydrauliques et Aménagements

Thème : Un SIE pour l'analyse de la vulnérabilité d'un parc de retenues collinaires aux aléas naturels.

Réalisé par :

GUEDDOUN HACENE.

MOSTEFAI IMANE.

Encadreur :

Mme K.BOUZELHA.

Co-encadreur :

Mr H.HAMMOUM

Année universitaire : 2017/2018

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE CIVIL
MEMOIRE DE MASTER
SPECIALITE : CONSTRUCTION HYDRAULIQUE ET AMENAGEMENT

THEME

Un SIE pour l'analyse de la vulnérabilité d'un parc de retenues collinaires aux aléas naturels

Présenté par :

GUEDDOUN Hacéne

MOSTEFAI Imane

Encadreur :

Mme BOUZELHA.K

Co-encadreur :

Mr H.HAMMOUM

2017/2018

Remerciements

A nos parents, nos professeurs, nos nombreux amis.

Vous nommez, vous tous qui nous avez permis de près ou de loin de finaliser ce travail, serait quelque peu laborieux, tellement vous avez été nombreux à nous épauler, avec un risque évident d'en offusquer certains d'entre vous en oubliant de les citer.

Néanmoins, nous ne pouvons nous permettre de passer sous silence l'apport sage, réfléchi, et oh combien important et efficace de nos mentors qu'ont été Mr. Hammoum et Mme. Bouzelha notre promotrice dont les rôles complémentaires nous ont été d'un grand secours. Par ailleurs la présence et l'accompagnement de Mr. Benzekri lors de notre stage à la DRE nous ont été d'un grand réconfort.

Vous avez été tous très patients avec nous en répondant favorablement à chacune de nos sollicitations et Dieu sait que nous ne nous sommes pas privés de le faire aussi souvent que se développaient nos travaux et que nous en ressentions le besoin.

Vous avez été tous très sensibles à notre désir de réaliser un travail soigné, distinctif, approprié, explicite et sincère, bien que conscients qu'il ne pourrait se vanter d'être exhaustif tellement le sujet est profond et imposant.

Par ailleurs, notre souhait ardent, et vous l'avez si bien partagé avec nous, est que ce mémoire ne reste pas lettre morte et qu'il puisse un tant soit peu servir à d'autres camarades en tant que document de base.

Par votre expérience, vos connaissances et vos qualités de meneurs, vous nous avez tous, d'une façon ou d'une autre et chacun en son domaine, éviter de nous empêtrés dans des impressions et fausses interprétations et aller de l'avant afin de contribuer à la solution de plusieurs problèmes.

De par votre volonté à contribuer à la réussite de ce mémoire, de par la confiance que vous avez bien voulu mettre en nous, de par le temps que vous avez pris à nous supporter, vous méritez tous notre respect et nos hommages car grâce à votre verbe, vous avez construit des chantiers.

Pour tout cela et bien plus encore de par la richesse et la sensibilité de vos cœurs, nous vous disons Merci ...

Liste des abréviations

DAO	Dossier d'appel d'offre.
DRE T.O	Direction des ressources en eau de Tizi Ouzou.
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.
I_e	Indice environnementale
I_f	Indice fonctionnel
INCT	Institut National de Cartographie et de Télédétection
I_S	Indice structurel
Iv	Indice de vulnérabilité.
Nei	Note élémentaire.
P_c	Pondération selon la catégorie de terrain.
PEHD	Polyéthylène haute densité.
P_h	Pondération selon la hauteur de la digue.
Pi	Paramètre de pondération.
PNUD	Plan de Développement des Nations Unies.
P_s	Pondération selon la forme de la surface du plan d'eau.
P_t	Pondération selon le facteur topographique.
RC	Retenues collinaires.
RPA	Règlement Parasismique Algérien.
SGBD	Système de Gestion de Base de donnée
SIE	Système d'Information sur l'environnement
S_k	La surcharge de neige sur le sol par unité de surface.
SQL	Système Query Language
UTM	Universal Transverse Mercator
V_{ref}	Vitesse de vent de référence.
Vs	Vitesse moyenne.

Liste de tableaux

Tableau 1.1 : Tableau récapitulatif des retenues collinaire de la willaya de Tizi-Ouzou (DRE.2018) *12*
Tableau 2.1 : Liste des paramètres d'analyse *18*
Tableau 2.2 : Grille de hiérarchisation d'une note partielle d'un paramètre *19*
Tableau 2.3 : Classification d'une retenue en fonction de son « Iv » *20*
Tableau 2.4 : Notes élémentaires N_{ei} et pondérations P_i en fonction de l'implantation de la retenue *21*
Tableau 2.5 : Note élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction de la zone sismique *21*
Tableau 2.6 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction du type de sol *21*
Tableau 2.7 : Notes élémentaires N_{ei} en fonction de la zone de neige *22*
Tableau 2.8 : Notes élémentaires N_{ei} de la zone de vent *23*
Tableau 2.9 : Pondération Pi pour zone de vent *23*
Tableau 2.10 : Notes élémentaires N_{ei} pondération P_i en fonction de l'étanchéité du corps de la digue *24*
Tableau 2.11: Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi de type de protection du talus amont de la digue *24*
Tableau 2.12 : Notes élémentaires Nei et pondération Pi en fonction du type de revêtement de la crête de la digue *25*
Tableau 2.13 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction de type déversoir *25*
Tableau 2.14 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction du type de coursier *25*
Tableau 2.15 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction du type de murs bajoyers *26*
Tableau 2.16 : Notes élémentaires et pondérations en fonction du type de bassin de dissipation d'énergie *26*
Tableau 2.17 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction de type de conduite de vidange *26*
Tableau 2.18 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction de la destination de la retenue *27*
Tableau 2.19 : Notes N_{ei} élémentaires et pondération P_i en fonction de la fréquence d'entretien *27*
Tableau 2.20 : Notes élémentaires N_{ei} et de pondération P_i en fonction de l'état d'envasement de la retenue *28*

Tableau 2.21 : Présentation des retenues collinaire expertisée *29*
Tableau 2.22 : Evaluation de la vulnérabilité a la mise en service en 1986 ..... *30*
Tableau 2.23 : Indice de vulnérabilité aux jours d'expertise en 2012 (Saradouni. 2012 ..... *33*
Tableau 2.24 : Mode de réparation correspondant aux défauts apparents *34*
Tableau 2.25 : indice de vulnérabilité après réhabilitation (2013) *34*
Tableau 2.26 : Indice de vulnérabilité aux jours d'expertise en 2018 (Gueddoun et Mostefai 2018) *35*
Tableau 2.27 : Récapitulatif de l'évolution de l'indice de vulnérabilité de la retenue Timizart N°363 ..... *36*
Tableau 3.1 : Définition des champs de la table « Fiche technique » *44*
Tableau 3.2 : Extrait de la table « Fiche technique » *45*
Tableau 3.3 : Définition des champs de la table « environnementale » *45*
Tableau 3.4 : Extrait de la table « environnementale » *46*
Tableau 3.5. Définition des champs de la table « structurelle » *46*
Tableau 3.6 : Extrait de la table « structurelle » *46*
Tableau 3.7 : Définition des champs de la table « fonctionnelle » *47*
Tableau 3.8 : Extrait de Table « fonctionnelle » *47*
Tableau 3.9 : Définition des champs de la table « Iv » *47*
Tableau 3.10 : Extrait de la table « Iv » *48*
Tableau 3.11 : Coordonnées des points de calage *53*
Tableau 3.12 : Formulaire de la base de données générale *54*
Tableau 3.13 : Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel Total » *54*
Tableau 3.14 : Formulaire de la base de données générale *55*
Tableau 3.15. Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel Date » pour l'année 2018 ..... *55*
Tableau 3.16. Formulaire de la base de données générale *56*
Tableau.3.17 : Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel retenue non expertisé » *56*
Tableau.3.18 : Extrait de la table Mapinfo© « retenues expertisées en 2018 » *57*
Tableau 3.19 : Classification d'une retenue en fonction de son « Iv » *60*
Tableau 3.19 : Tableau récapitulatif de l'indice de vulnérabilité des retenues expertisé *63*

Liste de figures

Figure 1.1 : Schéma représentant les différents composants d'une retenue collinaire 5
Figure 1.2 : Carte de situation des sites des retenues collinaires et des principales stations hydrométriques 10
Figure 2.1 : Carte du zonage de neige d'Algérie 22
Figure 2.2 : carte du zonage du vent d'Algérie 22
Figure2.3 : Emplacement de la zone d'étude (Tizi-Ouzou, Algérie) 28
Figure 2.4 : Travers typique du remblai en terre à Tizi-Ouzou 28
Figure 2.5 : vue générale de la retenue étudiée 29
Figure 2.6 : Ornières sur la crête de la retenue (Saradouni, 2012) 30
Figure 2.7 : présence d'arbustes et mouvement d'enrochement (Saradouni, 2012) 31
Figure 2.8 : creusement de ravines sur le parement aval (Saradouni, 2012) 31
Figure 2.9 : Déversoir emporté par les inondations (Saradouni, 2012) 32
Figure 2.10 : Corrosion et colmatage de la vanne (Saradouni, 2012) 32
Figure 2.11 : Graphique de variation de l'état de de l'indice de vulnérabilité de la retenue Timizart N°363 aux cours des années 36
Figure 2.12 : Glissement et effondrement du sol (Gueddoun et Mostefai 2018) 37
Figure 2.13 : Présence de fissures sur la crête (Gueddoun et Mostefai 2018 37
Figure 2.14 : Orniérages dues au passage de véhicule (Gueddoun et Mostefai 2018 37
Figure 2.15 : Présence de la végétation autours de la retenue collinaire (Gueddoun et Mostefai 2018 38
Figure 2.16 : Envasement de la cuvette (Gueddoun et Mostefai 2018) 38
Figure 2.17 : Déversoir envahi par la végétation ou complètement endommager (Gueddoun et Mostefai 2018) 38
Figure 2.18 : Corrosion des vannes de vidange et de prises (Gueddoun et Mostefai 2018) 39
Figure 3.1 : Architectures et fonctionnement de l'application 43
Figure 3.2 : Positionnement de la vue sur la retenue Mekla N°393 « Google Earth© » 45
Figure 3.3 : Structures des Relations entre les tables 48
Figure 3.4 : Vue de l'interface requête en mode programmation 49
Figure 3.5 : Vue des formulaires de l'application développée 50
Figure 3.6 : Carte d'étude 52
Figure 3.7 : Zone 31S hémisphère nord « Google Earth Pro© » 53

Figure 3.8. Extrait de la fenêtre « crées des points » » *57*

Figure 3.9 : Extrait de la fenêtre « Extrait de la fenêtre » *58*
Figure 3.10 : Etapes pour l'affichage de la Catre d'étude *58*
Figure 3.11 : Répartition spatial du parc de RC « semi de points » *59*
Figure 3.12 : Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité à la mise en service *60*
Figure 3.13 : Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité en 2012 ..... *61*
Figure 3.14 : Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité après réhabilitation (2013) *61*
Figure 3.15 : Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité au jour de l'expertise (2018) *62*
Organigramme *51*

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

Introduction 3
1.1. Historique des retenues collinaires en Algérie 3
1.2. Définition et caractéristiques d'une retenue collinaire 5
1.3. Devis de réalisation d'une retenue collinaire 5
1.4. Méthodologie adoptée pour l'élaboration d'une étude de retenue collinaire 6
1.5. Principales objectifs de réalisation d'une retenue collinaire 6
1.6. Gestions des retenues en Algérie 7
1.6.1. L'impact des retenues collinaire sur l'environnement et leur exploitation 7
1.6.2. Les objectifs de la gestion 9
1.7. Description du parc des retenues collinaires en Algérie 9
1.8. Méthodes d'analyse de risque et présentation de SIE 16
Conclusion 16

Chapitre 2 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité des retenues collinaires aux risques naturelle

Introduction 18
2.1. Exposé de la méthode de l'indice de vulnérabilité des retenues collinaires 18
2.1.1. Analyse environnementale 20
2.1.1.1. Implantation de la retenue 20
2.1.1.2. Zone sismique 21
2.1.1.3. Type de sol 21
2.1.1.4. Zone de neige 22
2.1.1.5. Zone de vent 23
2.1.2. Analyse structurelle 24
2.1.2.1. Etanchéité du corps de la digue 24
2.1.2.2. Type de protection du talus amont de la digue 24
2.1.2.3. Type de protection du talus aval de la digue 24
2.1.2.4. Type de revêtement de la crête 25
2.1.2.5. Déversoir 25

2.1.2.6. Coursier *25*
2.1.2.7. Murs bajoyers *25*
2.1.2.8. Bassin de dissipation d'énergie *26*
2.1.3 Analyse fonctionnelle *26*
2.1.3.1. Ouvrage de prise de vidange(Drain) *26*
2.1.3.2. Destination de la retenue *27*
2.1.3.3. Fréquence d'entretien *27*
2.1.3.4. Etat d'envasement de la cuve *27*
2.2. Étude de cas *28*
2.3. Problèmes constatés sur quelques retenues collinaires de la wilaya de Tizi-Ouzou. *36*
2.4. Les bonnes pratiques d'entretien et de surveillance *39*
Conclusion *40*

Chapitre 3 : Développement d'un SIE pour la gestion du parc de retenues collinaires

Introduction *41*
3.1. Choix des logiciels *41*
3.1.1. Le logiciel de la base de données « Microsoft Access© » (Hammoum, 2013) *41*
3.1.2. Le logiciel du SIG « Mapinfo Professional© » (Hammoum, 2013) *41*
3.2. Objectif de l'application SIE Retenue *42*
3.3. Architecture et fonctionnement de l'application *42*
3.4. Structures de la base de données sous Access© *44*
3.4.1. La table principal « Fiche technique » *44*
3.4.2. La table secondaire « environnementale » *45*
3.4.3. La table secondaire « structurelle » *46*
3.4.4. La table secondaire « fonctionnelle » *47*
3.4.5. La table principal « Iv (indice de vulnérabilité) » *47*
3.4.6. Les relations entre les tables *48*
3.4.7. Les requêtes *49*
3.4.8. Les formulaires *49*
3.5. Construction du SIG *51*
3.5.1. Calage de la carte *51*
3.5.2. Implantation des retenues *54*
3.5.3. Analyse thématique *60*

3.5.4. Interprétation des résultats 62

Conclusion 64

Conclusion Générale

Références bibliographique

Annexes

Introduction Générale

Le climat semi-aride de l'Algérie et l'irrégularité des pluies ont imposé dès l'époque coloniale une politique de construction de grands barrages réservoirs. Toutefois, les conditions topographiques ne permettaient pas toujours l'implantation de ces grands barrages. A cet effet, l'Algérie a adopté un vaste programme de construction de retenues collinaires pour la mobilisation des ressources en eau, afin de combler le déficit existant. Depuis les années quatre-vingt, 900 retenues collinaire avaient été réalisées dans les régions centrales du pays, avec une capacité de stockage de 118 million de m^3.

Le parc de la willaya de Tizi-Ouzou compte actuellement 83 retenues collinaires dont huit (08) sont en restriction de service. Ces ouvrages sont majoritairement construits en matériaux locaux (remblai compacté). Le retour d'expérience de près de 30 ans a montré une grande disparité dans le comportement de ces structures directement exposés aux menaces naturelles (neige, séismes, vents, feux, glissements de terrains…). Plusieurs pathologies et dégradations ont été enregistrées suite aux manque d'entretien de ces ouvrages ; ce qui amène une accélération du phénomène de vieillissement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectif le développement d'un système expert pour la gestion du parc des retenues collinaires de la wilaya de Tizi-Ouzou. La conception de ce Système d'Information Environnemental (SIE) nécessite l'utilisation d'une méthode d'expertise et la conception d'une de base données couplée à un système d'information géographique (SIG).

Pour mener ce travail, nous avons structuré le mémoire en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons un historique des retenues collinaires en Algérie. Nous exposons, par la suite, le mode de gestion de ces retenues collinaires. Et enfin, nous présentons l'environnement du SIE, qui est le parc de retenues de la wilaya de Tizi Ouzou.

Au deuxième chapitre, nous présentons la méthode d'expertise et de diagnostic des retenues collinaires vis avis de certains aléas naturels (séisme, neige, vent …etc.). Cette méthode basée sur le calcul de l'indice de vulnérabilité (Iv) a pour but de classer les retenues selon leur niveau de vulnérabilité (bon, moyen ou mauvais). Cette méthode est appliquée pour expertiser les retenues du parc faisant l'objet de notre étude. Pour illustrer la méthode de l'indice de vulnérabilité une étude de cas est présentée.

Dans le troisième et dernier chapitre, nous développons la partie informatique du SIE retenue. Cette application est constituée d'une base de données (SGBD) appliquée à l'échelle

du parc de retenues de la wilaya de Tizi-Ouzou et d'un Système d'Information Géographique (SIG) pour effectuer des analyses thématiques.

Une conclusion générale relatera les principaux apports du travail.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Introduction

L'eau est un élément indispensable à la vie et à la santé humaine qui revêt de l'importance pour d'innombrables activités. Pourtant par ignorance, aussi souvent par négligence, sa valeur intrinsèque n'est pas prise en compte. Elle est gaspillée, polluée et altérée de façon parfois irréversible, sans égard aux impacts sur les écosystèmes et sur les populations résidant dans le bassin versant. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années par des sécheresses qui ont touchés l'ensemble du territoire algérien. La rareté grandissante et l'irrégularité des ressources en eau et leur dégradation en quantité et qualité est une menace de développement économique et social dans notre pays, avec une démographie galopante et une demande en eau croissante. L'Algérie s'est contrainte de mobiliser au maximum ses ressources en eau superficielles ; ce qui impose l'élaboration d'une gestion de l'eau à moyen et à long terme. Consciente de ces enjeux elle a engagée des moyens financiers importants dans la mobilisation des eaux de surface par des retenues collinaires qui se sont multiplié partout dans le nord algérien. Cette solution est très intéressante lorsque les conditions biophysiques et socio-économiques le permettent. Mais leur efficacité et leur durabilité demeurent, cependant en fonction de nombreuses conditions qui vont du choix du site à la participation des acteurs locaux. D'autre part, d'autres facteurs constituent des contraintes telles que l'envasement et cela est dû au manque d'étude de faisabilité, manque d'entretien, manque de structure de gestion. Ces lacunes doivent nous inciter à réfléchir plusieurs fois sur le choix des sites d'implantations des retenues et les aménagements à faire et sur leur mode de gestion. C'est pour cela que nous présentons dans ce chapitre le parc de retenues collinaires en Algérie et de la wilaya de Tizi-Ouzou, leurs principaux objectifs de réhabilitation, les étapes de conception et leurs modes de gestions. Le parc de retenues collinaires a été sujet à des expertises faites pour déterminé la vulnérabilité de ses ouvrages. Enfin, nous exposerons les Méthodes d'analyse de risque et la présentation de SIE en vue d'améliorer le diagnostic.

1.1. Historique des retenues collinaires en Algérie

Les caractéristiques climatiques de l'Algérie, marquées par une ambiance semi-aride ont imposé dès l'époque coloniale une politique de construction de grands barrages afin de mobiliser les ressources. Celles-ci ont permis l'aménagement de grands périmètres irrigués et la satisfaction des besoins en eau des populations urbaines. La période postcoloniale a vu la poursuite de cette politique de grande Hydraulique qui s'est accompagnée d'une série de mesures en faveur de la petite hydraulique (Kouti et al, 1991). A travers les expériences,

même limitées, on a pris progressivement conscience que les retenues collinaires constituent une ressource complémentaire intéressante pour l'irrigation dans les zones rurales et montagneuses. Par conséquent, on a jugé opportun de développer les programmes de retenues collinaires pour en augmenter l'utilisation et l'élargir aussi à la lutte contre les incendies, les inondations et l'abreuvement du cheptel. A partir de 1982, l'Administration de l'Hydraulique décide de lancer un grand programme d'étude et de réalisation (Salem A). La mise en œuvre devait se faire par les Directions des Wilaya, sous la supervision de la direction centrale. Le bilan physique établi deux ans plus tard, a montré que les programmes ne s'est pas déroulé d'une manière satisfaisante, certains avait même parlé d'échec. La méthodologie d'étude appliquée n'était pas toujours adaptée aux retenues collinaires, les études étaient menées dans le même esprit que les grands barrages. En somme, les retenues collinaires posent des problèmes spécifiques mal dominés : hydrologie, mécanique des sols, conception de l'ouvrage (Benlaoukli et al. 2004). Malgré ces contraintes, le gouvernement décide le lancement d'un programme important d'ouvrages collinaires durant le deuxième plan quinquennal de développement économique (1985-1989), devant permettre l'irrigation de 25000 ha (Salem A). Au plan politique, le programme a reçu un soutien extraordinaire, qui a permis une mobilisation générale pour sa réalisation. Au plan technique, il fallait immédiatement s'organiser pour étudier et réaliser ce type d'ouvrage. L'objectif est ; étude et réalisation de 700 retenues collinaires et 300 petits barrages. Malheureusement, le manque d'expérience dans les études a engendré un investissement colossal dans la réalisation des plans de conception, qui souvent se sont avérés inutiles. Pour remédier à de telles situations, des concertations élargies à divers organismes se sont tenues, aboutissant à une normalisation des études de retenue et à la rationalisation des travaux. Six mission se sont dégagées, comme l'étude hydrologique, les reconnaissances géologiques et géotechniques (sondages, fouilles, essais en laboratoire), le dimensionnement hydraulique des ouvrages et le calcul de génie civil des ouvrages en béton armé et les pièces dessinées (Benlaoukli et al. 2004). Pour accroitre la maitrise des programmes d'étude et de réalisation et afin d'asseoir des principes de conception et des méthodes de réalisation, plusieurs actions d'accompagnement ont été entreprises :

- Le projet magrébin de développement des ressources en eau (PNUD-RAB-80/011), qui a abouti à l'élaboration d'un « Guide Magrébin pour l'exécution des études et travaux de retenues (Habi et al. 2011).
- La mise en place d'une équipe pluridisciplinaire d'expert étrangers exerçant avec des ingénieurs et technicien locaux, pour étudier un ensemble de projets collinaires.

- L'élaboration d'un projet de coopération pilote mixte Algéro-Italien pour l'étude et la réalisation de retenues collinaires.
- Le lancement d'une étude méthodologie sur l'hydrologie des petits bassins versants et mise au point d'outils de calculs (formules- abaques- cartes-modèles…),
- L'organisation d'un séminaire national sur les Retenues collinaires à Sétif en Février 1986 et des journées Techniques sur les retenues collinaires à Guelma en septembre (Salem A).

1.2. Définition et caractéristiques d'une retenue collinaire

Les retenues collinaires sont des réservoirs artificiels barrés par des digues en terre compacté et enrochement, la hauteur ne dépasse pas 10 mètres, un volume de remblais compris entre 6000 et 10000 m^3 et d'une capacité de stockage de 30000 à 100000 m^3, et pouvant bénéficier d'une vanne manuelle (Figure 1.1). Le bassin-versant peut atteindre la vingtaine de kilomètres carrés (Salem A). Elles sont principalement alimentées par les eaux pluviales et les ruisseaux.

Remarque : les retenues collinaire dépassants les 10 mètres sont considérées comme étant des petits barrages.

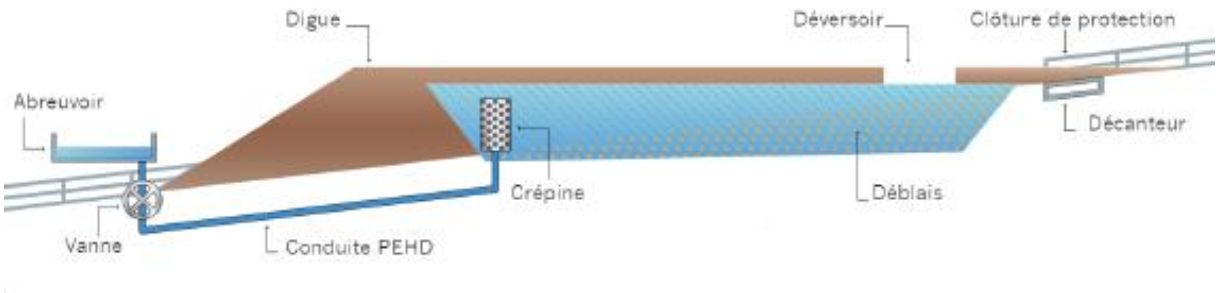


Figure 1.1.Shéma représentant les différents composants d'une retenue collinaire.

1.3. Devis de réalisation d'une retenue collinaire

Les bureaux d'études algériens, ayant acquis de l'expérience dans le domaine des études de retenues collinaires, depuis 1987 à ce jour, ont développé leur propre méthodologie de calcul. La consistance des études a été sensiblement modifiée par des délais de réalisation passant de 12 à 6 mois se répercutant ainsi, sur un montant global qui est passé de 2.500.000 à 1.200.000 DA sans pour autant affecter la qualité et la fiabilité de l'étude. Cette réduction dans la consistance a été obtenue grâce à la normalisation. En effet, plus de 40% des retenues collinaires ayant fait l'objet d'une étude sont aujourd'hui en exploitation et ont atteint l'objectif visé (Benlaoukli et all., 2004).

1.4. Méthodologie adoptée pour l'élaboration d'une étude de retenue collinaire

- **Mission 1**

Travaux topographiques consistant en des levés de la cuvette et du site respectivement sur 40 ha (Echelle 1/2000ème) et 10 ha (Echelle 1/500ème).

- **Mission 2**

Etude hydrologique faisant ressortir la répartition intra-annuelle des précipitations, de l'évaporation et des apports liquides, les hydro-grammes de crues probables (10 et 1%) et les apports solides.

- **Mission 3**

Etude géologique et géotechnique ; consistant d'une part en une étude de la carte géologique et une visite de terrain et d'autre part en une campagne de reconnaissance des fondations et des matériaux de construction (zone d'emprunt). Aussi, dans la campagne de prospection, le nombre de sondages, leur linéaire, le nombre de fouilles, le nombre d'échantillons à analyser en laboratoire sont rationalisés.

- **Mission 4**

Etude de faisabilité consiste en la détermination des courbes topographiques (hauteur - surface- capacité), en une étude de régularisation saisonnière tenant compte des apports, de l'évaporation, des besoins en eau (Touaïbia, 1995).

- **Mission 5**

Etude d'exécution ; le projet d'exécution est composé du rapport explicatif et justificatif (note de calcul) complétant le rapport de synthèse (faisabilité) avec une étude d'infiltration, une étude des drains et filtres, un calcul de tassement et de stabilité des talus.

- **Mission 6**

Dossier d'appel d'offre (DAO) : ce document renferme en plus des règles financières et normes techniques, le détail des différents travaux à effectuer pour la construction des ouvrages, ainsi que tous les volumes des travaux à effectuer pour la réalisation de l'aménagement (Benlaoukli et *al.* 2001).

1.5. Principales objectifs de réalisation d'une retenue collinaire

La plus part des retenues collinaires en Algérie sont destinées principalement à l'irrigation, du fait qu'elles soient toutes construites dans des terrains agricoles, dans notre cas les 83 retenus collinaires situées dans la wilaya de Tizi-Ouzou sont toutes destinées pour l'irrigation. Elles peuvent être aussi utilisées pour d'autres applications, telles que :

- Lutte contre l'incendie.
- Tourisme.
- Pêche.
- Ecrêtement des crues.
- Soutien des étiages.
- Alimentation en eau pour des besoins domestiques ou industriels.

1.6. Gestions des retenues en Algérie

Depuis plusieurs années, l'Algérie est intervenu dans le domaine de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant avec une approche plutôt sectorielle, et une protection des ressources en eau par la réalisation d'un nombre assez important de retenues collinaires à travers l'ensemble de son territoire. Donc la mise en œuvre d'une gestion intégrée de l'eau par bassin versant constitue un engagement majeur de la politique nationale de l'eau adoptée qui tient compte des enjeux locaux basés sur les bassins versants. Elle permet de mieux comprendre et d'expliquer les problèmes liés à la quantité et à la qualité de l'eau.

En milieu semi-aride, les enjeux de ce que l'on désigne aujourd'hui par le développement durable rendent nécessaire d'établir un diagnostic de l'utilisation des ressources hydrique et végétale à des échelles spatio-temporelles synoptiques (région, saison) (Malézieux et all., 2001). Les régions semi-aride en Algérie identifiées comme les plus touchées par le changement climatique, et vu que les sites de construction des barrages se raréfient et leur coût d'investissement est élevé donc la réalisation de retenues collinaires ont un relief favorable et permettant aux populations des zones concernées de disposer d'eau pour les différents usages en saison sèche (agricole, pastorale et domestique).

1.6.1. L'impact des retenues collinaire sur l'environnement et leur exploitation

Dans une perspective de développement durable pour l'environnement, la gestion de l'eau par bassin versant s'avère être l'approche la plus adaptée et la plus efficace. Ce mode de gestion permet de résoudre des problèmes précis reliés à la qualité des eaux. Les retenues collinaires sont des petits barrages en terre aménagés par l'homme, d'un investissement peu coûteux par rapport aux grands ouvrages hydrauliques. Ils se situent au niveau des dépressions entre les collines, ce qui permet la collecte de l'eau de pluie et des ruissellements. Leur implantation et leur promotion sont un choix stratégique intéressant permettant la mobilisation des ressources hydrauliques naturelles afin de répondre aux besoins en eau sans cesse croissants aussi bien dans l'agriculture, l'industrie que le tourisme (Toualbia., 1995a).

Les retenues collinaires se développent actuellement partout en Algérie alimentées par les eaux pluviales et les ruisseaux et elles peuvent mettre à la disposition des bénéficiaires quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de m^3 d'eau recueillis sur des bassins versants dont la superficie varie de quelques hectares à quelques km^2, utilisées essentiellement pour l'irrigation des cultures, elles peuvent être l'objet d'usages secondaires.

La tendance actuelle est à l'accroissement de ces surfaces. En effet, elles permettent de se prémunir des aléas climatiques. L'irrigation permet aux agriculteurs d'assurer les rendements et la disponibilité de leurs produits et répondre ainsi aux exigences de qualité de l'industrie agroalimentaire. Les premières réalisations des retenues collinaires ont visé essentiellement la protection des infrastructures en aval contre les crues. Actuellement, les objectifs ont évolué pour proposer des retenues pour le développement des zones déshéritées. Ces aménagements sont susceptibles de maintenir les populations rurales en leur assurant de réelles possibilités de développement dans un milieu pauvre, isolé et défavorisé, car elles interviennent dans la régulation et la conservation des flux hydriques par le captage des eaux de ruissellement et la recharge des nappes phréatiques et aussi jouent un rôle dans l'amélioration de l'environnement par la création d'oasis et l'extension des reboisements. Les régions semi-arides en Algérie identifiées comme les plus touchées par le changement climatique, ont un relief favorable à la réalisation des retenues collinaires permettant aux populations des zones concernées de disposer d'eau pour les différents usages en saison sèche (agricole, pastorale et domestique). Implantés dans des environnements fragiles et à faible activité économique, les retenues collinaires apparaissent comme des aménagements très innovants. Ils sont susceptibles de transformer profondément les systèmes de production agricole traditionnels avec l'utilisation des nouvelles techniques d'irrigation que constitue « le goutte à goutte » dans l'économie de l'eau,

L'implantation de ces retenues peut comporter certains risques et inconvénients sur les milieux physique, biologique et humain. Ces risques inhérents aux modifications apportées à l'écosystème doivent être préalablement étudiés afin d'en évaluer l'impact et prévenir les conséquences par des résolutions et mesures appropriées en vue d'assurer une gestion optimale des ressources en eau mobilisées (Toualbia, 1995).

1.6.2. Les objectifs de la gestion

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant en Algérie est cependant une entreprise difficile et à longue échéance. Elle demande, entre autres, une bonne planification, des connaissances multidisciplinaires, des outils appropriés et un financement stable et adéquat, pour bien cerner cette gestion en zones semi-aride, les objectifs suivants ont été visés :

- maîtriser l'eau pour les différents usages en vue de l'adaptation aux impacts avérés des changements climatiques en se basant sur l'identification des sites favorables, réalisation des études, Suivi évaluation.
- Sensibiliser le gestionnaire au concept de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant surtout en régions semi-aride.
- Réaliser des retenues collinaires pour l'irrigation afin de créer des points pastoraux.
- Développer le réseau régional d'acteurs professionnels de la gestion de l'eau.
- Aider les organismes de bassins versants à se structurer et à comprendre les différentes étapes de planification et de mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau à l'échelle du bassin versant et à voir comment elles se traduisent dans l'outil de gestion qu'est le plan directeur de l'eau.
- Contribuer au transfert de l'information et sensibilisation. Les acteurs concernés peuvent se rencontrer, échanger leurs points de vue et exposer les difficultés qu'ils rencontrent.

1.7. Description du parc des retenues collinaires en Algérie

Sur tout le territoire national, 900 retenues collinaires avaient été réalisées durant les années quatre-vingt totalisant une capacité de stockage de 118 millions de m^3. Ces retenues collinaires ayant été construites pour la plupart sans maturation adaptée et aucune forme de gestion n'a été établie. La majorité des aménagements est actuellement hors d'usage (500 retenues environ détruites par les crues ou envasées). Les quelques 400 retenues collinaires actuellement en exploitation sont constituées de digue en terre d'une hauteur inférieure à 10 mètres et d'une capacité de retenue pouvant atteindre 1 million de m^3, totalisant une capacité de stockage d'environ 72 millions de m^3, permettant d'irriguer une superficie totale de 18.000 ha. 313 retenues effectivement exploitées (situation de 2007), se répartissent par région hydrographique comme le montre la figure 1.2, représentant les principaux sites des retenues collinaires et stations hydrométrique.

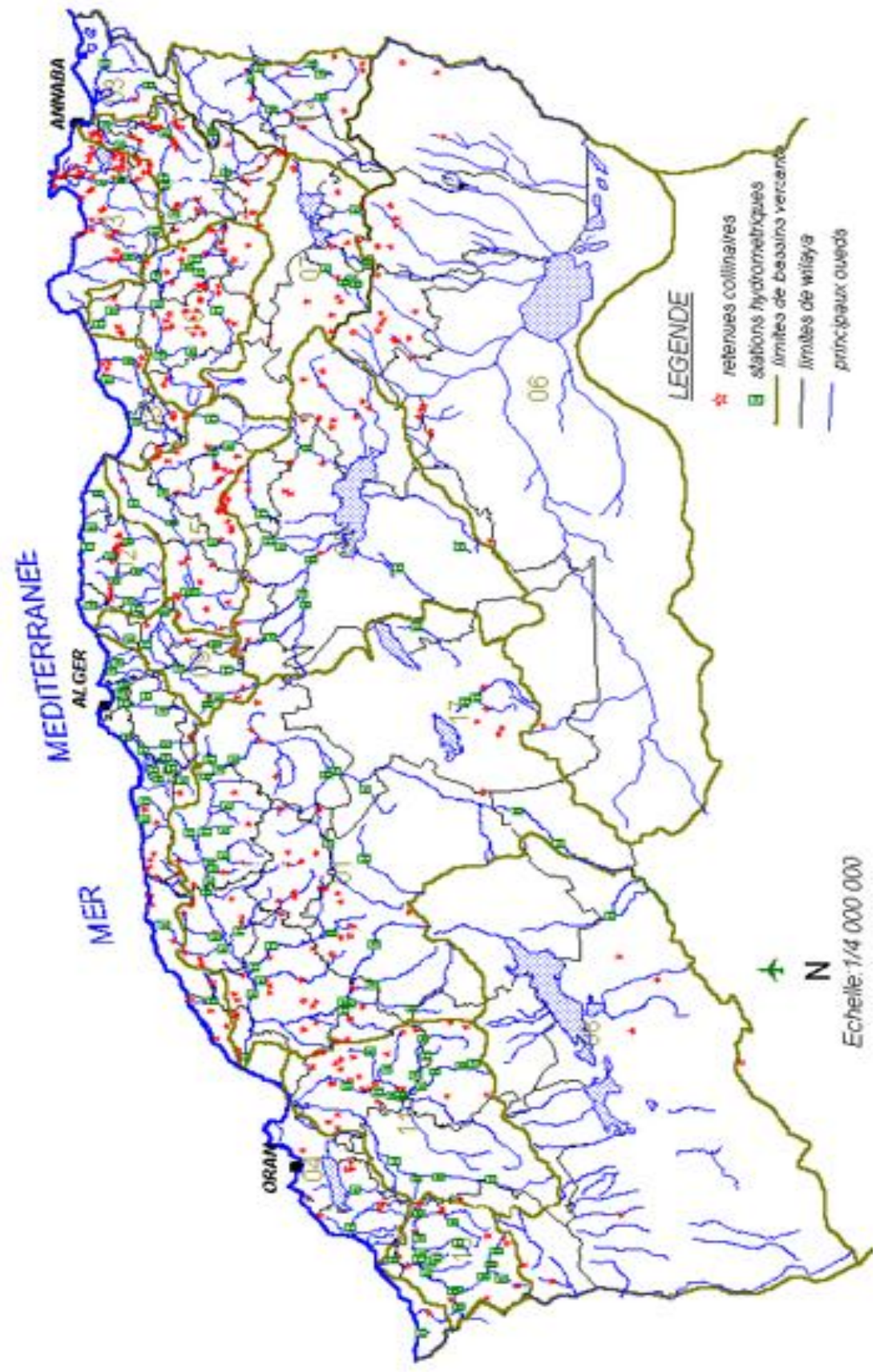


Figure 1.2. Carte de situation des sites des retenues collinaires et des principales stations hydrométriques

Les ressources en eau de la Wilaya de Tizi-Ouzou sont considérables et peuvent satisfaire non seulement les besoins locaux mais aussi ceux des Wilayas limitrophes. Le bassin versant drainé par l'Oued Sébaou prend naissance à 1837 mètres d'altitude sur le versant Nord du Djurdjura, avec une longueur de 110 Kms (DRE T.O. 2018). Sur la Rive gauche : Oued Bougdoura, Oued Aissi, Oued Rabta, Oued Sebt et Oued Ait Khellili. Sur la Rive droite : Oued Tamda, Oued Diss et Oued Stita. La Wilaya de Tizi-Ouzou a bénéficié, dans le cadre de l'hydraulique agricole, de la réalisation de quatre (04) barrages d'un volume régularisé de 4,925 Hm^3/an, ces ouvrages connaissant un taux d'envasement important qui engendre un amenuisement de la superficie irrigable (DRE T.O.2018).

83 retenues collinaires ont été réalisées à travers la Wilaya de Tizi-Ouzou réparties sur 38 communes (tableau 1.1), Le volume total mobilisé est de 5,725 Hm^3 qui permet d'irriguer jusqu'à 1145 ha. En 2018 la direction des ressources en eau de Tizi-Ouzou a déclassé 08 retenues collinaires (RC qui ne peuvent être réhabilitées), ce qui laisse 75 retenues collinaires en exploitation (tableau 1.1), d'une capacité de 5.090 Hm^3. Afin de préserver ce patrimoine, un programme de réhabilitation d'un nombre important de retenues collinaires a été lancé par La Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Ainsi, vingt-quatre (24) retenues collinaires ont été réhabilitées entre 2013 et 2016 qui s'ajoutent à un nombre de vingt-neuf (29) Retenues Collinaires réhabilitées par le passé, et qui porte à un total de quarante-deux (42) le nombre de Retenues réhabilitées. L'irrigation à partir de ces retenues touche environ 800 agriculteurs dont 20% sont des agriculteurs performants tirant leurs principales ressources de ces retenues.

Le morcellement des terres agricoles (partage entre héritiers) empêche une irrigation homogène et raisonnée, une distribution d'eau non équitable et déperdition de la ressource. Des campagnes de sensibilisation sont en train de se faire sur l'ensemble des communes concernées pour la prise en charge collectivement de l'exploitation et l'entretien courant des ouvrages avec l'appui technique des services déconcentrés des ressources en eau et de l'Agriculture (DRE T.O.2018). Toutes les retenues ainsi que les petits barrages résumés dans le tableau 1.1 sont destinés pour l'irrigation.

Tableau 1.1 : Tableau récapitulatif des retenues collinaire de la willaya de Tizi-Ouzou (DRE.2018)

NOM RC	Code RC DHE.TO	Commune	S.B km2	Type	Hauteur (m)	Capacité 10^3m^3	Année de mise en service	État
200	02 15 39 01	A.AISSA MIMOUN	0,7	retenue collinaire	9	60	1989	en exploitation
DSA	02 15 39 02	A.AISSA MIMOUN	0,9	petit barrage	11	40	1999	en exploitation
270	02 15 61 01	A.GUEHRENE	2,6	retenue collinaire	8	40	1985	en exploitation
258	02 15 25 01	AIN EL ZAOUA	1,6	retenue collinaire	10	60	1989	en exploitation
259	02 15 25 02	AIN EL ZAOUA	0,75	retenue collinaire	9	80	1987	**Réhabilité**
261	02 15 25 03	AIN EL ZAOUA	1,2	retenue collinaire	7	55	1985	en exploitation
301	02 15 65 01	AIT BOUADOU	1,7	retenue collinaire	9	45	1990	en exploitation
15	02 15 13 01	AIT CHAFAA	0,9	petit barrage	10,5	30	1994	**Réhabilité**
67	02 15 58 03	AIT KHELLILI	0,6	retenue collinaire	10	74	-	en exploitation
400	02 15 58 01	AIT KHELLILI	1,2	retenue collinaire	10	80	1989	**Réhabilité**
361	02 15 58 02	AIT KHELLILI (mghira)	1,2	retenue collinaire	10	60	-	**Réhabilité**
169	02 15 67 01	AIT TOUDERT	0,9	retenue collinaire	9	45	1987	en exploitation
170	02 15 67 02	AIT TOUDERT	0,85	retenue collinaire	8	50	1988	en exploitation
171	02 15 67 03	AIT TOUDERT	1,7	petit barrage	12	60	1989	en exploitation
172	02 15 67 04	AIT TOUDERT	0,75	retenue collinaire	10	50	-	en exploitation
492	02 15 27 01	AIT YAHIA	0,2	retenue collinaire	10	60	1988	exploitation
10	02 15 37 01	AZEFFOUN	2,4	retenue collinaire	9,5	40	1986	à réhabiliter
11	02 15 37 02	AZEFFOUN	1,8	retenue collinaire	10	70	1987	exploitation
14	02 15 37 04	AZEFFOUN	0,68	petit barrage	11	40	1994	en exploitation
DSA	02 15 37 03	AZEFFOUN	1,1	petit barrage	12	60	1997	en exploitation

DSA	02 15 37 05	AZEFFOUN	0,55	petit barrage	12,7	48	1999	en exploitation
407	02 15 15 01	BENI AISSI	5	retenue collinaire	10	60	1987	en exploitation
/	02 15 15 02	BENI AISSI	/	retenue collinaire	10	60	1991	R C déclassée
257	02 15 40 01	BOGHNI	0,7	retenue collinaire	10	65	1997	exploitation
/	02 15 40 02	BOGHNI	2,3	retenue collinaire	9	35	1987	R C déclassée
405	02 15 55 01	BOUDJEMA	1,71	retenue collinaire	10	100	1992	**Réhabilité**
252	02 15 10 03	BOUFHIMA	/	retenue collinaire	10	100	1985	en exploitation
DSA	02 15 34 01	BOUZEGUENE	0,9	retenue collinaire	10	75	1999	en exploitation
DSA	02 15 34 02	BOUZEGUENE	1,2	petit barrage	13	52	1999	en exploitation
406	02 15 47 02	DRAA BEN KHEDDA	0,95	petit barrage	11	70	1987	en exploitation
413	02 15 47 01	DRAA BEN KHEDDA	2,4	petit barrage	12	270	1988	en exploitation
415	02 15 47 03	DRAA BEN KHEDDA	1,4	petit barrage	11	100	1988	en exploitation
260	02 15 10 01	DRAA EL MIZAN	0,75	retenue collinaire	8,5	35	1986	en exploitation
265	02 15 10 02	DRAA EL MIZAN	1,65	retenue collinaire	8,5	70	1987	en exploitation
369	02 15 04 01	FREHA	1,8	retenue collinaire	10	30	1987	en exploitation
389	02 15 04 07	FREHA	0,56	retenue collinaire	8	50	1985	**Réhabilité**
395	02 15 04 02	FREHA	0,71	retenue collinaire	9,5	55	1988	à réhabiliter
396	02 15 04 03	FREHA	1,8	retenue collinaire	9,5	100	1986	**Réhabilité**
397	02 15 04 04	FREHA	0,71	retenue collinaire	9,5	45	1989	**Réhabilité**
398	02 15 04 05	FREHA	2	retenue collinaire	10	100	-	en exploitation
/	02 15 04 06	FREHA	0,6	retenue collinaire	9	44	1999	R C déclassée
490	02 15 17 01	IFERHOUNEN	0,9	retenue collinaire	8	50	1986	en exploitation
430	02 15 54 01	IFLISSEN	1,2	retenue collinaire	10	60	1989	en exploitation

399	02 15 19 01	ILOULA OUMALOU	1,3	retenue collinaire	10	80	1998	en exploitation
DSA	02 15 19 02	ILOULA OUMALOU	0,4	retenue collinaire	8	40	2000	en exploitation
491	02 15 63 01	IMSOUHAL	0,75	retenue collinaire	9	55	1988	en exploitation
480	02 15 07 01	IRDJEN	0,55	retenue collinaire	9	58	1985	en exploitation
424	02 15 09 01	MAKOUDA	0,92	retenue collinaire	7	80	1986	en exploitation
425	02 15 09 02	MAKOUDA	2,16	retenue collinaire	8	240	1986	en exploitation
427	02 15 09 03	MAKOUDA	1,2	petit barrage	12	75	1987	en exploitation
429	02 15 09 04	MAKOUDA	2	retenue collinaire	8	60	-	en exploitation
/	02 15 06 01	MECHTRAS	/	retenue collinaire	10	60	1987	R C déclassée
367	02 15 50 01	MEKLA	0,9	retenue collinaire	8,5	100	1985	**Réhabilité**
368	02 15 50 02	MEKLA	0,8	retenue collinaire	8,5	70	1986	en exploitation
391	02 15 50 05	MEKLA	2,3	retenue collinaire	10	40	1988	**Réhabilité**
393	02 15 50 04	MEKLA	0,53	retenue collinaire	7	48	1985	**Réhabilité**
/	02 15 50 06	MEKLA	0,69	retenue collinaire	10	40	1987	R C déclassée
394	02 15 50 03	MEKLA (chaoufa)	2,6	retenue collinaire	7	40	1986	**Réhabilité**
360	02 15 24 02	OUAGUENOUN	1,4	retenue collinaire	10	50	1988	**Réhabilité**
382	02 15 24 01	OUAGUENOUN	0,78	retenue collinaire	7	30	1985	en exploitation
421	02 15 59 01	SIDI NAAMANE	0,7	retenue collinaire	8	100	1986	en exploitation
426	02 15 59 02	SIDI NAAMANE	1,63	retenue collinaire	9,6	150	1987	en exploitation
428	02 15 59 03	SIDI NAAMANE	1,4	retenue collinaire	9	100	1985	à réhabiliter
DSA	02 15 05 01	SOUAMAA	0,75	petit barrage	11	60	-	en exploitation
418	02 15 64 01	TADMAIT	1,5	retenue collinaire	8	55	1986	**Réhabilité**
201	02 15 08 04	TIMIZART	1	retenue collinaire	9	60	1989	**Réhabilité**

363	02 15 08 01	TIMIZART	1,4	retenue collinaire	9	70	1986	**Réhabilité**
366	02 15 08 02	TIMIZART	1,1	retenue collinaire	10	135	1985	**Réhabilité**
388	02 15 08 03	TIMIZART	2	retenue collinaire	8	60	1986	**Réhabilité**
401	02 15 43 01	TIRMITINE	0,8	retenue collinaire	9	70	1987	en exploitation
402	02 15 43 02	TIRMITINE	1	retenue collinaire	8	115	1985	en exploitation
410	02 15 43 03	TIRMITINE	0,8	retenue collinaire	7	55	1985	en exploitation
411	02 15 43 04	TIRMITINE	2,2	retenue collinaire	7	40	1985	en exploitation
412	02 15 43 05	TIRMITINE	0,6	retenue collinaire	7	35	1985	en exploitation
263	02 15 11 01	TIZI GHENNIF	0,69	retenue collinaire	10	35	1986	en exploitation
264	02 15 11 02	TIZI GHENNIF	2,2	retenue collinaire	7	30	1987	en exploitation
/	02 15 11 03	TIZI GHENNIF	0,9	retenue collinaire	8	35	1986	R C déclassée
300	02 15 51 01	TIZI N'TLATA	0,6	retenue collinaire	9	60	1989	**Réhabilité**
408	02 15 01 01	TIZI OUZOU	0,6	retenue collinaire	9	40	1987	**Réhabilité**
/	02 15 01 02	TIZI OUZOU	0,95	petit barrage	10,5	55	1987	R C déclassée
/	02 15 22 01	TIZI RACHED	1	retenue collinaire	10	40	1986	R C déclassée
381	02 15 20 01	YAKOURENE	0,7	retenue collinaire	10	40	1986	**Réhabilité**
383	02 15 23 01	ZEKRI	0,75	retenue collinaire	8	80	-	en exploitation
Total	/	/	/	/	/	**5090**	/	/

1.8. Méthodes d'analyse de risque et présentation de SIE :

De nombreuses méthodes d'évaluation de l'état des ouvrages hydrauliques ont été développées par les gestionnaires de parcs d'ouvrages à des fins de diagnostic, d'analyse des risques ou de programmation d'actions de maintenance. Nous citons principalement l'approche par modèles physiques, l'approche par expertise, les méthodes de sureté de fonctionnement dans le génie civil et l'approche probabiliste. Pour la gestion d'un parc important d'ouvrages répartis sur de grands territoires, il est important de coupler la base de données, le système expert, un modèle mathématique avec un Système d'information Géographique (SIG). Ce système d'aide à la décision est appelé **Système d'Information sur l'Environnement (SIE)**. De nombreux auteurs, ont préféré proposer d'autres appellations (Hammoum et al.), Telles que :

- Système d'Information à Références Spatiale (SIRS) ;
- Système d'Information Environnementale à Références Spatiale (SIERS) ;
- Système de Géo-management ;
- Système d'Information et d'Aide à la Décision (SIAD) ;
- Système d'Information sur l'Environnement (SIE).

Dans le cadre de notre étude, nous proposons la conception et le développement d'une application SIE (**Système d'Information sur l'Environnement** (**SIE**)) pour la gestion des retenues collinaires.

Conclusion

Tous les travaux effectués sur les ressources naturelles de notre zone d'étude s'accordent sur la rareté de l'eau. Dans ce contexte, le projet de retenues collinaires constitue un levier important de développement rural et régional. La promotion de ces aménagements hydro-agricoles apparaıt comme une opportunité pour l'amélioration des bilans hydriques et la conservation du sol. Cette solution est intéressante lorsque les conditions biophysiques et socio-économiques le permettent.

Le retour d'expérience de plus de 30 ans a montré une disparité dans le comportement de ces retenues collinaires qui se manifeste par des pathologies et dégradations face aux divers aléas naturels (neige, vent, séisme,…etc.), dues malheureusement au manque d'entretien. Pour envisager les confortements adaptés et préserver ces ouvrages, il est nécessaire de faire un état de leur comportement. Ainsi, une étude de la vulnérabilité de ces constructions constitue une étape primordiale. Cette vulnérabilité peut être réduite si des mesures

préventives sont prises. C'est ainsi, que nous exposons, dans le prochain chapitre, une méthodologie de diagnostic et d'expertise des retenues collinaires basé sur la détermination de l'indice de vulnérabilité.

Chapitre 2 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité

Introduction

L'analyse des risques est une approche qui s'est répandue ces dernières années pour évaluer la vulnérabilité des structures ou pour dresser un classement prioritaire en vue de leur gestion. A ce jour, en Algérie il n'existe pas de méthodologie standard permettant l'analyse de la vulnérabilité (ou performance) de retenue collinaire. Le seul outil normatif de référence utilisé par les bureaux d'études en ingénierie et administrations reste le Guide de retenue au Maghreb, publié par le Plan de Développement des Nations Unies (PNUD, 1987) qui présente la méthodologie détaillée pour la conception de retenue collinaire dans les pays d'Afrique du Nord.

Au stade des études préliminaires ou du diagnostic rapide, lorsque nous ne disposons pas de données suffisantes sur la retenue, l'analyse des risques peut être réalisée par une expertise pure. Cette analyse nécessite une inspection visuelle et repose sur les connaissances et les experts. C'est ainsi que nous consacrons ce chapitre à la présentation d'une méthode qualitative qui repose sur l'évaluation de l'indice de vulnérabilité. Cette méthode est appliquée pour expertiser un parc de retenue dans la wilaya de Tizi-Ouzou. A cet effet, une étude de cas sera présentée.

2.1. Exposé de la méthode de l'indice de vulnérabilité des retenues collinaires

La méthode de diagnostic que nous présentons dans cette section a était développée par Saradouni dans le cadre de son mémoire de son magister (Saradouni, 2012) et a fait l'objet d'une publication en 2018 (Bouzelha.K et al. 2018). Pour le calcul de l'indice de vulnérabilité, cette méthode se base sur trois types d'analyses (Environnementale. Structurelle et fonctionnelle) et 17 paramètres influençant la vulnérabilité (**tableau 2.1).**

Tableau 2.1 : Liste des paramètres d'analyse.

Type d'analyse	N°	Désignation des paramètres
Analyse environnementale	1	Implantation de la retenue
	2	Zone sismique
	3	Type de sol
	4	Zone de neige
	5	Zone de vent
Analyse structurelle	6	Etanchéité du corps de la digue
	7	Type de protection du talus amont de la digue
	8	Type de protection du talus aval de la digue
	9	type de revêtements de la crête de la retenue
	10	Type de déversoir
	11	Type de coursier
	12	Type de murs bajoyers
	13	Type de bassin de dissipation d'énergie
Analyse fonctionnelle	14	Type de conduite de vidange
	15	Destination de la retenue
	16	Fréquence d'entretien
	17	Etat d'envasement de la de la retenue

Chacun de ces paramètres sera attribué par une note élémentaire N_{ei}. Le principe de notation sélectionné correspond au critère d'amplification de la note basé sur l'augmentation du risque de vulnérabilité. Chaque note élémentaire est affectée d'un coefficient de pondération P_i. Les notes élémentaires N_{ei} de tous les paramètres sont comprises entre 1 et 4: les valeurs extrêmes de 1 et 4 correspondent respectivement à une situation idéale et critique. La même approche est utilisée pour le coefficient de pondération P_i dont les valeurs vont de 1 à 4: (1) pour un paramètre de pénalité minimum et (4) pour un paramètre de pénalité maximum. Une grande échelle d'évaluation nécessiterait plus de finesse dans l'analyse, ce qui pourrait donner lieu à controverse au sein du même groupe d'experts qui devrait analyser le même défaut de structure ou pathologie. Par conséquent, un nombre important de valeurs d'analyse pose des problèmes de chevauchement des niveaux qualitatifs. L'expérience IRSTEA (institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) sur l'évaluation des structures hydrauliques endommagées a montré qu'une analyse utilisant quatre valeurs est bien adaptée au diagnostic rapide et évite une divergence entre les analyses expertes (G. Mathieu, 2003). Pour ces raisons, une analyse qualitative basée sur quatre valeurs peut fournir l'état de défaillance et de dégradation de la structure du barrage. La note partielle d'un paramètre est alors obtenue par le produit de N_{ei} x P_i, et l'indice de vulnérabilité Iv est exprimé comme la somme de notes partielles de différents paramètres ;

$$\mathbf{I_V}=\sum_{i=1}^{17} \boldsymbol{Nei}.\mathbf{Pi} \qquad (2.1)$$

Le choix des cinq paramètres de l'analyse environnementale est principalement lié à la localisation topographique, au sol et à la considération sismique. Par conséquent, la note globale de l'analyse environnementale reste constante car l'environnement de la retenue étudiée est similaire. Les paramètres 6-13 caractérisent l'état de divers éléments structuraux du corps de la digue lors de l'inspection visuelle par l'ingénieur expert. Il résulte de dommages cumulatifs et du vieillissement à la suite d'une attaque naturelle (neige, vent et tremblement de terre). Ainsi, la note globale de l'analyse structurelle évolue avec le temps. Pour un critère donné, une grille d'évolution des notes partiels (Nei · Pi) peut être construite, en prenant en compte tous les scénarios possibles. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.2 et le tableau 2.3.

Tableau 2.2 : **Grille de hiérarchisation d'une note partielle d'un paramètre.**

Note élémentaire N_{ei}

Pondération Pi	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

Tableau 2.3 : Classification d'une retenue en fonction de son « Iv »

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_v	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

En considérant les **17** paramètres d'analyse, une classification impliquant quatre niveaux de vulnérabilité est suggérée.

- Le niveau vert : $17 \leq I_V \leq 68$: la retenue expertisée n'est pas vulnérable. L'ouvrage présente un bon comportement aux aléas naturels et ne nécessite aucune attention particulière après sa réalisation et sa mise en service. Seules les interventions ordinaires périodiques sont nécessaires.

- Le niveau orange 1 : $68 < I_V \leq 119$: Le comportement aux aléas naturels est assez bon. La retenue est moyennement vulnérable.

- Le niveau orange 2 : $119 < I_V \leq 189$: La retenue a une tenue et un comportement faible aux aléas naturels. Il présente une vulnérabilité assez élevée.

- Le niveau rouge : $189 < I_V \leq 288$: la retenue a une très faible tenue aux aléas donc une vulnérabilité très élevée. Par conséquent, elle doit être mise hors service ou à défaut en situation de restriction d'utilisation, immédiatement.

2.1.1. Analyse environnementale

2.1.1.1. Implantation de la retenue

L'implantation de l'ouvrage est discutée ici sous le double aspect des effets de l'hydrologie et de la climatologie. En Algérie, le zonage hydrologique est globalement représenté par quatre zones et régi par trois lois de répartition des précipitations sur son territoire, telles que définies par (Seltzer, 1946). Comme suit :

- la hauteur de pluie augmente avec l'altitude. Elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les autres ;
- la pluie augmente de l'Ouest vers l'Est ;
- la pluie diminue à mesure qu'on s'éloigne du littoral méditerranéen vers le sud. Comme montre le Tableau 2.4.

Tableau 2.4 : Notes élémentaires N_{ei} et pondérations P_i en fonction de l'implantation de la retenue

Lieu d'implantation de la retenue	N_{ei}	Différents climats existants	P_i
Montagne : Précipitations importantes avec plusieurs mois consécutifs d'enneigement.	1	Climat désertique des grandes étendues sahariennes	1
Vallées et pleines	2	Climat semi-aride ou le climat est froid et sec en hiver et chaud et sec en été avec une haute température	2
Hauts plateaux et Nord de l'Atlas Saharien	3	climat froid et sec en hiver et chaud et sec en été avec de forts écarts de température	3
Région Côtière	4	climat humide avec des embruns en bord de mer. Milieux agressif par la présence d'eaux plus ou moins salines.	4

2.1.1.2. Zone sismique

En Algérie, le code sismique (DTR B-C 2-48, 2003) définit quatre zones sismiques en fonction de l'intensité du séisme. Nous suggérons pour chaque zone une note élémentaire N_{ei} et les pondérations Pi dépendent du risque majeur que représente les retenues pour les vies humaines : Les conséquences sociales et économiques observées lors des séismes en Algérie (El Asnam en 1980 et Boumerdes en 2003). Ces poids sont déterminés par la nature du site d'implantation comme indiqué dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5 : Note élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction de la zone sismique

Zone sismique	Niveau de sismicité	N_{ei}	Site d'implantation	Pi
Zone 0	Négligeable	1	En rase compagne	1
Zone I	Faible	1	Zone rurale	2
Zone IIa	Moyen-niveau a	2	Zone industrielle	3
Zone IIb	Moyen-niveau b	3	Zone urbaine	4
Zone III	Elevé	4		

2.1.1.3. Type de sol

L'aspect géologique du sol est pris en compte par l'analyse de la catégorie du site, qui est en fonction des propriétés mécaniques du sol. Les sites sont classés en quatre catégories par le code sismique algérien (DTR B-C 2-48, 2003), en fonction de la vitesse moyenne de l'onde de cisaillement Vs. Ainsi, à chaque type de sol est effectuée une note élémentaire suivie d'une pondération par Pi (Tableau 2.6).

Tableau 2.6 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction du type de sol

Type de sol	Nature du sol	Vitesse moyenne	N_{ei}	Effet du site	Pi
Catégorie S1	Sol Rocheux	Vs>=800m/s	1	Présence de nappe	1
Catégorie S2	Sol Ferme	Vs>=400m/s	2	Présence de tassements : Risque de	2
Catégorie S3	Sol Meuble	Vs>=200m/s	3	liquéfaction du sol dans les milieux	
Catégorie S4	Très meuble	Vs<200m/s	4	alluvionnaire	
				Fissures de surface existantes	3
				Risque de glissement de terrain	4

Leurs valeurs sont déterminées en fonction des effets du site qui peuvent amplifier de manière significative les oscillations du sol et causer l'effondrement des digues en terre, tel que

l'eau souterraine, l'affaissement, les fissures de surface et les glissements de terrain (Zacek M, 2004). Les structures de génie civil peuvent parfois subir des charges sismiques jusqu'à cinq fois plus élevées que des structures similaires situées dans une zone moins dangereuse comme le montre le tableau 2.6. Il est donc impératif d'en tenir compte dans une étude de vulnérabilité et d'impliquer un géotechnicien ou un géologue.

2.1.1.4. Zone de neige

Le code algérien neiges et vents (DTR C 2-4.7, 1999) a établi une carte des zones de neige en divisant le territoire algérien en quatre zones **(figure 2.1, 2.2)**. La surcharge de neige sur le sol S_k, par unité de surface, est en fonction de la localisation géographique (zone) et de l'altitude H par rapport au niveau de la mer.

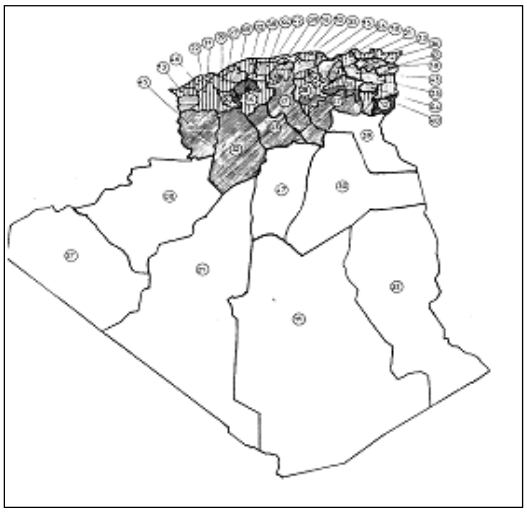


Figure 2.1 : Carte du zonage de neige d'Algérie

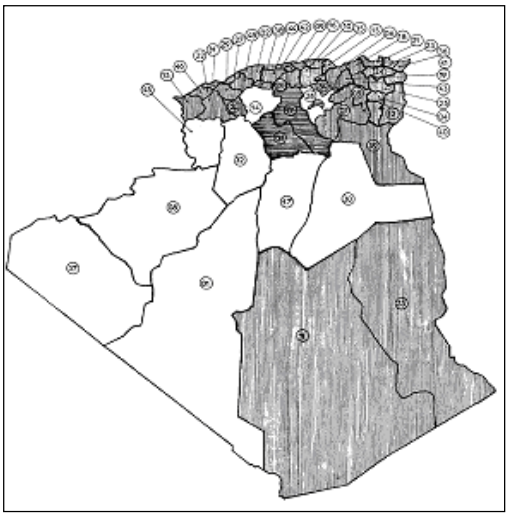


Figure 2.2 : carte du zonage du vent d'Algérie

La charge de neige est évaluée en fonction de l'action de neige et de l'altitude du site d'implantation. Il a été suggérer pour chaque action de neige une note élémentaire N_{ei} indiqué dans le Tableau 2.7 dans le code neige et vent algérien.

Tableau 2.7 : Notes élémentaires N_{ei} en fonction de la zone de neige.

N°	Zone de neige	N_{ei}
1	Zone A	**4**
2	Zone B	**3**
3	Zone C	**2**
4	Zone D	**1**

L'évaluation de la charge climatique (neige) selon le RNV99 (1999) sur le toit d'une structure de la retenue est en fonction de la forme de la toiture de l'ouvrage (forme voute, pente…etc.).

Comme les digues en terre ont toute une crête de forme rectiligne horizontale, les poids Pi du paramètre zone de neige sont prises égale à 1.

2.1.1.5. Zone de vent.

Le code neige et vent algérien (DTR C 2-4.7, 1999) a défini une carte des zones de vent en divisant le territoire algérien en quatre zones en ayant recourt à la notion de vitesse de vent V_{ref}, définie comme une vitesse moyenne sur 10 min mesurée dans les conditions conventionnelles avec une période de retour de 50 ans. Il est proposé pour chaque zone de vent une note élémentaire N_{ei} correspondent à l'action du vent comme indiqué dans le Tableau 2.8. Notons que le vent a pour effet de crée des vague qui vont se déferler sur le parement amont.

Tableau 2.8 Notes élémentaires N_{ei} de la zone de vent

Zone de vent	Vitesse de référence V_{ref} [m/s]	N_{ei}
Pas d'action de vent	…	1
Zone I	25	2
Zone II	28	3
Zone III	31	4

Les coefficients de pondération Pi seront déterminés en se référant au Règlement Neige et Vent pour tenir compte des facteurs de site pouvant amplifier l'effet de vent sur la retenue comme le montre le **Tableau 2.9**

Tableau 2.9 : Pondération Pi pour zone de vent

Hauteur de la digue	**P_h**	**Catégorie de terrain**	**P_c**	**Facteur topographique**	**P_t**	**Forme de la surface du plan d'eau**	**P_s**
2 à 5m	0.25	**Catégorie I** : en bord de mer, au bord d'un plan d'eau offrant au moins 5 km de longueur au vent, régions lisses et sans obstacles.	0.25	**Site 1** : site plat, site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir.	0.25	Arc	0.25
5 à 10m	0.50	**Catégorie II :** Zone de culture avec haies et avec des petites fermes, maisons ou arbres.	0.50	**Site 2** : site aux alentours des vallées et oueds avec effet d'entonnoir.	0.50	Rectangulaire	0.50
10 à 15m	0.75	**Catégorie III :** zone industrielle ou suburbaines, forêts.	0.75	**Site 3** : site aux alentours des plateaux, site aux alentours des collines.	0.75	Circulaire	0.75
>15m	1.00	**Catégorie IV** : zone urbaine dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m	1.00	**Site 4** : site montagneux	1.00	Carré	1.00

Le poids total Pi exprimé par la somme des quatre facteurs susmentionnés est indiqué comme suit :

$$Pi=P_h+P_c+P_t+P_s \qquad (2.2)$$

2.1.2. Analyse structurelle

La connaissance du système structurel et de la nature des matériaux avec lesquels sont réalisés les éléments structuraux est indispensable pour comprendre le comportement de la retenue vis-à-vis des aléas naturels et pour pouvoir ainsi donner des explications probables aux dommages observés.

2.1.2.1. Etanchéité du corps de la digue

Différents types d'imperméabilisation de remblais peuvent être utilisés dans différentes conceptions de retenue collinaire. Les paramètres de pondération peuvent varier entre deux situations extrêmes: la digue sèche et les fuites importantes. Les notes élémentaires N_{ei} attribuées correspondent au type d'imperméabilisation utilisé et les paramètres de pondération Pi dépendent de l'état d'imperméabilisation (Tableau 2.10).

Tableau 2.10 : Notes élémentaires N_{ei} pondération P_i en fonction de l'étanchéité du corps de la digue

Type d'étanchéité	N_{ei}	Etat de l'étanchéité	Pi
Digue homogène en argile compacté	**1**	Talus aval sec	**1**
Noyau central argileux compacté	**2**	Présence de suintement	**2**
Paroi moulé	**3**	Fuite légères	**3**
Masque étanche amont	**4**	Fuite importantes	**4**

2.1.2.2. Type de protection du talus amont de la digue

Le talus en amont est généralement protégé contre l'action des vagues par un enrochement, un revêtement imperméable comme du béton bitumineux ou un béton traité. Pour chaque type de protection une note élémentaire N_{ei} est proposée comme indiqué dans le Tableau 2.11. Les paramètres de pondération Pi dépendent du niveau de dégradation principal de cette protection.

Tableau 2.11: Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi de type de protection du talus amont de la digue

Type de protection	N_{ei}	Degré de dégradation	Pi
Enrochement	1	Aucune dégradation	1
Béton armé	2	Présence de végétation	2
Béton bitumineux	3	Présence des fissures /Terriers /Batillage	3
Talus non protégé	4	Présence de glissements	4

2.1.2.3. Type de protection du talus aval de la digue

La pente en aval du talus est sensible à l'érosion qui est due au ruissellement et à la dégradation des terriers. Il est donc nécessaire de fournir une protection en aval. Et ce qui concerne le parement amont à l'attaque des vagues les mêmes notes élémentaires et les mêmes paramètres de pondération sont utilisés, comme indiqué dans le Tableau 2.11.

2.1.2.4. Type de revêtement de la crête

La crête de la retenue est sensible à l'orniérage en raison de lourdes charges mécaniques (circulation automobile). Il est donc suggéré pour chaque type de protection une note élémentaire N_{ei} comme indiqué dans le Tableau 2.12. Les paramètres de pondération Pi dépendent de l'état de recouvrement de la crête.

Tableau 2.12 : Notes élémentaires Nei et pondération Pi en fonction du type de revêtement de la crête de la digue

Type de revêtement	N_{ei}	Etat de la crête	Pi
Revêtement en béton armé	1	Présence de végétation	1
Revêtement en bitume	2	Présence d'ornières du au passage	2
Tout-venant bien compacté	3	des Véhicules	
Sans protection	4	Présence des fissures	3
		Affaissement de la crête	4

2.1.2.5. Déversoir

Le déversoir est une structure qui permet d'évacuer les débits d'inondation et protège ainsi la digue contre le débordement. Pour chaque type de déversoir le Tableau 2.13 illustre le type de déversoir donné en fonction de son état.

Tableau 2.13 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération Pi en fonction de type déversoir.

Type de déversoir	N_{ei}	Etat du déversoir	Pi
Déversoir latéral sur rive avec seuil en gabion	1	Aucune dégradation	1
Déversoir latéral sur rive a seuil en béton	2	Présence des tassements	2
Déversoir tulipe	3	Présence de fissures	3
Déversoir central placé sur le remblai	4	Présence d'obstacle	4

2.1.2.6. Coursier

Le coursier permet d'acheminer le flux de crue pour rejoindre le talweg naturel en aval de la digue. Sa construction est en fonction des notes élémentaires N_{ei} correspondent aux différents types de matériaux utilisés. D'autres paramètres sont aussi étudier tel que les paramètres de pondération qui sont déterminés en fonction des dégradations observés au cours de l'expertise (Tableau 2.14).

Tableau 2.14 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction du type de coursier

Type de coursier	N_{ei}	Etat de dégradation	Pi
Béton armé	1	Aucune dégradation	1
Maçonnerie	2	Présence de végétation / obturation partielle	2
Gabion	3	Altération du béton / Erosion	3
Béton banché	4	Ruine et effondrement	4

2.1.2.7. Murs bajoyers

Les parois latérales de la structure des murs bajoyers sont des structures importantes agissant comme des murs de soutènement pour la pression de la terre et couvrant la hauteur d'eau. Sa défaillance peut affecter le bon fonctionnement du mur bajoyer.

Les notes élémentaires N_{ei} correspondent à différents types de matériaux utilisés dans la construction de ces derniers, et les pondérations sont déterminées en fonction des dommages observés au cours de l'expertise (Tableau 2.15).

Tableau 2.15 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction du type de murs bajoyers

Types de murs bajoyers	N_{ei}	Etat de dégradation	Pi
Béton armé	1	aucune dégradation	1
Maçonnerie	2	présence de déformations	2
Gabion	3	Fissure ou rupture de joints	3
Béton banché	4	Perte de stabilité	4

2.1.2.8. Bassin de dissipation d'énergie

Le débit dans le bassin génère une énergie cinétique élevée en fonction de la vitesse d'écoulement et doit être dissipé par le bassin pour restituer le flux fluvial au thalweg naturel et éviter l'érosion et l'affouillement (Tableau 2.16). Les notes élémentaires N_{ei} correspondent aux types de matériaux utilisés dans la construction du bassin de dissipation. Les paramètres de pondération sont déterminés en fonction des dommages observés pendant l'investigation.

Tableau 2.16 : Notes élémentaires et pondérations en fonction du type de bassin de dissipation d'énergie

N°	Type de matériau	N_{ei}	Etat de dégradation	Pi
1	Béton armé /Béton	1	Aucune dégradation	1
2	Enrochement	2	Déformation des structures	2
3	Gabion	3	Déplacement des enrochements	3
4	Maçonnerie	4	Affouillement et érosion/Ruine	4

2.1.3. Analyse fonctionnelle

2.1.3.1. Ouvrage de prise de vidange(Drain)

Le drain est un organe d'évacuation situé au pied de la digue. Il permet de contrôler l'élévation du niveau d'eau pendant le remplissage, la maintenance et la possibilité de vider la retenue rapidement en quelques jours en cas de danger (tel que le glissement de pente). Les digues sont habituellement drainées à l'aide de conduite en polyéthylène haute densité (PEHD), en acier, en galvanisé ou en acier noir. Cependant, les vannes sont toujours en fonte. Les notes élémentaires proposées sont en fonction du type de conduite utilisé. Les poids Pi dépendent de l'état de dégradation du tuyau (Tableau 2.17).

Tableau 2.17 : Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction de type de conduite de vidange

N°	Type de conduite de vidange	N_{ei}	Etat de dégradation de la vanne	Pi
1	Conduite en PEHD	1	Bon état de fonctionnement	1
2	Conduite galvanisé	2	Conduites exposées a l'air libre (corrodé, rouillée)	2
3	Conduite en fonte	3	Fuite (mauvais état)	3
4	Conduite en acier noire	4	Non fonctionnelle, détérioré et /ou obturée	4

2.1.3.2. Destination de la retenue

L'intérêt accordé à une retenue collinaire par le gestionnaire du patrimoine des retenues dépend de sa destination. Les paramètres de pondération Pi sont déterminés en fonction de l'état d'accessibilité pour la maintenance périodique ou la réparation de cette structure. Les notes élémentaires sont associées à la destination de l'ouvrage (Tableau 2.18).

Tableau 2.18 Notes élémentaires N_{ei} et pondération P_i en fonction de la destination de de la retenue

N°	Destination de la retenue	N_{ei}	Accessibilité de la retenue	Pi
1	Eau pour l'irrigation	1	Accessible par route revêtue	1
2	Retenue pour lutter contre les inondations	2	Accessible par route carrossable	2
3	Eau pour l'alimentation	3	Accessible par sentier piéton	3
4	Eau pour l'industrie	4	Retenue inaccessible	4

2.1.3.3. Fréquence d'entretien

Le contrôle du vieillissement d'une digue en service ne peut être assuré que par l'entretien et la réparation. Cette opération influe directement sur le niveau de vulnérabilité de ces retenues. Ce qui amène à proposer les notes élémentaires N_{ei} en fonction de la fréquence d'entretien et les pondérations Pi qui sont déterminés en fonction du risque engendré sur la population comme l'illustre le tableau 2.19.

Tableau 2.19 Notes N_{ei} élémentaires et pondération P_i en fonction de la fréquence d'entretien

Fréquence d'entretien	**N_{ei}**	**Risque en aval**	**Pi**
Trimestrielle	1	Aucun risque	1
Semestrielle	2	Route	2
Annuelle	3	Habitation	3
Absence d'entretien	4	Equipement publics	4

2.1.3.4. Etat d'envasement de la cuve

La connaissance de l'état d'envasement d'une retenue permet d'évaluer la durée de vie d'une structure avant le remplissage total. Selon l'étude menée par Claude J., Chartier R, (1977), il apparaît clairement que les plus petits bassins versants produisent plus de dépôts, étant donné que les distances à franchir sont faibles et que généralement la pente du lit de la rivière est assez forte, les matériaux érodés sont entraînés et déposés dans la retenue. Cependant, dans un grand bassin versant, il peut y avoir des zones de sédimentation intermédiaires ou des parties du lit de la rivière où la rivière peut abandonner une partie des sédiments transportés. Les sédiments peuvent ensuite être prélevés plusieurs fois avant de finir dans la retenue collinaire. L'influence de la couverture végétale a également été mise en évidence; les digues situées dans les bassins versants dénudés ont un envasement plus sévère que celles situées dans les bassins versants boisés avec une couverture végétale. De plus, l'envasement étant fonction du temps, ce critère serait aggravé par l'âge d'une digue. Les notes élémentaires associées à ce paramètre ainsi que les pondérations sont présentés au Tableau 2.20.

Tableau 2.20 Notes élémentaires N_{ei} et de pondération P_i en fonction de l'état d'envasement de la retenue.

Typologie d'entrée d'eau	N_{ei}	Age de la retenue	Pi
Canalisation	1	<a 10ans	1
Talweg (fente de neige)	2	Entre 10 et 20 ans	2
Talweg (ruissellement)	3	Entre 20 et 30 ans	3
Source	4	>a 30 ans	4

2.2. Étude de cas

Le patrimoine des retenues collinaires de la région de Tizi-Ouzou (nord de l'Algérie) (figure 2.3) compte aujourd'hui 83 retenues collinaires (Bouzelha, 2013). Ces digues en terre ont été construites au cours des années 1980 et impliquent la même conception, comme le montre la figure 2.4.

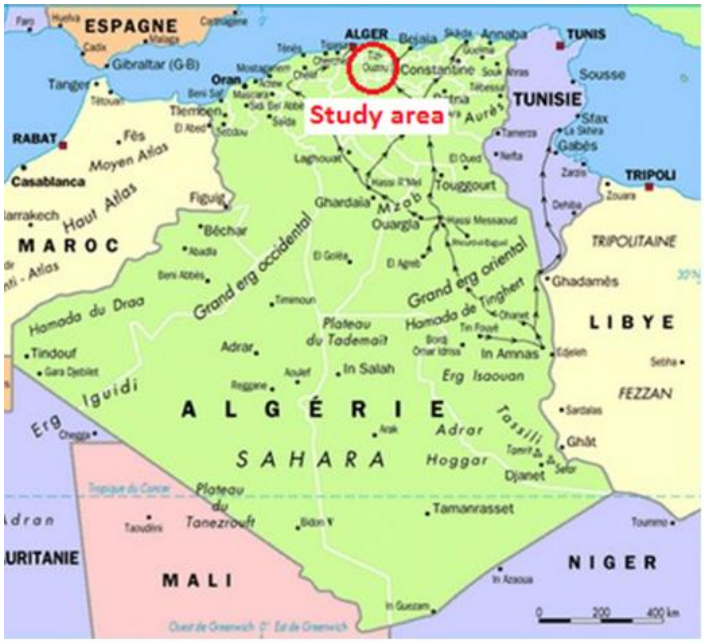


Figure2.3 : Emplacement de la zone d'étude (Tizi-Ouzou, Algérie).

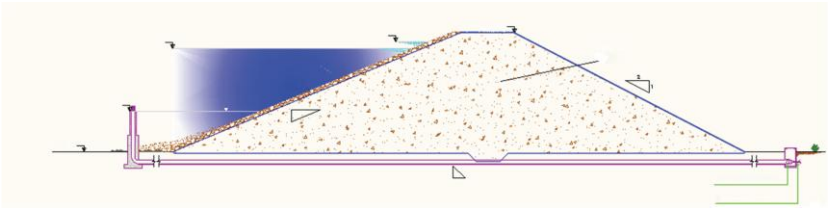


Figure 2.4 : Travers typique du remblai en terre à Tizi-Ouzou.

Dans le cadre de cette étude, neuf(09) retenues sont expertisé (tableau 2.21). Une mission de terrain d'une durée de trois mois a été effectuée avec la collaboration des ingénieurs de la DRE.

Lors de ses missions, des fiches d'enquêtes ont été renseigné pour les retenues expertisées. Ces fiches d'enquêtes élaborées sont données en annexe 1

Tableau 2.21. Présentation des retenues collinaire expertisée

RC	Code RC DHE.TO	Année de mise en service	Capacité $10^3 m^3$	Indice de vulnérabilité 2018
Freha N°395	02 15 04 02	1988	55	94
Freha N°397	02 15 04 04	1989	45	101
Tmizart N°363	02 15 08 01	1986	70	94
Tmizart N°366	02 15 08 02	1985	135	85.5
Tmizart N°388	02 15 08 03	1986	60	87.5
Tmizart N°201	02 15 08 04	1989	60	63.5
Ouaguenoun N°360	02 15 24 02	1988	50	94
Mekla N°394	02 15 50 03	1986	40	111
Mekla N°393	02 15 50 04	1985	48	88

La retenue collinaire Timizart N°363 située à l'est de chemin de wilaya 06 (C.W06) ou lieu-dit El-hamri (Chergui) sera notre étude de cas. Cette retenue, de capacité de 70 000 m^3, a été réalisée par la DRE en 1986 pour l'irrigation **(Figure 2.5**).

Figure 2.5 : vue générale de la retenue étudiée

a) Indice de vulnérabilité à la mise en service

La section suivante détaille l'évaluation de l'indice de vulnérabilité à la mise en service en 1986 (**Tableau 2.22**). La valeur obtenue (Iv = 61) classe la digue au niveau vert. La digue n'est pas vulnérable.

Tableau 2.22 Evaluation de la vulnérabilité a la mise en service en 1986

Evaluation	Critère de notation	Note élémentaire	N_{ei}	Coefficient de pondération	Pi	N_{ei} x Pi
Environnementale	Implantation de la retenue	Vallées et pleines	2	Climat sec	3	6
	Zone sismique	Zone IIa	2	Zone rural	2	4
	Type de sol	Sol meuble	3	Risque de glissement	4	12
	Zone de neige	Zone A	4		1	4
	Zone de vent	Zone I	2	Ph=0.75 Pc=0.50 Pt=0.5 Ps=0.75	2.50	5
Structurelle	Etanchéité du corps de la digue	Digue homogène en argile compactée	1	Talus aval sec	1	1
	Type de protection du talus amont de la digue	Enrochement	1	Aucune dégradation	1	1
	Type de protection du talus aval de la digue	Enrochement	1	Aucune dégradation	1	1
	Type de revêtement de la crête de la retenue	Tout – venant bien compacté	3	Présence végétation	1	3
	Type de déversoir	Déversoir latérale sur rive à seuil en béton	2	Aucune dégradation	1	2
	Type de coursier	Béton banché	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de mur bajoyer	Béton banché	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de bassin de dissipation d'énergie	Gabion	3	Aucune dégradation	1	3
Fonctionnelle	Type de conduite de vidange	Conduite acier noir	4	Fonctionnelle	1	4
	Destination de la retenue	Eau pour irrigation	1	Carrossable	2	2
	Etat d'envasement de la retenue	Talweg (ruissellement)	3	Inferieur a 10 ans	1	3
	Fréquence d'entretien	trimestrielle	1	Route	2	2
Indice de vulnérabilité						**61**

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_v	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

Indice de vulnérabilité à la mise en service en 1986 Iv=61

b) Indice de vulnérabilité au jour de l'expertise (Saradouni, 2012)

La retenue Timizart N°363 a été expertisée par Saradouni en août 2012. Plusieurs dégradations et pathologies sont observées sur la crête de cette retenue. Il a été remarqué la présence d'ornières créées par le passage répété des véhicules agricoles, à en juger par la trace des passages de roues figure 2.6.

Figure 2.6 : Ornières sur la crête de la retenue (Saradouni, 2012).

Ces véhicules, tractant des citernes remplies d'eau, créent des ornières jusqu'à 30 cm de profondeur par endroits comme le montre l'image ci-dessus. Ces ornières provoquent des crevasses qui se transforment en eau stagnante pendant la saison des pluies et peuvent créer des canaux ou des ravins sur les faces en amont ou en aval du remblai (Royet, 2006). Sur la pente amont du remblai, il a été remarqué la présence de plusieurs arbustes. Ce qui prouve un manque d'entretien périodique de la retenue. La rupture de la face amont de la retenue provoquée par l'action des vagues est visible sur la figure 2.7.

Figure 2.7 : présence d'arbustes et mouvement d'enrochement (Saradouni, 2012).

Ce mouvement de désordre de l'enrochement conduit à des glissements de terrain localisés progressant graduellement, entraînant finalement la diminution de la largeur de crête du corps de la digue. L'excavation des ravins sur le talus aval sont observées (figure 2.8). Ils sont causés par l'écoulement des eaux de pluie en hiver, qui deviennent des lignes de concentration. Bien sûr, ce phénomène est particulièrement observé dans les premiers mois après la construction, lorsque la couche aval n'est pas encore consolidée et que la végétation herbacée n'est pas complètement implantée (Royet P, 2006).

Figure 2.8 : creusement de ravines sur le parement aval (Saradouni, 2012).

Le déversoir de la retenue est latéral et construit en gabion. Il a été entièrement emporté par les inondations (**figure 2.9**).

Figure 2.9 : Déversoir emporté par les inondations (Saradouni, 2012).

La vanne de vidange, qui assure la fonction de prise d'eau, est en panne. Le diagnostic a montré que la valve est exposée à l'air libre et non protégée. Ce qui provoque sa corrosion et sa dégradation (**figure 2.10**).

Figure 2.10 : Corrosion et colmatage de la vanne (Saradouni, 2012).

Son mauvais entretien a compromis son fonctionnement (ouverture et fermeture). Cet état peut provoquer la destruction totale de la digue dans le cas où il serait nécessaire de vider la retenue dans une situation d'urgence.

Nous présentons dans le tableau 2.23 les paramètres de l'évaluation structurelle qui ont subi des modifications, en tenant compte des pathologies observées sur la structure.

Tableau 2.23.Indice de vulnérabilité aux jours d'expertise en 2012 (Saradouni. 2012).

Evaluation	Critère de notation	Note élémentaire	N_{ei}	Coefficient de pondération	Pi	N_{ei} x Pi
Environnementale	Implantation de la retenue	Vallées et pleines	2	Climat sec	3	6
	Zone sismique	Zone IIa	2	Zone rural	2	4
	Type de sol	Sol meuble	3	Risque de glissement	4	12
	Zone de neige	Zone A	4		1	4
	Zone de vent	Zone I	2	Ph=0.75 Pc=0.50 Pt=0.5 Ps=0.75	2.50	5
Structurelle	Etanchéité du corps de la digue	Digue homogène en argile compactée	1	Fuite légère	3	3
	Type de protection du talus amont de la digue	Enrochement	1	Présence de glissement	4	4
	Type de protection du talus aval de la digue	Enrochement	1	Présence de fissure	3	3
	Type de revêtement de la crête de la retenue	Tout – venant bien compacté	3	Affaissement de la crête	4	12
	Type de déversoir	Déversoir latérale sur rive à seuil en béton	2	Présence d'obstacle	4	8
	Type de coursier	Béton banché	4	Ruine et effondrement	4	16
	Type de mur bajoyer	Gabion	3	Perte de stabilité	4	12
	Type de bassin de dissipation d'énergie	Gabion	3	Affouillement et érosion	4	12
Fonctionnelle	Type de conduite de vidange	Conduite acier noir	4	Non fonctionnelle	4	16
	Destination de la retenue	Eau pour irrigation	1	Carrossable	2	2
	Etat d'envasement de la retenue	Talweg (ruissellement)	3	Entre 20 et 30 ans	3	9
	Fréquence d'entretien	Semestrielle	2	Route	2	4
Indice de vulnérabilité						**132**

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_v	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

Indice de vulnérabilité au jour de l'expertise (Saradouni) Iv=132

L'indice de vulnérabilité obtenu le jour de l'étude (Iv = 132) reclasse la retenue au niveau orange 2 comme montre le schéma ci-dessus. Ce qui démontre qu'elle est suffisamment vulnérable aux aléas naturels. Cela nécessiterait un renforcement et une réhabilitation.

c) Indice de vulnérabilité après réparation et réhabilitation

Les modes de réparation sont proposés dans le Tableau 2.24**,** basé sur le guide pratique IRSTEA (Royet P, 2006). Après le programme de réhabilitation, l'indice de vulnérabilité de la retenue étudié a été recalculé.

Tableau 2.24 : Mode de réparation correspondant aux défauts apparents

Pathologie	Mode de repartions possible
Ornières sur la crête du remblai	Remblayer avec du sable soigneusement compacté
Présence d'arbustes et de végétation sur la pente en amont du remblai	Procéder à une coupe systématique des brins et accompagner de produit chimique dévitalisant pour tuer les racines
Trouble du mouvement de l'enrochement sur pente en amont	Enherbement, mise en place d'un nouvel enrochement, blocs préfabriqué, gabions ou matelas Reno
Creusement de ravines sur le parement aval	Réparations de ravines conformément aux recommandations du chapitre I
Ruine et effondrement de l'évacuateur de crues	Mise en place d'un nouvel évacuateur de crues

Le Tableau 2.25 présente les paramètres de la structure d'évaluation qui ont subi des changements, en tenant compte des réparations. La valeur de l'indice de vulnérabilité obtenu après réhabilitation (IV = 86) reclasse la retenue au niveau orange 1. Cette analyse a montré qu'au-delà d'un certain degré de dégradation, même après la réhabilitation, les conséquences sur la retenue ne sont plus négligeables. La réhabilitation améliore les performances de la retenue mais ne revient jamais à son état initial.

Tableau 2.25 indice de vulnérabilité après réhabilitation (2013)

Evaluation	Critère de notation	Note élémentaire	N_{ei}	Coefficient de pondération	Pi	N_{ei} x Pi
Environnementale	Implantation de la retenue	Vallées et pleines	2	Climat sec	3	6
	Zone sismique	Zone IIa	2	Zone rural	2	4
	Type de sol	Sol meuble	3	Risque de glissement	4	12
	Zone de neige	Zone A	4		1	4
	Zone de vent	Zone I	2	Ph=0.75 Pc=0.50 Pt=0.50 Ps=0.75	2.50	5
Structurelle	Etanchéité du corps de la digue	Digue homogène en argile compactée	1	Talus aval sec	1	1
	Type de protection du talus amont de la digue	Enrochement	1	Aucune dégradation	1	1
	Type de protection du talus aval de la digue	Talus non protégé	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de revêtement de la crête de la retenue	Tout – venant bien compacté	3	Présence végétation	1	3
	Type de déversoir	Déversoir central sur la digue	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de coursier	Béton armé	1	Aucune dégradation	1	1
	Type de mur bajoyer	Béton banché	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de bassin de dissipation d'énergie	Enrochement	2	Aucune dégradation	1	2
Fonctionnelle	Type de conduite de vidange	Conduite acier noir	4	Non Fonctionnelle	4	16
	Destination de la retenue	Eau pour irrigation	1	Carrossable	2	2
	Etat d'envasement de la retenue	Talweg (ruissellement)	3	Entre 20 et 30 ans	3	9
	Fréquence d'entretien	Absence d'entretien	4	Route	2	8
Indice de vulnérabilité						**86**

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_v	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

Indice de vulnérabilité après Réhabilitation Iv=86

d) **Indice de vulnérabilité au jour de l'expertise 2018**

Cinq ans après la réhabilitation de la retenue collinaire Timizart N°363, nous avons procédé de nouveau à son expertise courant 2018. Le Tableau 2.26 présente l'indice de vulnérabilité obtenu. Bien que le classement de la retenue soit toujours au niveau orange 1, le manque d'entretien a provoqué une hausse de la valeur de l'indice de vulnérabilité (Iv = 94).

Tableau 2.26 Indice de vulnérabilité aux jours d'expertise en 2018 *(Gueddoun et Mostefai 2018).*

Evaluation	Critère de notation	Note élémentaire	N_{ei}	Coefficient de pondération	Pi	N_{ei} x Pi
Environnementale	Implantation de la retenue	Vallées et pleines	2	Climat sec	3	6
	Zone sismique	Zone IIa	2	Zone rural	2	4
	Type de sol	Sol meuble	3	Risque de glissement	4	12
	Zone de neige	Zone A	4		1	4
	Zone de vent	Zone I	2	Ph=0.75 Pc=0.50 Pt=0.50 Ps=0.75	2.50	5
Structurelle	Etanchéité du corps de la digue	Digue homogène en argile compactée	1	Talus aval sec	1	1
	Type de protection du talus amont de la digue	Enrochement	1	Présence de végétation	2	2
	Type de protection du talus aval de la digue	Talus non protégé	4	Présence de végétation	2	8
	Type de revêtement de la crête de la retenue	Tout – venant bien compacté	3	Présence végétation	1	3
	Type de déversoir	Déversoir central sur remblai	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de coursier	Béton armé	1	Aucune dégradation	1	1
	Type de mur bajoyer	Béton banché	4	Aucune dégradation	1	4
	Type de bassin de dissipation d'énergie	Enrochement	2	Aucune dégradation	1	2
Fonctionnelle	Type de conduite de vidange	Conduite acier noir	4	Non Fonctionnelle	4	16
	Destination de la retenue	Eau pour irrigation	1	Carrossable	2	2
	Etat d'envasement de la retenue	Talweg (ruissellement)	3	> a 30 ans	4	12
	Fréquence d'entretien	Absence d'entretien	4	Route	2	8
Indice de vulnérabilité						**94**

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_v	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

Indice de vulnérabilité en 2018 Iv=94

L'évolution de la vulnérabilité de la retenue Timizart N°363 depuis sa mise en service à ce jour, est donnée dans le tableau 2.27. La figure 2.11 illustre cette évolution.

Tableau 2.27. Récapitulatif de l'évolution de l'indice de vulnérabilité de la retenue Timizart N°363.

Date	Is	If	Ie	Iv
1986	19	11	31	61
2012	70	31	31	132
2013	20	35	31	86
2018	25	38	31	94

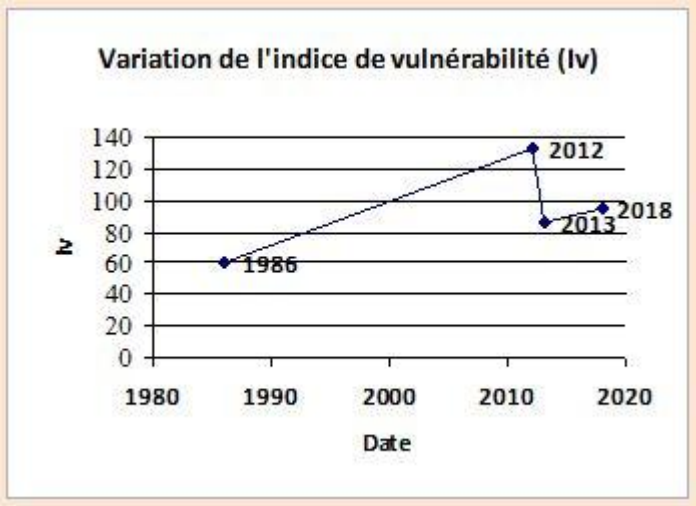


Figure 2.11 : Graphique de variation de l'état de de l'indice de vulnérabilité de la retenue Timizart N°363 aux cours des années.

2.3. Problèmes constatés sur quelques retenues collinaires de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Le diagnostic et l'inspection visuelle constitue le meilleur moyen de repérer d'éventuels anomalies, en ce qui concerne nos présentations les pathologies recensées dans la majorité des retenues collinaires de la wilaya de Tizi-Ouzou. Une enquête de terrain qui a été faite lors de notre stage à la DRE qui a duré 3 mois. À partir des données collectées sur le terrain, évalué 17 paramètres d'analyse de la vulnérabilité des retenues collinaires du parc de la wilaya de Tizi-Ouzou. Les problèmes constatés sont les suivant :

Glissement du sol constaté au niveau de la retenue collinaire expertisé comme l'illustre la figure 2.12. Ce phénomène est dû à une migration de particule engendrée par un écoulement superficiel dans un sol causé par les grandes crues.

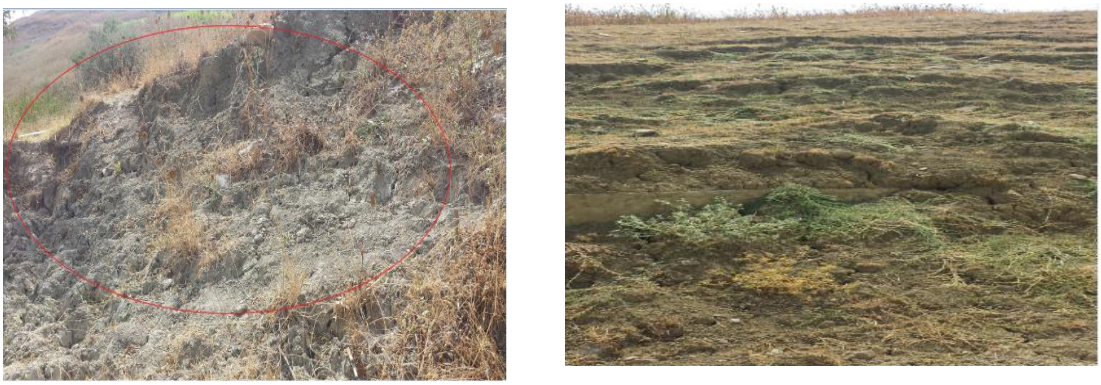


Figure 2.12 : Glissement et effondrement du sol (Gueddoun et Mostefai 2018).

- Des fissures localisées et situées sur le talus aval (figure 2.13) et sur la crête sont visibles sur les retenues expertisées. Ces fissures sont de l'ordre de 2 à 3 cm d'ouverture et plusieurs décimètres de profondeur. Elles ont pour origine des tassements du corps de remblai et peuvent être un indice d'amorce de glissement du talus.

Figure 2.13 : Présence de fissures sur la crête (Gueddoun et Mostefai 2018).

- La présence d'ornières visible dans la figure 2.14 ont été créé par la circulation des véhicules agricoles. Ces crevasses se transforment en flaque d'eau en période de pluie et peuvent ainsi créer des ravines sur les parements de la digue.

Figure 2.14 : Orniérages dues au passage de véhicule (Gueddoun et Mostefai 2018).

- Présence de végétation (herbes hautes, arbres, arbrisseaux) cela fait preuve d'absence d'entretien périodique des retenues expertisés (figure 2.15).

Figure 2.15 : Présence de la végétation autours de la retenue collinaire (Gueddoun et Mostefai 2018).

- Envasement des retenues (figure 2.16) qui est principalement causé par la décantation des sédiments au fond de la cuve. Il est nécessaire de faire un suivi régulier des apports solides pour un éventuel dévasement

Figure 2.16 : Envasement de la cuvette (Gueddoun et Mostefai 2018).

- Dégradation des ouvrages annexes de la retenue. L'évacuateur de crues des retenues collinaires expertisés sont complètement endommagé (figure 2.17). Nous avons constaté un amas des éboulis de terres, de pierre, de béton armé et de ferrailles suite à la destruction d'une partie du coursier.

Figure 2.17 : Déversoir envahi par la végétation ou complètement endommager (Gueddoun et Mostefai 2018).

- Le diagnostic de l'état des organes de vidange a montré que toutes les vannes sont exposées à l'aire libre et /ou sans protection, d'où leur état vétuste (corrosion) et dégradé (figure 2.18).
- Pour les chambres de vannes, celles-ci ont été vandalisées laissant ainsi l'organe de vidange sans protection contre les aléas naturels (figure 2.18). Ce mauvais entretien peut compromettre l'ouverture ou la fermeture des vannes en cas d'avaries.

Figure 2.18 : Corrosion des vannes de vidange et de prises (Gueddoun et Mostefai 2018).

2.4. Les bonnes pratiques d'entretien et de surveillance

Un bon entretien de la retenue collinaire permettra de freiner son vieillissement et donc d'augmenter sa longévité. Une surveillance régulière est indispensable pour détecter à temps tout phénomène nouveau et suivre les phénomènes évolutifs afin de prendre les mesures qui s'imposent. Au-delà des considérations de responsabilité, l'objectif de conserver l'ouvrage en bon état justifie à lui seul la surveillance et l'entretien réguliers.

Surveiller visuellement et régulièrement l'ouvrage

- Les arbres et arbustes sont à proscrire sur la crête et les talus des retenues et à proximité des abords pour cela il faut procéder à un fauchage régulier, à une coupe systématique des brins et accompagner de produits chimiques dévitalisant afin de tuer les sujets.
- Le suivi régulier des apports solides dans une RC est nécessaire pour un éventuel dévasement de la retenue. Une telle opération nécessite des mesures bathymétriques périodiques.
- Le fauchage et le débroussaillage régulier empêche le développement de zone de couvert et limite le risque d'installation d'une population de fouisseurs.
- Les ornières et points bas doivent être remblayés avec du tout-venant soigneusement compacté.

- Enherbement- mise en place d'enrochements, blocs préfabriqués, gabions ou Matelas Reno pour pallier aux glissements
- Enlever périodiquement et à chaque crue tous les branchages, corps flottant et autres dépôts obstruant l'entonnement du seuil, le seuil lui-même, le coursier, ou le bassin de dissipation.

Maintenir en bon état les ouvrages hydrauliques

- Les vannes de vidange doivent être essayées au moins une fois par an car il s'agit d'un organe de sécurité de l'ouvrage.
- Une ouverture totale de la vidange, plusieurs fois par an, en période de fort débit de la rivière est recommandée car elle permet une chasse des sédiments autour de la prise d'eau et prévient ainsi le risque de blocage des vannes par envasement.

Déclarer tout événement exceptionnel à l'administration

- Apparition d'un glissement de terrain sur le parement aval.
- Apparition d'un renard hydraulique sur le parement aval de la digue ou le long de la conduite de vidange.
- Ouvertures conséquentes dans la digue dues par exemple à des dégâts de ragondins.

Conclusion

La méthodologie basée sur l'indice de vulnérabilité présentée dans ce chapitre permet une évaluation simplifiée et rapide de la vulnérabilité des retenues homogènes face aux aléas naturels, par une analyse multicritère. Il s'agit d'un excellent outil de prise de décision dans la phase préliminaire de l'expertise entre les mains d'ingénieurs experts qui devront décider des solutions à adopter pour la réhabilitation ou la restauration de la structure.

A l'échelle réelle d'un parc de plusieurs retenues, il serait intéressant d'intégrer cette méthode dans une application SGBD, afin de faciliter la gestion de ces ouvrages. C'est ainsi que nous proposons au chapitre suivant un système informatique qui couple une base de données et un SIG.

Chapitre 3 : Développement de l’application SIE pour la gestion d’un parc de retenues collinaires

Introduction

Dans ce chapitre nous développons la partie informatique et cartographique du SIE (Système d'Information sur l'environnement) pour la gestion du parc de retenue collinaire de la wilaya de Tizi-Ouzou. L'outil utilisé est un SGBD (Système de Gestion de Base de donnée) pour gérer le volume important de données résultants des expertises, et un SIG pour la partie cartographique. Ce travail est inspiré de l'application **SIE Réservoir** développée par Hammoum (2012) pour la gestion des réservoirs.

3.1. Choix des logiciels

Pour construire la base de données, nous faisons appel au logiciel Access© et aux fiches d'enquêtes renseignées lors des missions d'expertises. Cette base de données est ensuite couplée avec des données cartographiques pour une analyse thématique du parc, en utilisant le logiciel Mapinfo Professional©. Les différentes étapes de développement de cette application **SIE Retenue** seront présentées dans ce qui suit.

3.1.1. Le logiciel de la base de données « Microsoft Access© » (Hammoum, 2012)

Access© est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBD). Son utilisation ne nécessite pas l'apprentissage d'un langage de programmation. Ce SGBD garantit la sécurité des données, leur intégrité référentielle et un accès transparent des données issues d'autre SGBD (DBASE) sans avoir à les importer. L'application **SIE Retenue** utilise une base de données Access© pour saisir, stocker et restituer les données relatives aux RC. Cette base de données peut être interrogée par n'importe quel programme au moyen de requête SQL (Système Query Language). Nous utilisons le logiciel Access© ainsi que le langage SQL pour récupérer, dans la base de données du **SIE Retenue**, les données nécessaires au calcul des indices de vulnérabilité conformément à la méthode de l'indice de vulnérabilité vu chapitre2.

3.1.2. Le logiciel du SIG « Mapinfo Professional© » (Hammoum, 2012)

Le logiciel utilisé pour la construction de notre SIG est le Mapinfo Professional©. C'est un système d'information géographique à l'origine bureautique développé par la société Pitney Bowes Buisness Insight (PBBI). Il permet la création, la mise à jour, l'affichage, l'édition, l'interrogation et l'analyse de toutes les données cartographiques ou géographiques. Il présente à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygone, images raster. Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données. Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des

cartes et base de données cartographiques. C'est un logiciel convivial doté d'une interface graphique de type « pointer-cliquer », il fournit un ensemble d'outils pour explorer, interroger, modifier et analyser des informations géographiques et présenter les résultats sur des documents cartographiques de qualité. Une application intégrant un ensemble de données prêtes à l'emploi. Mapinfo© permet de charger facilement des données localisées et tabulaires (littérales).

3.2. Objectif de l'application SIE Retenue

L'objectif de l'application **SIE Retenue** est la gestion du parc de retenues collinaires de la wilaya de T.O. Celle-ci prend en charge la gestion des informations propre à chaque RC récoltés lors des expertises, la gestion des données complémentaires, ainsi que la possibilité de positionner les différentes RC sur une carte géo-référencé. Cette application mise en œuvre doit permettre :

- Le recensement, dans une seule base de données, de toutes les informations recueillies sur les retenues collinaires (volume, adresse, date de mis en service,…).
- Le choix des dates d'expertise ; ce qui va offrir une multitude d'expertises pour chaque retenue.
- La mise à jour des données de différentes tables constituant la base de données.
- La création des requêtes paramétrables, facilitant l'interrogation des données voulues.
- La non redondance dans les données saisies.
- La réalisation d'analyses thématiques.
- L'analyse de l'historique de l'information du parc, qui nous permettra de suivre l'évolution de l'état des retenues ce qui va faciliter la prise de décision quant à sa gestion.

3.3. Architecture et fonctionnement de l'application

L'architectures de l'application et ses principales fonctionnalités sont résumées dans ce qui suit et illustrées par la figure 1.

- L'enquête de terrain sert à renseigner les ***fiches d'enquêtes*** propres à chaque retenue. Elle reste la source d'information la plus fiable pour alimenter la base de données, du fait qu'il y est une présence physique de l'expert ; ce qui est nécessaire pour établir une expertise en bonne et due forme.
- ***La saisie de la base de données*** et le calcul de l'indice de vulnérabilité sont des taches gérées par ***le logiciel Accès***© qu'il s'agisse d'une nouvelle retenue ou d'une retenue existante dans la base de données, une fois expertisée. L'indice de vulnérabilité est calculé pour la date d'expertise choisit, conformément à la méthode de l'indice de

vulnérabilité exposé dans le chapitre 2. L'application permet de généré un fichier Excel© ou sont répertoriées les informations utiles à la création d'un ***SIG***.

- A partir de l'Excel© généré, le logiciel ***Mapinfo***© va prendre en charge la géolocalisation des retenues du parc, ainsi que la production de cartes thématiques, qui sont de puissants ***outils d'aide à la décision pour un gestionnaire d'ouvrages.***

D'autres fonctionnalités viennent enrichir cette application afin d'optimiser son impact sur la gestion du parc de RC, comme la possibilité de générer un fichier PDF regroupant toutes les RC du parc expertisées avec des graphiques et des tableaux indicatifs, ou un lien hyper texte qui permet de localiser les RC du parc sur le logiciel Google Earth Pro©. L'application **SIE Retenue** est dotée d'une interface simple et conviviale de telle manière à faciliter l'utilisation aux agents de terrain sans formation informatique prérequis.

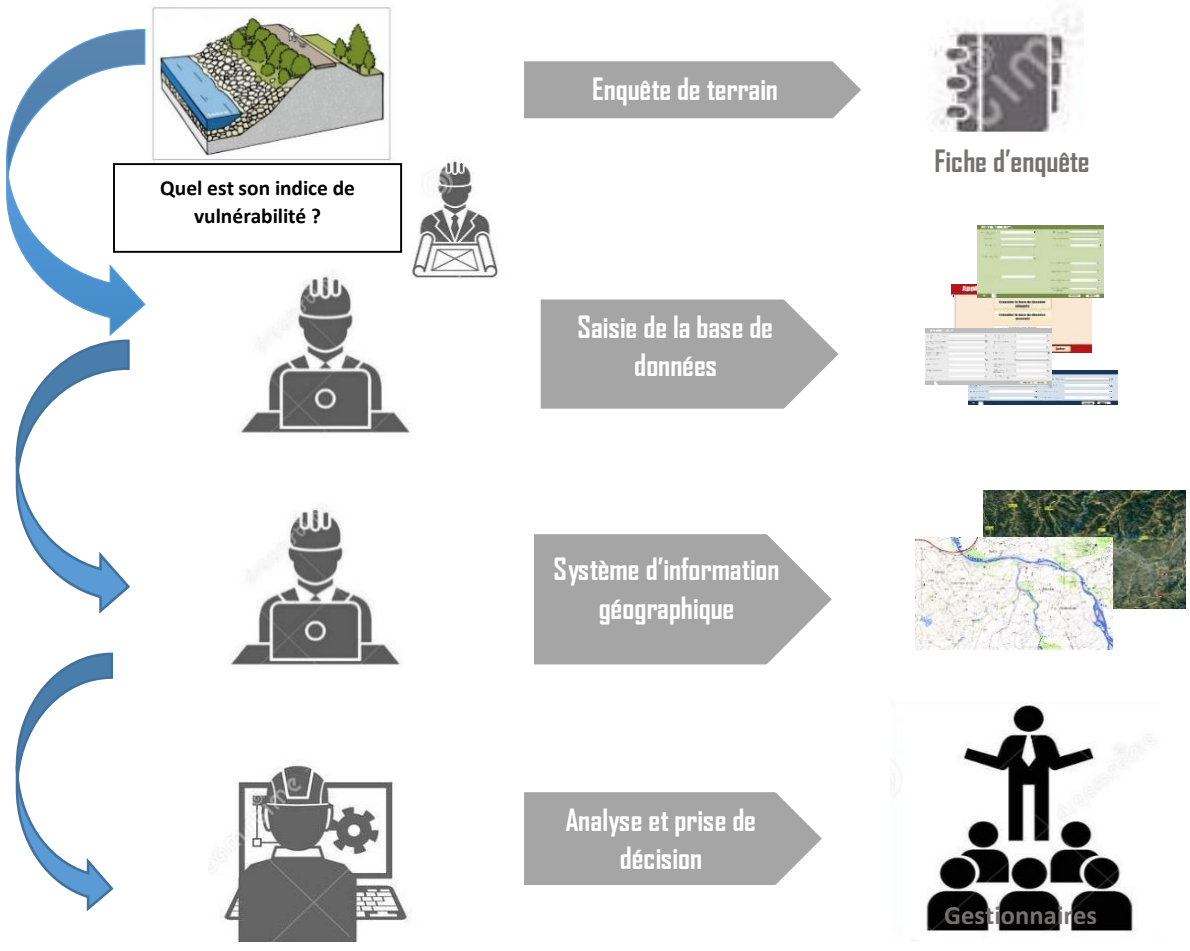


Figure 3.1. Architectures et fonctionnement de l'application.

3.4. Structures de la base de données sous Access©

Une base de données est un ensemble ou une collection structurée de données manipulées dans le **SIE.** Il existe plusieurs types de bases de données qui se distinguent par la façon dont les données sont structurées**,** qui proviennent soit de documents d'archives, soit de relevés sur le terrain. Ce qui nous a amené à une base de données composée de trois groupes de tables, les tables principales, secondaires et de soutient. Les tables principales et secondaires seront développés dans ce qui suit, quant au tables de soutient, elles seront présenté dans le tutoriel détaillé de l'application. Les tables principales sont composées de la table « Fiche technique » et « Iv (indice de vulnérabilité) », et les tables secondaires se composent des tables Environnemental, Structurelle et Fonctionnelle.

3.4.1. La table principal « Fiche technique »

Dans cette table sont regroupées toutes les informations identifiant la retenue dans son espace et qui ne rentrent pas dans le calcul de l'indice de vulnérabilité. Nous retrouvons à cet effet les champs dans le tableau 3.1

Tableau 3.1. Définition des champs de la table « Fiche technique »

Nom du champ	Type du champ	Définition du champ
Code retenue	Numérique	Code d'identification unique de la retenue (utilisée comme clé primaire)
Nom retenue	Texte court	Nom communautaire de la retenue
Nom attribué	Texte court	Nom attribué par le propriétaire de la retenue
Adresse retenue	Texte court	Adresse du lieu d'implantation de la retenue
Wilaya	Texte court	Wilaya d'implantation de la retenue
Daïra	Texte court	Daïra d'implantation de la retenue
Commune	Texte court	Commune d'implantation de la retenue
Propriétaire de la retenue/Gestionnaire	Texte court	Maitre d'ouvrage propriétaire et financier de l'ouvrage
Exploitant	Texte court	Entreprise, association ou communauté en charge de la gestion.
UTM_X	Numérique	Abscisse de la retenue en [m]
UTM_Y	Numérique	Ordonnées de la retenue en [m]
UTM_Z	Numérique	Altitude de la retenue en [m]
Hauteur de la digue	Numérique	Hauteur de la retenue en [m]
Volume retenue	Numérique	Capacité de la retenue [m^3]
Lien Google Earth	Lien hypertexte	Donne le positionnement de la retenue sur Google Earth.

Nous avons enrichi cette table par une fonctionnalité supplémentaire permettant, en « cliquant » directement sur le lien hypertexte du champ, d'ouvrir le fichier lien KMZ qui nous permet de lancer le logiciel Google Earth Pro© et de positionner la vue directement sur la retenue (figure 3.2).

Tableau 3.2. Extrait de la table « Fiche technique »

Fiche thecnique

Code_reter	Nom retenu	Nom atribue	Adress retenu	wilaya	daira	comune	Prop retenu	Gest retenu	UTM_X	UTM_Y
2150402	IAMARACHE	Freha N°395	IAMARACHE	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	618070	4069
2150404	FREHA SUD OUEST	Freha N°397	FREHA	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	616250	4068
2150801	EL HAMRI	Tmizart N°363	EL HAMRI	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DRE	agriculteurs	613610	4067
2150802	IMALOUSEN (ELMANSC	Tmizart N°366	ELMANSOURA	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DRE	agriculteurs	612920	4070
2150803	IMALOUSEN	Tmizart N°388	IMALOUSEN	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DRE	agriculteurs	612110	4068
2150805	HVIVDHE	Tmizart	HVIVDHE	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DSA	agriculteurs	612280	4067
2152402	MAHVOUVA	Ouaguenoun N°360	MAHEVOUVA	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DRE	agriculteurs	636740	4069
2155003	CHAOUFA	Mekla N°394	CHAOUFA	Tizi Ouzou	Mekla	Mekla	DRE	agriculteurs	613543	4064
2155004	TILIKATE	Mekla N°393	TILIKATE	Tizi Ouzou	Mekla	Mekla	DRE	agriculteurs	614150	4064
15093710	FELLAG	Azzefoun N°12		Tizi Ouzou	Azzefoun	Azzefoun	DSA	agriculteurs	623430	4083
15093715	BOUSOUELEM	Azzefoun N°15		Tizi Ouzou	Azzefoun	Azzefoun	DHW	agriculteurs	625920	4083
15160501	TALA ALI	Souamaa N°1	TALA ALI	Tizi Ouzou	Mekla	Souamaa	DSA	agriculteurs	620441	4062
15269958		Azzefoun N°14		Tizi Ouzou	Azzefoun	Azzefoun	DHW	agriculteurs	622820	4083
15341902	OFNI	Iloula oumalou N°1	OFNI	Tizi Ouzou	Bouzeguene	Iloula oumalou	DSA	agriculteurs	626494	4052
15343402	TALGHMOUTHE	Bouzguene N°2	TALGHMOUTHE	Tizi Ouzou	Bouzeguene	Bouzeguene	DSA	agriculteurs	627149	4054
15343403	AVNOVESKRE	Bouzguene N°3	AVNOVESKRE	Tizi Ouzou	Bouzeguene	Bouzeguene	DSA	agriculteurs	627669	4054
150404395	TIKORBINE	Freha N°391	TIKORBINE	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DHW	agriculteurs	614910	4069
150404396	NEZLA	Freha N°396	NEZLA	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DHW	agriculteurs	611930	4067
150404398	BAAGOU	Freha N°398	BAAGOU	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DHW	agriculteurs	614450	4070
150708201	AZEKKA OUDERGHAL	Tmizart N°201	DJEMMA AUZEKA OUDARGHAL	Tizi Ouzou	Ouaguenoun	Timizart	DHW	agriculteurs	612380	4070
150937111	MECHTAA	Azzefoun N°11		Tizi Ouzou	Azzefoun	Azzefoun	DSA	agriculteurs	623660	4083
151650367	ALLILECHE	Mekla N°367	ALLILECHE	Tizi Ouzou	Mekla	Mekla	DSA	agriculteurs	615520	4064
151650368	BONHAMA	Mekla N°368	BONHAMA	Tizi Ouzou	Mekla	Mekla	DSA	agriculteurs	617310	4064
151650391	AIT DJOUDI	Mekla N°391	AIT DJOUDI	Tizi Ouzou	Mekla	Mekla	DHW	agriculteurs	616880	4064
153419399	OFNI	Iloula oumalou N°399	OFNI	Tizi Ouzou	Bouzeguene	Bouzeguene	DHW	agriculteurs	626741	4051

Figure 3.2. Positionnement de la vue sur la retenue Mekla N°393 « Google Earth© »

3.4.2. La table secondaire « environnementale »

Les paramètres inclus dans cette table rentrent dans le calcul de la note partielle de l'analyse environnementale « Ie ». Nous retrouvons à cet effet les champs dans le tableau 3.3 et le tableau 3.4.

Tableau 3.3. Définition des champs de la table « environnementale »

Nom du champ	Type du champ	Définition du champ
Id	Numéro Auto	Identifiant utilisée pour la création de la table
Lieu d'implantation de la retenue	Numérique	Lieu d'implantation de la retenue (Montagne, Vallées et plaines…)
Différents climat existant	Numérique	Décrit le climat du lieu d'implantation définis selon (Seltzer, 1946)
Zone de sismique	Numérique	Zone sismique de la commune d'implantation (DTR B-C 2-48,2003)
Site d'implantation	Numérique	Décrit l'espace du site de la retenue (Urbain, Rural…)
Type de sol	Numérique	Catégorie du sol (Rocheux, Meuble…) (DTR B-C 2-48, 2003)
Effet de site	Numérique	Décrit le risque du site vis-à-vis de la retenue (Fissures, Tassements…)
Zone de neige	Numérique	Zone de neige de la commune d'implantation (DTR C 2-4.7, 1999)
Zone de vent	Numérique	Zone de vent de la commune d'implantation (DTR C 2-4.7, 1999)
Hauteur de la digue Ph	Numérique	Hauteur de la digue exprimé en [m]
Catégorie du terrain Pc	Numérique	Décrit les alentours du terrain (En bord de mer, zone de culture…)
Facteur topographique Pt	Numérique	Décrit la topographie du site par rapport aux effets du vent
Forme de la surface du plan d'eau Ps	Numérique	Décrit la forme du plan d'eau de la retenue
Ie	Calculé	Note partielle de l'analyse environnementale

Tableau 3.4. Extrait de la table « environnementale »

Environnemental

id	Lieu d'Implantation de la retenue	Zone sismique	Type de sol	Zone de neige (Nei)	Zone de vent	Différents cli
1	4	4	4	4	4	
2	4	4	4	4	4	
(Nouv.)						

3.4.3. La table secondaire « structurelle »

Les paramètres inclus dans cette table rentrent dans le calcul de la note partielle de l'analyse structurelle « Is ». Nous retrouvons à cet effet les champs dans le tableau 3.5 et le tableau 3.6.

Tableau 3.5. Définition des champs de la table « structurelle »

Nom du champ	Type du champ	Définition du champ
Id	Numéro Auto	Identifiant utilisée pour la création de la table
Type d'étanchéité du corps de la digue	Numérique	Décrit le type d'étanchéité (Paroi moulé, Masque étanche amont…)
Etat d'étanchéité	Numérique	Décrit l'état de l'étanchéité du corps de la digue (Fuite légères, …)
Type de protection du talus amont de la digue	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour la protection (Enrochement, Béton,…)
Degré de dégradation	Numérique	Décrit l'état du talus amont de la digue (Végétation, Fissures, Glissement, …)
Type de protection du talus aval de la digue	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour la protection (Enrochement, Béton,…)
Degré de dégradation	Numérique	Décrit l'état du talus aval de la digue (Végétation, Fissures, Glissement, …)
Type de revêtement de la crête de la retenue	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour le revêtement (Tout-venant, Béton,…)
Etat de la crête	Numérique	Décrit l'état de la crête (Végétation, Fissures, …)
Type du déversoir	Numérique	Décrit le type du déversoir (Latéral, Tulipe, Central, …)
Etat du déversoir	Numérique	Décrit l'état du déversoir (Fissures, Présence d'obstacles, …)
Type de coursier	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour le coursier (Maçonnerie, Gabion, …)
Etat de dégradation	Numérique	Décrit l'état du coursier (Ruine, Erosion, …)
Type de murs bajoyers	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour les murs bajoyers (Gabion, …)
Etat de dégradation	Numérique	Décrit l'état des murs bajoyers (Présence de déformation, Pertes de stabilité, …)
Type de bassin de dissipation d'énergie	Numérique	Décrit la nature des matériaux utilisée pour le bassin (Béton armé, Enrochement, …)
Etat de dégradation	Numérique	Décrit l'état du bassin (Déformation des structures, Affouillement, …)
Is	Calculé	Note partielle de l'analyse structurelle

Tableau 3.6. Extrait de la table « structurelle »

Structurelle

id	Type d'étan	Type de pro	Type de pro	Type de rev	Type du dév	Type de cou	Type de mu	Type de bas	Etat de l'éta	Degré de dé	Degré de dé	Etat de la cr
1	2	3	1	2	3	2	3	1	2	2	2	
(Nouv.)												

3.4.4. La table secondaire « fonctionnelle »

Les paramètres inclus dans cette table rentrent dans le calcul de la note partielle de l'analyse fonctionnelle « If ». Nous retrouvons à cet effet les champs suivant dans le tableau 3.7 et tableau 3.8.

Tableau 3.7. Définition des champs de la table « fonctionnelle »

Nom du champ	Type du champ	Définition du champ
id	Numéro Auto	Identifiant utilisée pour la création de la table
Type de conduite de vidange	Numérique	Décrit le type de conduite utilisée (PEHD, Fonte, …)
Etat de dégradation de la vanne	Numérique	Décrit l'état de la vanne (Bon état, Obturée, …)
Destination de l'ouvrage	Numérique	Décrit l'usage de la retenue (L'irrigation, L'industrie, …)
Accessibilité de l'ouvrage	Numérique	Décrit l'état de la route (Sentier, Inaccessible,…)
Fréquence d'entretien	Numérique	Mode d'entretien de l'exploitant (Mensuel, Annuel, …)
Risque en aval	Numérique	Donne les structure qui risque d'être emporté en cas de rupture (Habitation, route, …)
Typologie d'entrée d'eau	Numérique	Décrit la nature de l'entrée d'eau (Canalisation, Source, …)
Age de la retenue	Numérique	Donne l'âge de la retenue (Entre 10 et 20 ans, Entre 20 et 30 ans)
If	Calculé	Note partielle de l'analyse fonctionnelle

Tableau 3.8. Extrait de Table « fonctionnelle »

Fonctionnelle

id	Type de conduite de vidange	Destination de l'ouvrage	Typologie d	Fréquence c	Etat de dégr	Accessibilit	Age de la re	Risque en a	If
1	3	3	1	2	3	2	2	1	19
(Nouv.)									

3.4.5. La table principal « Iv (indice de vulnérabilité) »

Cette table regroupe les différents indices de vulnérabilités partielles obtenues à partir des tables secondaires, à l'aide de requêtes. C'est dans cette table que sera calculé l'indice de vulnérabilité global pour chaque retenue. Ajouter à cela, la table « Iv » a été étoffé d'un champ « Date_ » qui permet de choisir la date de l'expertise pour une retenue, soit à la mise en service, ou à un autre instant de sa vie. Nous retrouvons à cet effet les champs illustré dans le tableau 3.9 et le tableau 3.10.

Tableau 3.9. Définition des champs de la table « Iv »

Nom du champ	Type du champ	Définition du champ
Code retenu	Numérique	Code d'identification unique de la retenue (utilisée comme clé primaire)
Date_	Numérique	Date d'expertise de la retenue (utilisée comme deuxième clé primaire)
Is	Numérique	Indice structurelle
If	Numérique	Indice fonctionnelle
Ie	Numérique	Indice environnementale
Iv	calculé	Indice de vulnérabilité

Tableau 3.10. Extrait de la table « Iv »

Iv

Code_reten	Date_	Is	If	Ie	Iv
2150402	1988	15	12	31	58
2150402	2012	42	37	31	110
2150402	2014	20	30	31	81
2150402	2018	28	35	31	94
2150404	1989	20	12	36	68
2150404	2012	48	39	36	123
2150404	2014	20	36	36	92
2150404	2018	29	36	36	101
2150801	1986	19	11	31	61
2150801	2012	75	27	31	133
2150801	2013	20	35	31	86
2150801	2018	31	38	31	100
2150802	1985	11	15	24,5	50,5
2150802	2012	32	35	24,5	91,5
2150802	2014	17	39	24,5	80,5
2150802	2018	19	42	24,5	85,5
2150803	1986	20	9	24,5	53,5
2150803	2012	45	27	24,5	96,5
2150803	2014	23	19	24,5	66,5

3.4.6. Les relations entre les tables

C'est grâce aux relations entre tables qu'Access© permet d'associer les données contenues dans les différentes tables. La relation « un a plusieurs » entre la table « Iv » et la table « Fiche technique » (Figure 3.3), permet d'établir plusieurs expertises pour une seule retenue.

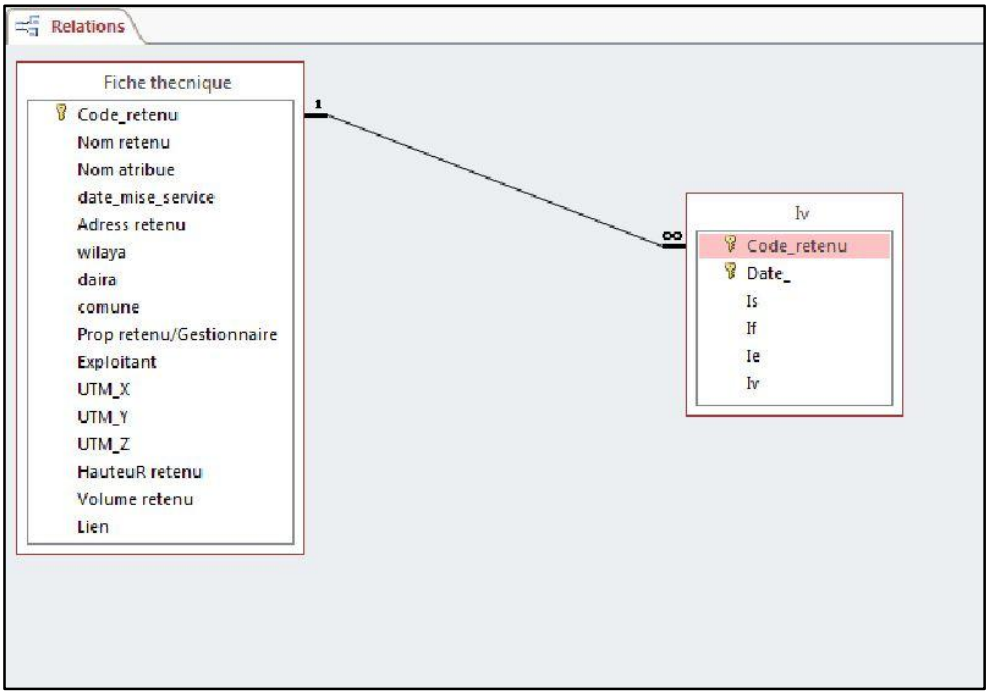


Figure 3.3. Structures des Relations entre les tables

Les résultats des indices de vulnérabilités partielles (Ie, If, Is), calculé au niveau des tables qui leur sont propres, grâce au générateur d'expression qu'emploi Access©, sont appelés dans la table « Iv » en utilisant des requêtes. Access© est capable de différencier, à l'intérieur d'une table, chaque enregistrement par rapport à un autre. C'est pour cela, qu'il a été nécessaire de définir un identifiant unique composé d'un champ. Sans cela aucune relation n'est possible entre les tables. Il s'agit du champ **clé primaire**. Le champ clé primaire utilisé dans notre application est le champ « **code_retenue** ».

3.4.7. Les requêtes

Les requêtes interrogent les informations contenues dans les champs d'une ou plusieurs tables. Elles peuvent être consultées à l'écran, imprimées telles quelles, ou donner lieu à la création d'un état.Une requête peut être basée sur une seule table, ou sur plusieurs. Dans ce cas, il est nécessaire que ces tables soient liées entre elles. Le calcul de l'indice de vulnérabilité se fait à l'aide d'une requête que nous nommons **« Iv Query »**. Cette requête permet de faire des opérations faisant appel aux diverses données contenues dans les différentes tables, comme montré dans la figure 3.4.

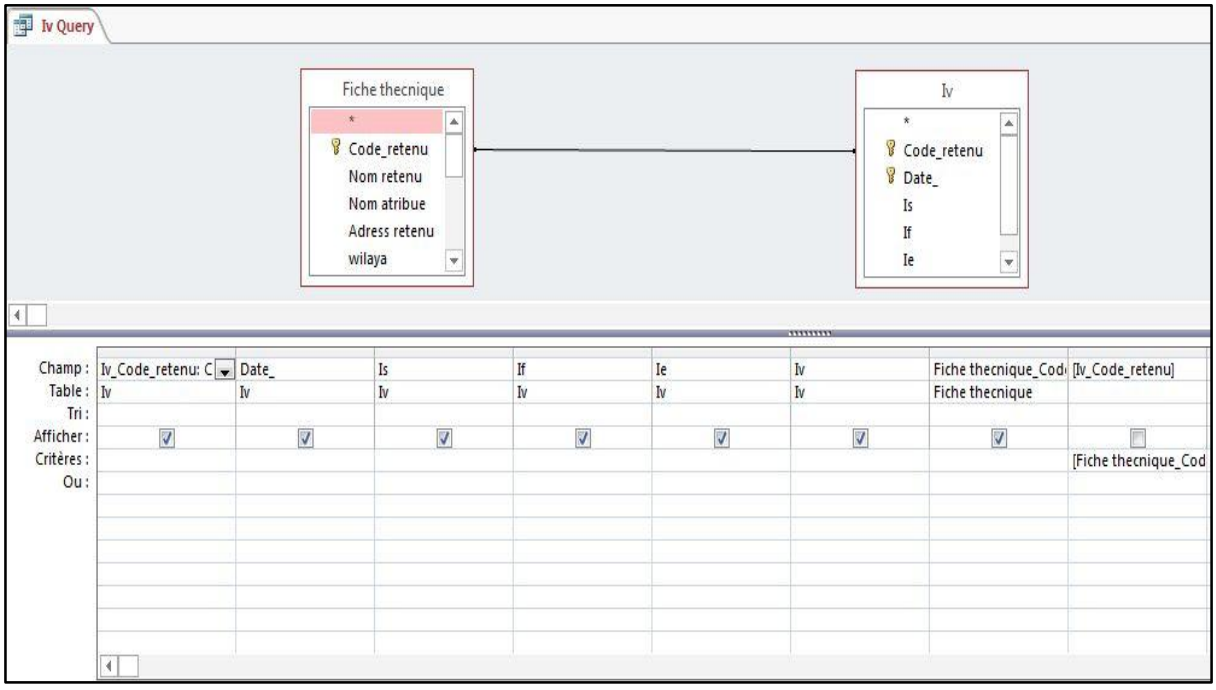


Figure 3.4. Vue de l'interface requête en mode programmation

3.4.8. Les formulaires

Dans Access©, un formulaire est un objet de base de données que vous pouvez utiliser pour créer l'interface utilisateur d'une application de base de données. Un formulaire « lié » est un formulaire qui est directement connecté à une source de données, telle qu'une table ou une

requête, et qui peut être utilisé pour entrer, modifier ou afficher les données de cette source. L'application est composée de neuf formulaires. Un formulaire pour le menu principal, deux pour le traitement des données, deux pour l'ajout et modification des données, et quatre pour l'expertise. Ces formulaires permettent d'afficher, de saisir et de modifier rapidement les informations d'une base de données en les présentant sous une forme simple, attrayante et facile à utiliser, comme nous le présentons ci-après en Figure 3.5.

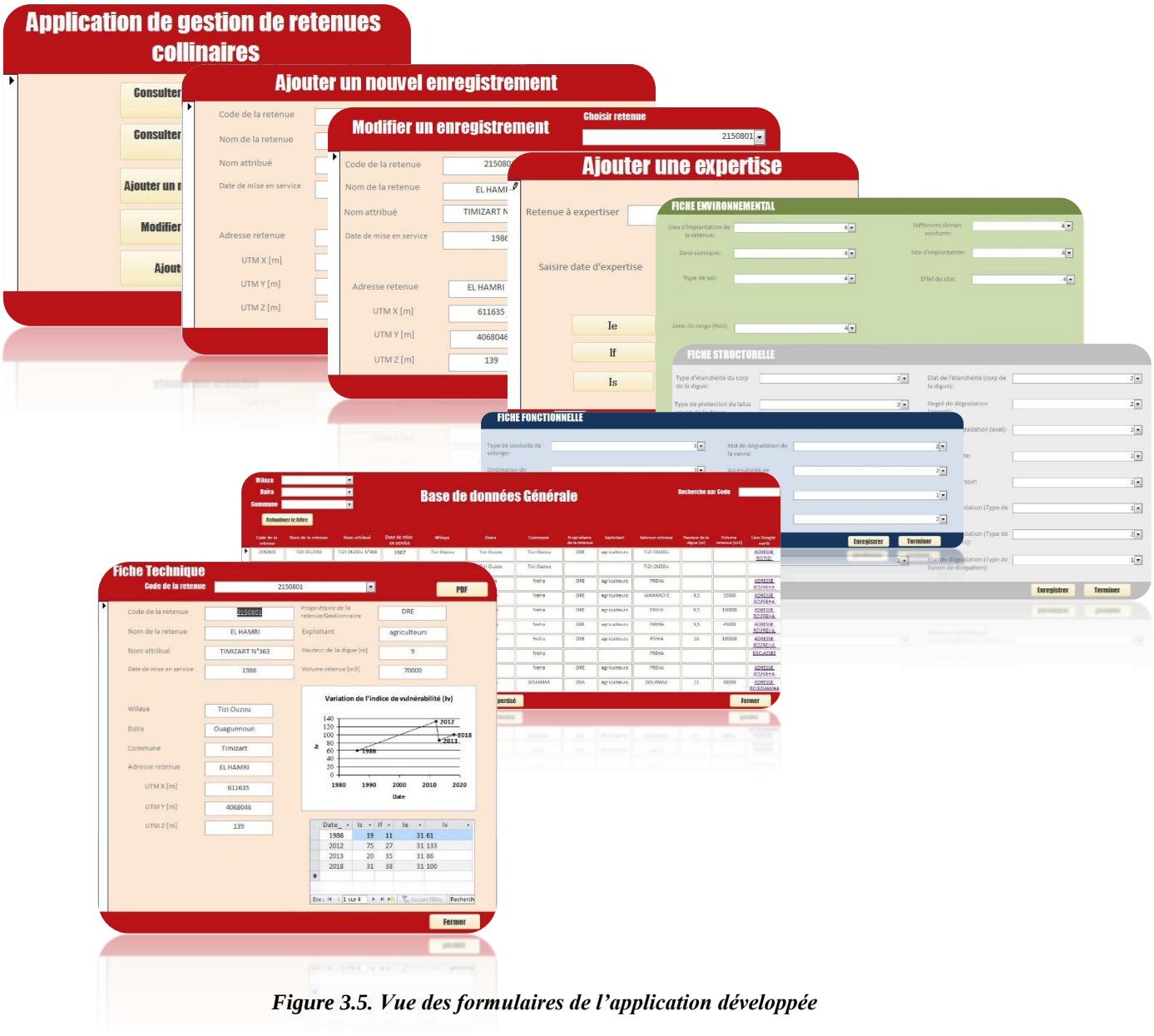
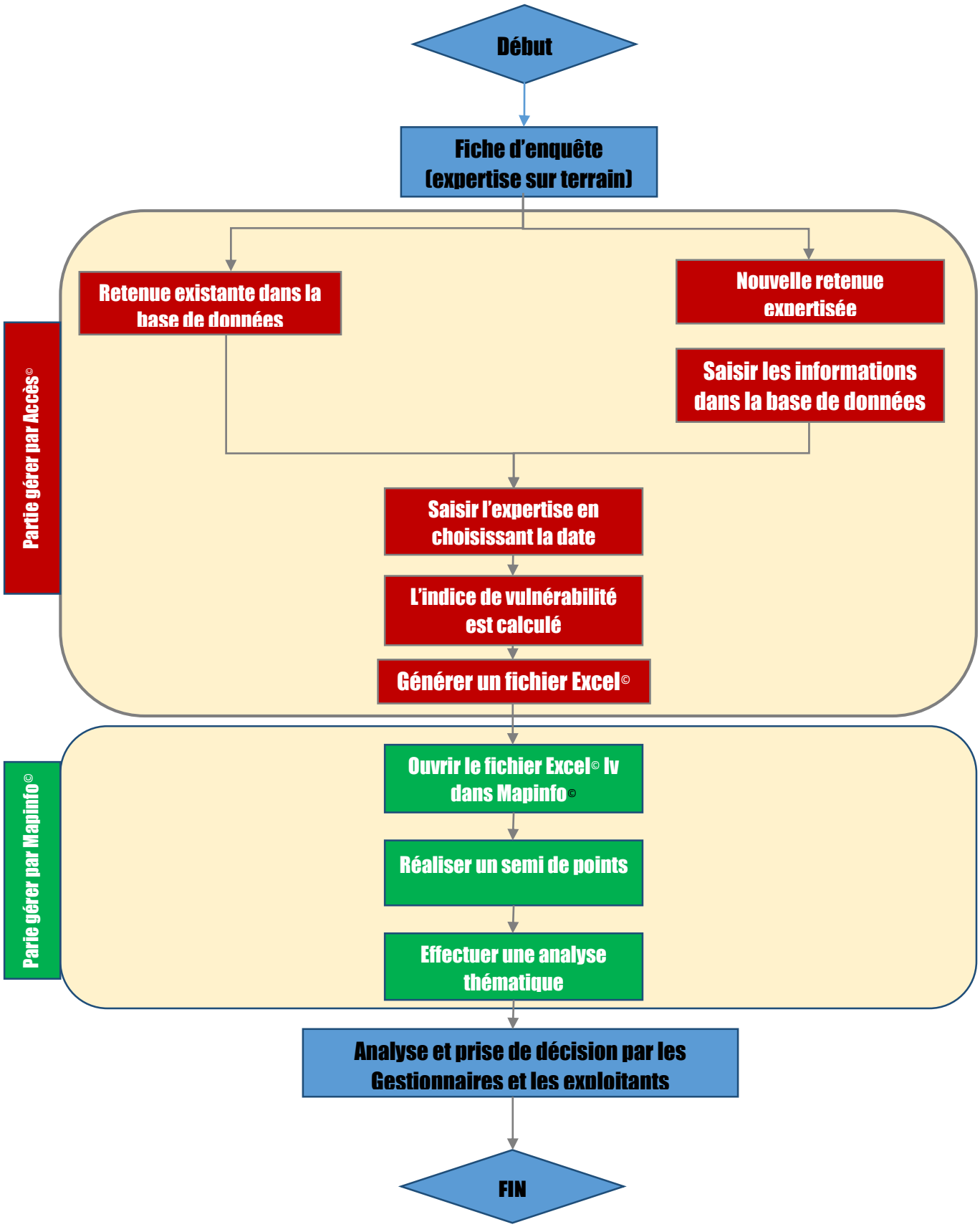


Figure 3.5. Vue des formulaires de l'application développée

L'organigramme du fonctionnement du SIE est donné ci-dessous :



Organigramme de fonctionnement du SIE

3.5. Construction du SIG

3.5.1. Calage de la carte

La zone d'étude s'étend sur 16 cartes d'états-majors de l'INCT (Institut National de Cartographie et de Télédétection) : Azeffoun 11 ouest, Azeffoun 11 est, Azeffoun 12 ouest, Azeffoun 12 est, Azeffoun 13 est, Azeffoun 13 ouest, Azeffoun 14 est, Azeffoun 14 ouest, Tizi-Ouzou31 est, Tizi-Ouzou 31 ouest, Tizi-Ouzou 32 ouest, Tizi-Ouzou 42 est, Tizi-Ouzou 33 est, Tizi-Ouzou 33 ouest, Tizi-Ouzou 34 est, Tizi-Ouzou 34 ouest. Ces cartes à l'échelle 1/25 000° avec une précision de positionnement de l'ouvrage sur carte allant de 10 à 20 m, ont été assemblées en une seul grâce au logiciel Photoshop©. La carte résultante appelée**« carte d'étude »** Apparait dans la figure 3.6.

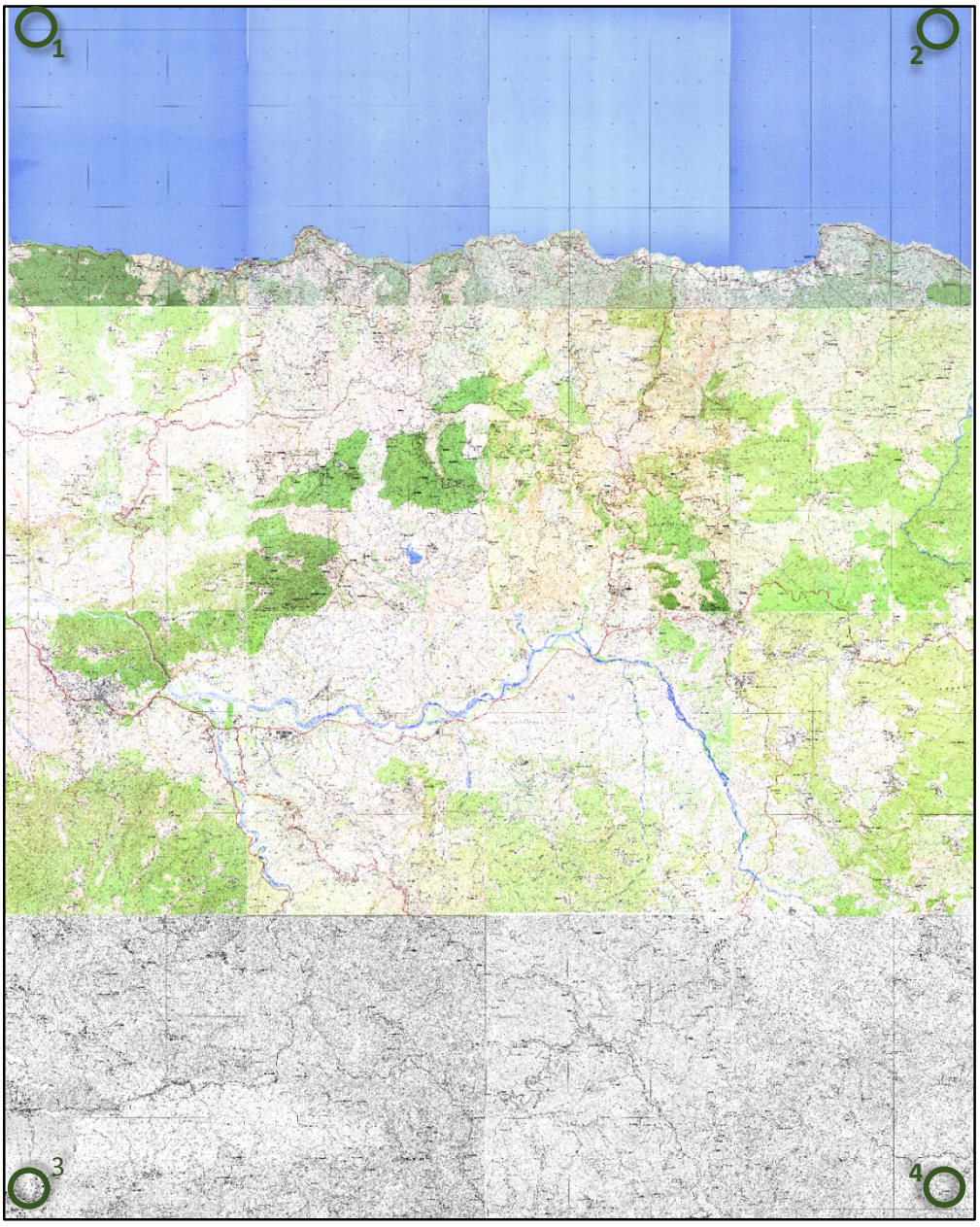


Figure 3.6.Carte d'étude

La carte d'étude a été calée en utilisant une projection UTM (Universal Transverse Mercator) (WGS84), dans la zone 31S hémisphère nord, à laquelle appartient la zone d'étude, comme nous pouvons le constater sur la figure 3.7 :

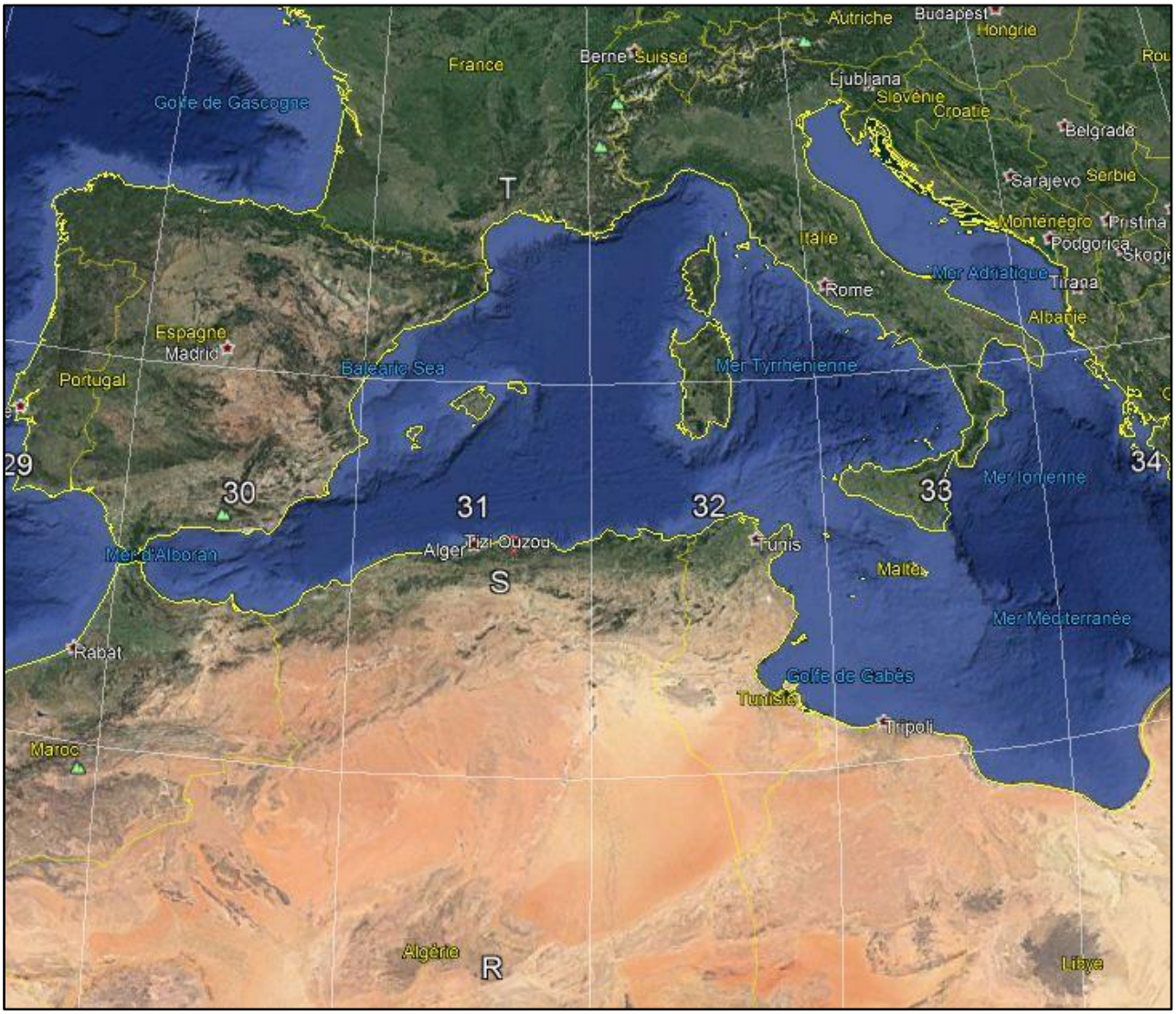


Figure 3.7. Zone 31S hémisphère nord « Google Earth Pro© »

Les Coordonnées des points de calage sont données dans le tableau 3.11.

Le tableau 3.11 : Coordonnées des points de calage

N°	X (m)	Y (m)
Pt1	590 000	4 094 000
Pt2	633 000	4 094 000
Pt3	590 000	4 041 000
Pt4	633 000	4 041 000

3.5.2. Implantation des retenues

Les retenues collinaires sont implantés par objet ponctuels géo-référencés à l'aide d'un couple de coordonnées (X, Y), fournis par la DRE (Direction des Ressources en Eau) en GPS, puis convertis en UTM (UTM (Universal Transverse Mercator) (WGS84)), grâce à Google Earth Pro©. Ces données sont extraites de la base de données Accès©, à partir du formulaire « Base de données Générales » et générées sous la forme d'un fichier Excel global, en utilisant le bouton « Excel total » (tableau 3.12)

Tableau 3.12 : Formulaire de la base de données générale

Le fichier Excel généré par ce bouton regroupe toutes les retenues collinaires expertisées en différentes dates (mise en service, réhabilitation, autres…), comme le montre le tableau 3.13 :

Tableau 3.13 : Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel Total »

Nom atribue	date_mise_service	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z	Date_	Iv
Freha N°395	1988	619 176	4 069 192	185	1988	58
Freha N°395	1988	619 176	4 069 192	185	2012	110
Freha N°395	1988	619 176	4 069 192	185	2014	81
Freha N°395	1988	619 176	4 069 192	185	2018	94
Freha N°397	1989	616 250	4 068 270	138	1989	68
Freha N°397	1989	616 250	4 068 270	138	2012	123
Freha N°397	1989	616 250	4 068 270	138	2014	92
Freha N°397	1989	616 250	4 068 270	138	2018	101
Souamaa DSA		620 441	4 062 076	194	1999	49,5
Souamaa DSA		620 441	4 062 076	194	2012	99,5
Tmizart N°363	1986	613 610	4 067 580	139	1986	61
Tmizart N°363	1986	613 610	4 067 580	139	2012	133
Tmizart N°363	1986	613 610	4 067 580	139	2013	86
Tmizart N°363	1986	613 610	4 067 580	139	2018	100
Tmizart N°366	1985	612 920	4 070 020	196	1985	50,5
Tmizart N°366	1985	612 920	4 070 020	196	2012	91,5
Tmizart N°366	1985	612 920	4 070 020	196	2014	80,5
Tmizart N°366	1985	612 920	4 070 020	196	2018	85,5
Tmizart N°388	1986	611 973	4 068 823	173	1986	53,5
Tmizart N°388	1986	611 973	4 068 823	173	2012	96,5
Tmizart N°388	1986	611 973	4 068 823	173	2014	66,5

Remarque : Pour mieux synthétisé les données en fonction des différentes analyses à réaliser, Excel offre différents filtres.

En utilisant le bouton « Excel Date », nous pouvons générer un fichier Excel plus précis, selon l'analyse souhaitée, comme le montre les tableaux 3.14 et 3.15. Ce bouton offre la possibilité de choisir entre les différentes dates d'expertise.

Tableau 3.14 : Formulaire de la base de données générale

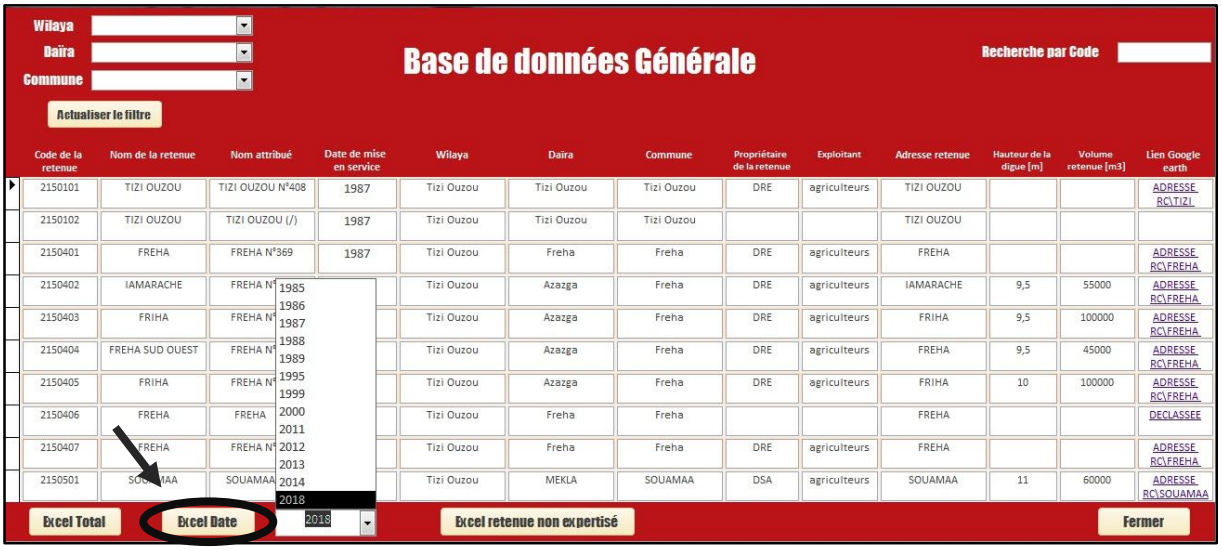
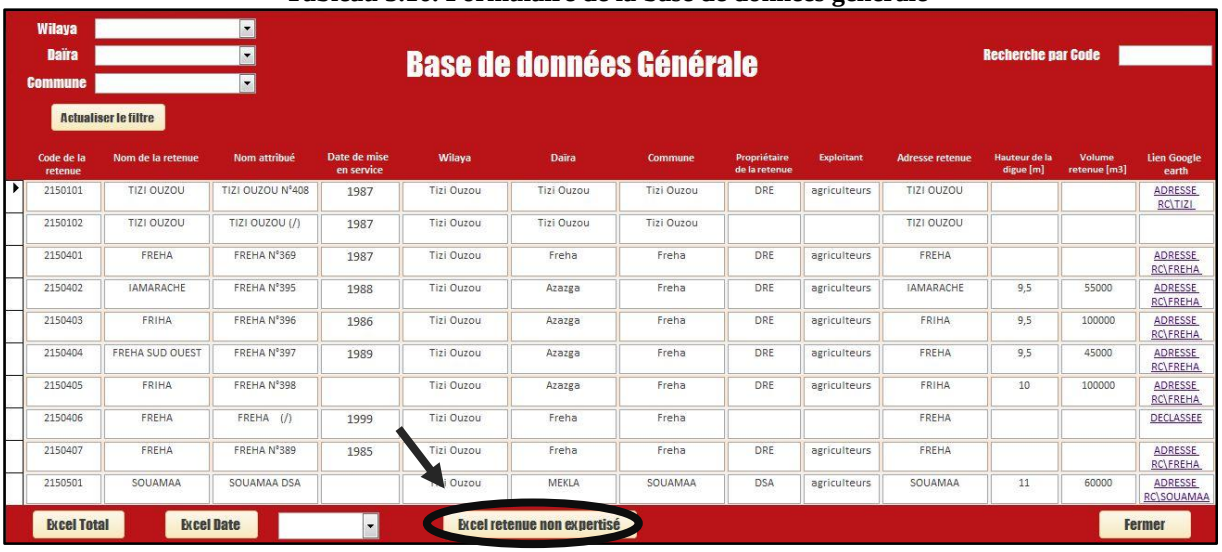


Tableau 3.15. Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel Date » pour l'année 2018

Code_retenu	Nom atribue	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z	Date_	iv
2150402	Freha N°395	619 176	4 069 192	185	2018	94
2150404	Freha N°397	616 250	4 068 270	138	2018	101
2150801	Tmizart N°363	613 610	4 067 580	139	2018	100
2150802	Tmizart N°366	612 920	4 070 020	196	2018	85,5
2150803	Tmizart N°388	611 973	4 068 823	173	2018	87,5
2150805	Tmizart N°201	612 483	4 068 006	163	2018	63,5
2152402	Ouaguenoun N°360	636 740	4 069 650	160	2018	94
2155003	Mekla N°394	613 543	4 064 374	176	2018	111
2155004	Mekla N°393	614 150	4 064 467	144	2018	88

Le bouton « Excel retenue non expertisé » génère un fichier Excel des retenues qui n'ont pas encore été expertisée, comme le montre letableau.3.16 et tableau.3.17.

Tableau 3.16. Formulaire de la base de données générale



Code de la retenue	Nom de la retenue	Nom attribué	Date de mise en service	Wilaya	Daïra	Commune	Propriétaire de la retenue	Exploitant	Adresse retenue	Hauteur de la digue [m]	Volume retenue [m3]	Lien Google earth
2150101	TIZI OUZOU	TIZI OUZOU N°408	1987	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	DRE	agriculteurs	TIZI OUZOU			ADRESSE RC\TIZI
2150102	TIZI OUZOU	TIZI OUZOU (/)	1987	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou			TIZI OUZOU			
2150401	FREHA	FREHA N°369	1987	Tizi Ouzou	Freha	Freha	DRE	agriculteurs	FREHA			ADRESSE RC\FREHA
2150402	IAMARACHE	FREHA N°395	1988	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	IAMARACHE	9,5	55000	ADRESSE RC\FREHA
2150403	FRIHA	FREHA N°396	1986	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	FRIHA	9,5	100000	ADRESSE RC\FREHA
2150404	FREHA SUD OUEST	FREHA N°397	1989	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	FREHA	9,5	45000	ADRESSE RC\FREHA
2150405	FRIHA	FREHA N°398		Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs	FRIHA	10	100000	ADRESSE RC\FREHA
2150406	FREHA	FREHA (/)	1999	Tizi Ouzou	Freha	Freha			FREHA			DECLASSEE
2150407	FREHA	FREHA N°389	1985	Tizi Ouzou	Freha	Freha	DRE	agriculteurs	FREHA			ADRESSE RC\FREHA
2150501	SOUAMAA	SOUAMAA DSA		Ouzou	MEKLA	SOUAMAA	DSA	agriculteurs	SOUAMAA	11	60000	ADRESSE RC\SOUAMAA

Tableau.3.17 : Extrait du tableau Excel généré par le bouton « Excel retenue non expertisé »

Nom atribue	date_mise_service	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z	Volume retenu	wilaya	daira	comune	Prop retenu/Gestionnaire	Exploitant
Tizi Ouzou N°408	1987	597417	4062874			Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	DRE	agriculteurs
Tizi Ouzou (/)	1987					Tizi Ouzou	Tizi Ouzou	Tizi Ouzou		
FREHA N°369	1987	618872	4069703			Tizi Ouzou	Freha	Freha	DRE	agriculteurs
Freha N°396	1986	609405	4066932	219	100000	Tizi Ouzou	Azazga	Freha	DRE	agriculteurs
FREHA (/)	1999					Tizi Ouzou	Freha	Freha		
FREHA N°389	1985	616480	4067900			Tizi Ouzou	Freha	Freha	DRE	agriculteurs
MECHTRAS (/)	1987					Tizi Ouzou	Boghni	Mechtras		
IRDJEN N°480	1985	601332	4060244			Tizi Ouzou	Larbaa Nath Irathen	IRDJEN	DRE	agriculteurs
MAKOUDA N°424	1986	594651	4069218			Tizi Ouzou	Makouda	Makouda	DRE	agriculteurs
MAKOUDA N°425	1986	594612	4069718			Tizi Ouzou	Makouda	Makouda	DRE	agriculteurs
MAKOUDA N°427	1987	595509	4069934			Tizi Ouzou	Makouda	Makouda	DRE	agriculteurs
MAKOUDA N°429		596542	4070705			Tizi Ouzou	Makouda	Makouda	DRE	agriculteurs
DRAA EL MIZAN N°260	1986	576618	4046686			Tizi Ouzou	Draa El Mizan	Draa El Mizan	DRE	agriculteurs
DRAA EL MIZAN N°265	1987	571124	4047241			Tizi Ouzou	Draa El Mizan	Draa El Mizan	DRE	agriculteurs
BOUFHIMA N°252	1985	572614	4046538			Tizi Ouzou	Draa El Mizan	Boufhima	DRE	agriculteurs
Tizi Ghennif N°263	1986	567197	4049906			Tizi Ouzou	Tizi Ghennif	Tizi Ghennif	DRE	agriculteurs
Tizi Ghennif N°264	1987	567377	4050172			Tizi Ouzou	Tizi Ghennif	Tizi Ghennif	DRE	agriculteurs
Tizi Ghennif (/)	1986					Tizi Ouzou	Tizi Ghennif	Tizi Ghennif		
AIT CHAFAA N°15	1994	638246	4082304			Tizi Ouzou	Azffoune	Ait Chafaa	DRE	agriculteurs
BENI AISSI N°407	1987	597461	4060973			Tizi Ouzou	Ait Douala	Beni Aissi	DRE	agriculteurs
BENI AISSI (/)	1991					Tizi Ouzou	Ait Douala	Beni Aissi		agriculteurs

Remarque : Ce fichier permet à l'ingénieur d'accéder aux données des retenues non expertisée, vu que les deux boutons précédents génèrent des Excel des retenues expertisée seulement.

Pour réaliser un semi de point, nous procédons comme suit :

- Avant d'ouvrir le fichier « Excel généré » dans Mapinfo©, il est conseiller de supprimer la première ligne contenant les titres afin d'éviter tout conflit entre les deux logiciels.
- Ouvrir Mapinfo© >> Fichier >> Ouvrir Table >> choisir *Microsoft Excel* dans la fenêtre *type de fichier* >> ouvrir « fichier Excel généré ».

- La fenêtre *Excel informations* apparait en cliquant sur *OK*, la table liée au fichier Excel est créé (tableau 3.18). Dans le cadre de ce tutoriel il s'agit de la table « retenues expertisées en 2018 »

Tableau.3.18 : Extrait de la table Mapinfo© « retenues expertisées en 2018 »

retenues_expertisées_en_2018 Données

	A	B	C	D	E	F	G
☐	2 150 402	FREHA N°395	609 934	4 068 713	185	2 018	94
☐	2 150 404	FREHA N°397	614 821	4 069 847	138	2 018	101
☐	2 150 801	TIMIZART N°363	611 635	4 068 046	139	2 018	100
☐	2 150 802	TIMIZART N°366	612 920	4 070 020	196	2 018	85,5
☐	2 150 803	TIMIZART N°388	611 943	4 068 854	173	2 018	87,5
☐	2 150 805	TIMIZART DSA	612 483	4 068 006	163	2 018	63,5
☐	2 152 402	OUAGUENOUN N°360	609 275	4 070 941	160	2 018	94
☐	2 153 902	A.AISSA MIMOUN DSA	599 020	4 070 634	0	2 018	0
☐	2 155 003	Mekla N°394	613 543	4 064 374	176	2 018	111
☐	2 155 004	Mekla N°393	613 560	4 064 337	144	2 018	88

- Aller dans Table >> Créer Points >> la fenêtre *Créer des Points* apparait >> On choisit les colonnes lié aux coordonnées X et Y (figure 3.8), dans notre cas, les coordonnées X sont associé à la colonne « C », et les coordonnées Y sont dans la colonne « D ».

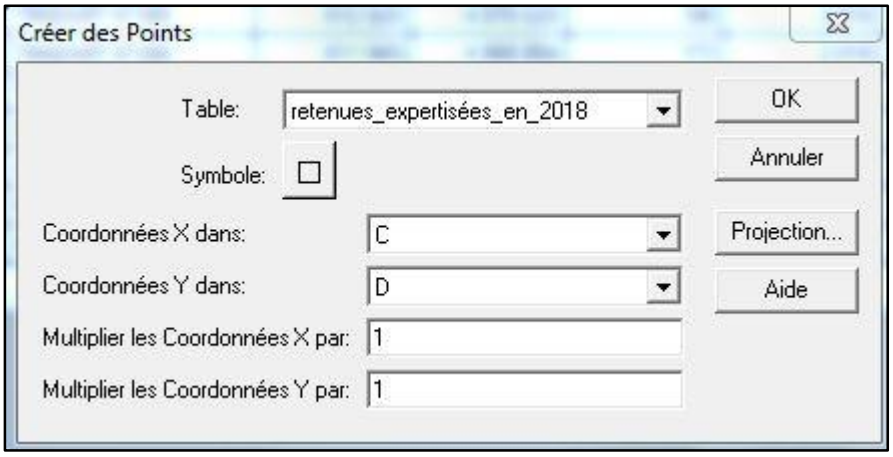


Figure 3.8. Extrait de la fenêtre « crées des points »

- On détermine le système de projection en cliquant sur le bouton Projection >> La fenêtre. ***Extrait de la fenêtre*** apparait >> On choisit, Catégorie : UTM (WGS 84) et Projections : UTM Zone 31, Northern Hemisphére (WGS 84) >> OK >> OK >> On ferme toutes les fenêtres (figure 3.9).

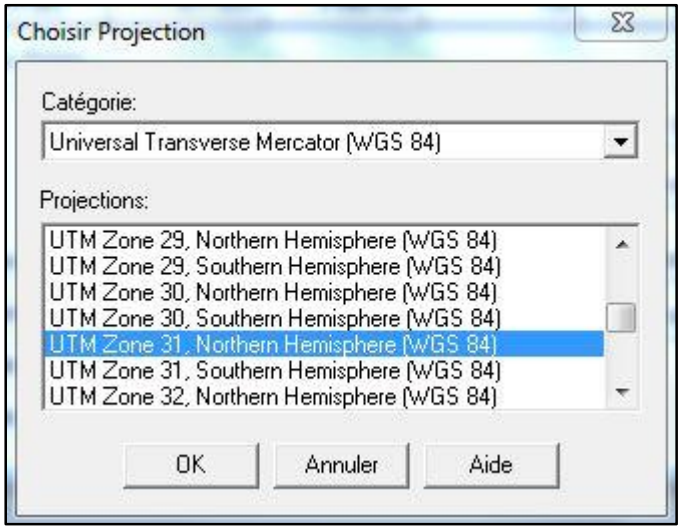


Figure 3.9. . Extrait de la fenêtre « Extrait de la fenêtre »

Maintenant que les points de la table « retenues expertisées en 2018 » sont géo-référence, on va les faire apparaitre sur notre carte d'étude callée précédemment.

- On va dans Fichier >> Ouvrir Table >> Carte d'étude >> Ouvrir >> La fenêtre *carte d'étude* apparait >> Carte >> Contrôle des Couches >> La fenêtre *Contrôle des Couches* apparait, on sélectionne la **Carte d'étude** >> Affichage >> On *décoche Afficher le Seuil de Zoom*, afin que notre carte soit visible quel que soit le degré de zoom qu'on utilise (figure 3.10).

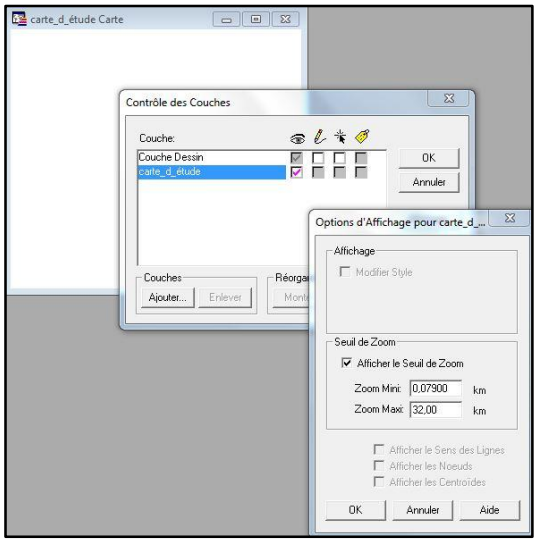


Figure 3.10. Etapes pour l'affichage de la Catre d'étude

- En suite on va dans Fichier >> Ouvrir Table >> on séléctionne la table « retenue expertisées en 2018 » >> on choisit *Fenétre Carte Courante* dans la fenétre *Type de visualisation* >> Ouvrir >> *Le semi de points* apparait comme on peut le voir sur la figure 3.11

- Pour modifier la forme et les couleurs du semi de points ou éventuélment rajouter des étiquéttes, on va dans Carte >> Contrôle des Couches >> On séléctionne la couche lié au semi de points, puis on éfféctues les changements souhaité.
- Pour finir on enregistre sous forme d'un espace de travaille afin de ne pas refaire toutes ces étapes pour le méme semi de points, en cliquant sur Fichier >> Enregistrer Document sous

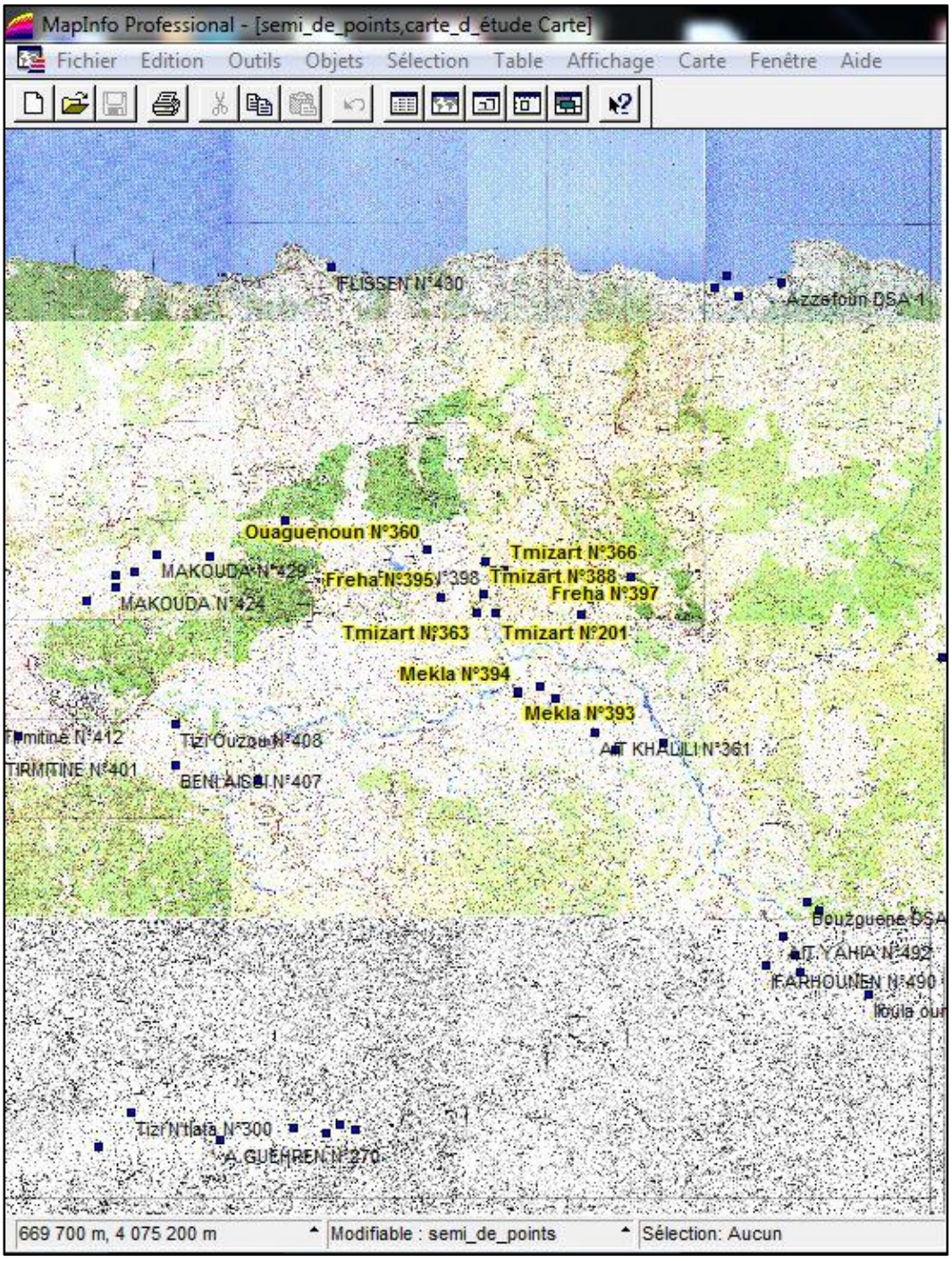


Figure 3.11. Répartition spatial du parc de RC « semi de points »

3.5.3. Analyse thématique

L'analyse thématique est une étape cruciale lors de l'élaboration d'un SIG. Elle permet d'afficher une représentation graphique des données sur la carte comme (Annexe 2), ainsi on peut observer une représentation qualitative ou quantitative des données géo-référencées. En ce qui concerne le parc de RC étudiée, l'analyse a été réalisée sur neuf (9) RC, entourées d'un halo jaune (figure 3.11) pour quatre périodes différentes. La première est une simulation à la mise en service (figure 3.12), la deuxième est en 2012 (figure 3.13), date qui correspond à l'expertise faites par Saradouni dans le cadre de son mémoire de magister. La troisième correspond à la réhabilitation figure 3.14, les données relatives à cette période ont été fourni par la DRE. La quatrième correspond à l'expertise que nous avons effectuée en 2018(figure 3.15).

La variable analysée est l'indice de vulnérabilité, obtenus à partir du fichier Excel comme expliqué précédemment, les quatre classe ainsi que les couleurs utilisées pour cette analyse se réfèrent directement au tableau 3.19 vu en chapitre 2.

Tableau 3.19 : Classification d'une retenue en fonction de son « Iv ».

Niveau de vulnérabilité	Vert	Orange 1	Orange 2	Rouge
Indice de vulnérabilité I_V	17 - 68	68 - 119	119 - 189	189- 288

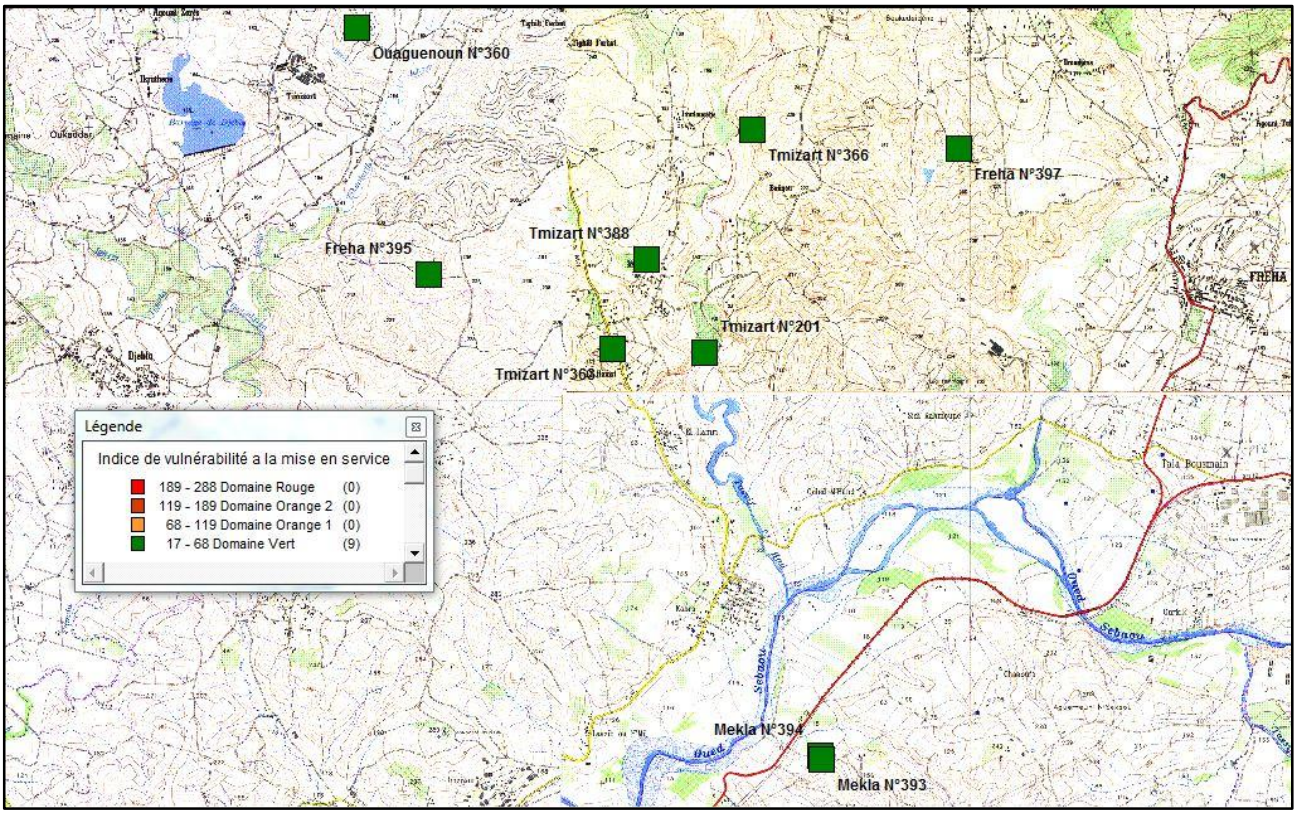


Figure 3.12. Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité à la mise en service

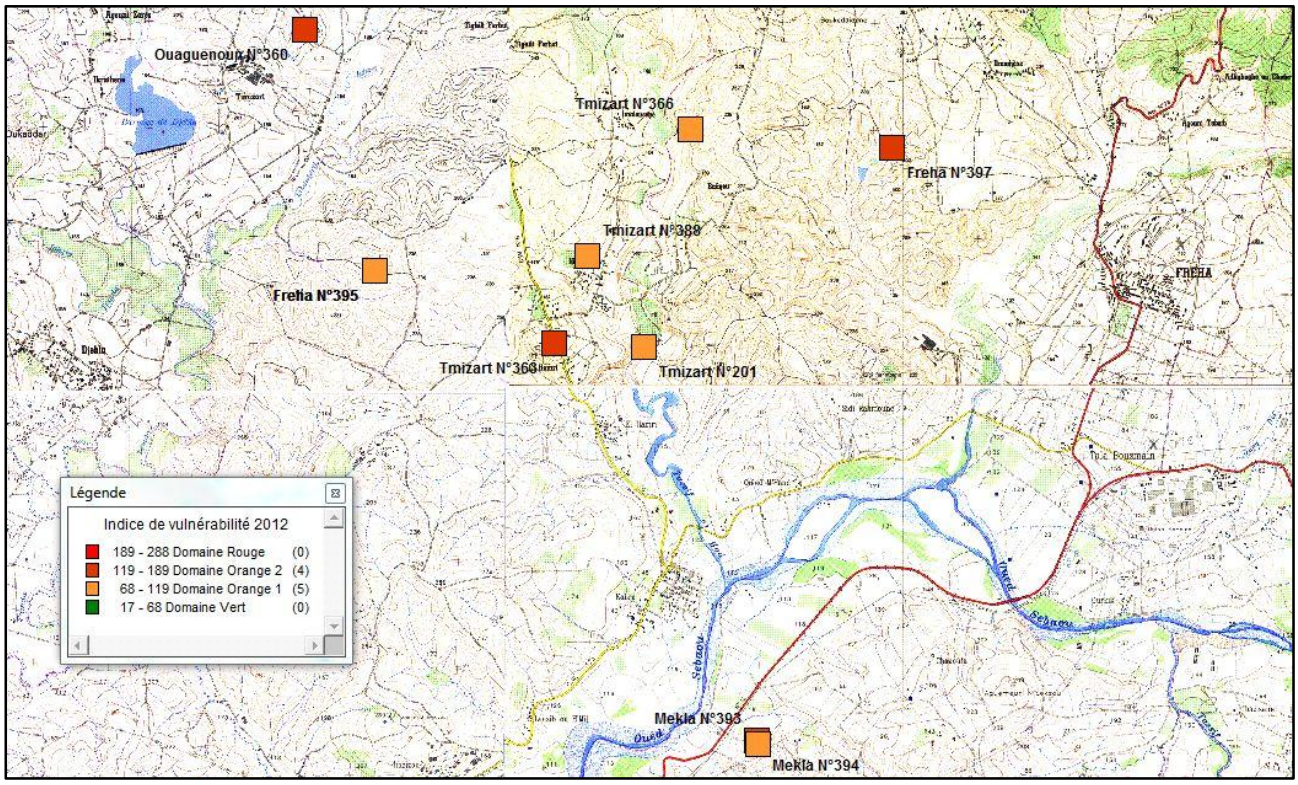


Figure 3.13. Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité en 2012

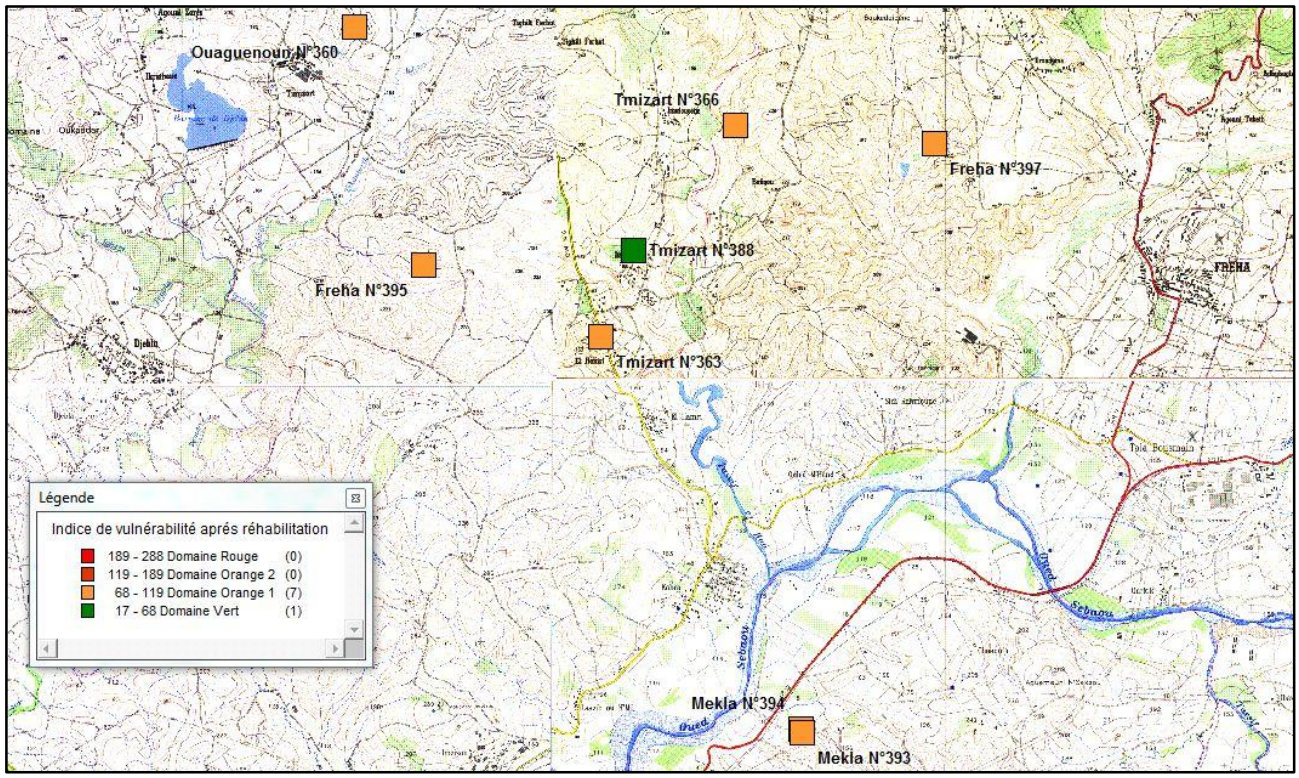


Figure 3.14. Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité après réhabilitation (2013)

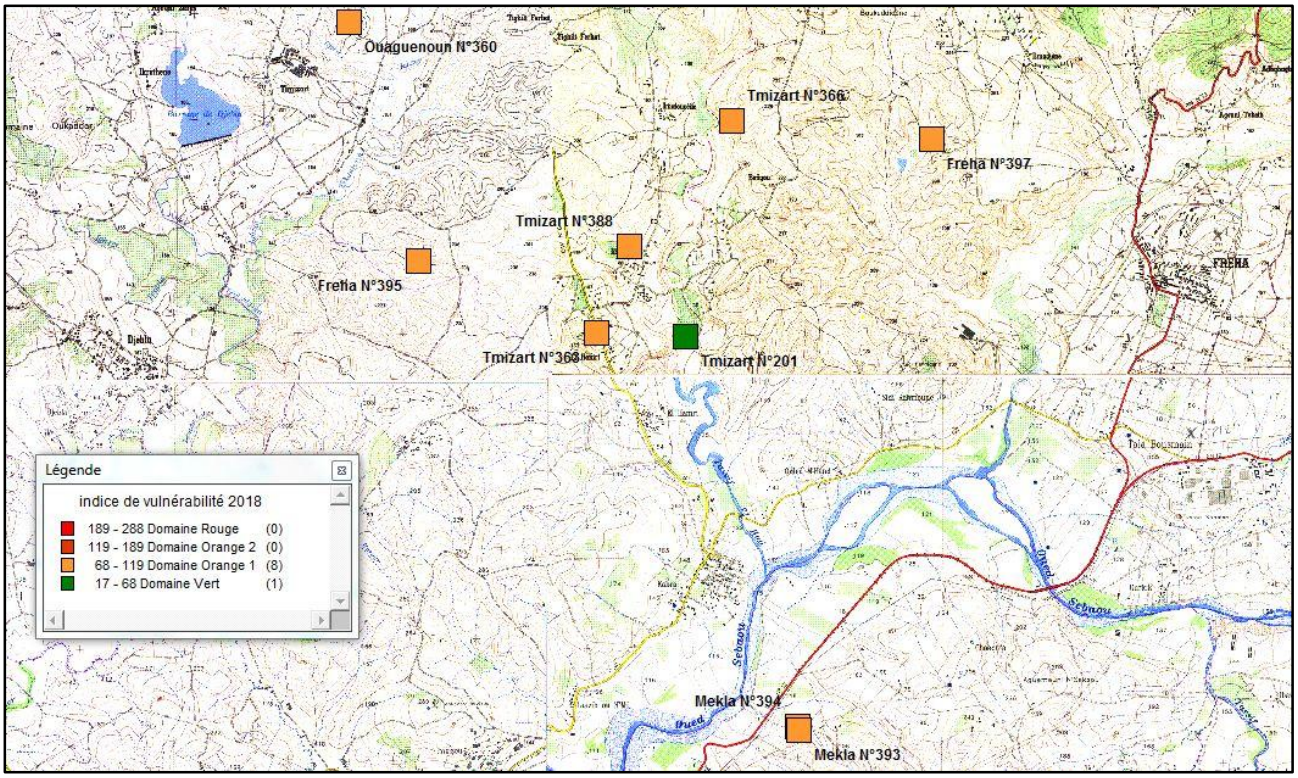


Figure 3.15. ***Analyse thématique pour l'indice de vulnérabilité au jour de l'expertise (2018)***

3.5.4. Interprétation des résultats

Les résultats de l'analyse thématique à la mise en service montrent que les neuf (9) retenues expertisées sont classées dans le domaine vert (figure 3.12) et (tableau 3.20). Autrement dit, l'indice de vulnérabilité est compris entre ($17 \leq Iv \leq 68$), donc les retenues sont non vulnérable mais reste tout de même affectées par leur environnent avec un indice de vulnérabilité proche de 68 telles que (Freha N°395, Freha N°397, Ouaguenoun N°360, Mekla N°394).

En 2012, nous constatons que cinq (5) retenues sont passées du domaine vert au domaine orange 1 (Freha N°395, Tmizart N°363, Tmizart N°388, Tmizart N°201, Mekla N°393), et quatre (4) au domaine orange 2 (Freha N°397, Tmizart N°366, Ouaguenoun N°360, Mekla N°394) (figure 3.13) et (tableau 3.20). Cette augmentation significative de l'indice de vulnérabilité résulte des dommages cumulatifs provoqués par les aléas naturelles (neige, vent, séisme, crue, détérioration des composant structurelle et fonctionnelle des RC), et a une absence totale d'entretien.

En 2013-2014 une compagne de réhabilitation a été menée par la DRE qui a ciblé les neuf (09) retenues en question et qui a consisté à :

- Remblayer les ornières sur la crête avec du sable soigneusement compacté.

- Annihilé la végétation encombrante, en procédant à une coupe systématique des brins et accompagner de produit chimique dévitalisant pour tuer les racines.
- Enherber, et mettre en place de nouveaux enrochements, sur la pente amont afin de palier le déplacement et parfois la disparation de ces derniers.
- Réparer les ravines sur le parement aval, en les remblayant avec du tout-venant par couche horizontal afin de faciliter son compactage.
- Remplacer les évacuateurs de crues effondrée ou en ruines, parfois en changeant leur emplacement (au centre de la digue), afin de ne pas fragiliser les berges.

Suite à cela, les 4 retenues classées en orange 2 (Freha N°397, Tmizart N°366, Ouaguenoun N°360, Mekla N°394), sont passées en orange 1. Quant aux 5 retenues classées en orange 1 (Freha N°395, Tmizart N°363, Tmizart N°201, Mekla N°393) avant réhabilitation, 4 d'entre elles sont restées dans le domaine orange 1, avec une diminution de leur indice de vulnérabilité. Toutefois, la retenue (Tmizart N°388) se voit reclassée dans le domaine vert. (Figure 3.14) et (tableau 3.20).

Au jour de l'expertise (2018), nous remarquons que huit (08) des retenues collinaires sont restées toujours dans le domaine orange 1. Ce qui est révélateur de la qualité de la réhabilitation entreprise en (2013-2014). Quant à la retenue (Tmizart N°201), celle-ci est passée dans le domaine vert suite à une réhabilitation (figure 3.15) et (tableau 3.20).

Un récapitulatif de l'état de ces retenues est présenté dans le tableau 3.20.

Tableau 3.20 : Tableau récapitulatif de l'indice de vulnérabilité des retenues expertisé

RC		Période d'expertise			
		Mise en service	2012	Réhabilitation	2018
Freha N°395	Iv	58	110	81	94
Freha N°397		68	123	92	101
Tmizart N°363		61	132	86	94
Tmizart N°366		50,5	91,5	80,5	85,5
Tmizart N°388		53,5	96,5	66,5	87,5
Tmizart N°201		44,5	84,5	/	63,5
Ouaguenoun N°360		62	137	83	94
Mekla N°394		62	148	80	111
Mekla N°393		51	101	80	88

Les retenues expertisées passent d'un domaine à un autre en fonction de l'intérêt qui leur est accordée. Nous avons observé, que sans un entretient minimal, la résistance de ces retenues aux aléas naturelles est mise à rude épreuve. Ces aléas provoquent des dégradations structurelles et fonctionnelles des retenues. Une fois réhabilitées elles retrouvent un meilleur comportement aux aléas mais sans revenir à leurs états de vulnérabilité initial. Il est important de souligner que plus la négligence de la retenue est longue, plus le cout de réhabilitation est important. La maintenance doit être assurée par les exploitants pour réduire le cout de réhabilitation. Les dégradations que nous avons enregistrées lors de nos missions de terrain sont pour la plupart d'ordre structurel (présence de fuites et de végétation sur le corps de la digue, détérioration des évacuateurs de crues…) et fonctionnelle (obturation des vannes de vidanges, envasement des retenues).

Conclusion

L'application **SIE Retenue** développée dans ce chapitre a été expérimentée avec succès à l'échelle réelle sur le parc de la wilaya de Tizi-Ouzou, géré par la DRE. Grâce aux nombreuses interfaces qu'elle implémente, elle constitue une meilleure solution pour la gestion spatiale et l'exploitation d'un parc de retenue collinaire. Cette application **SIE Retenue** a été conçue dans un esprit évolutif pour que l'on puisse intégrer d'autres applications et pouvoir l'inscrire dans un réseau regroupant l'ensemble des retenues au niveau national. Au cours de cette étude, nous nous sommes servis de plusieurs outils informatiques pour développer cette application qui répond aux besoins des utilisateurs de projets hydrauliques. En particulier, nous avons exploité les logiciels Access©, Mapinfo©, Excel© et Google Earth Pro©. Par ailleurs, le SIG accompagnant la méthode pourrait être utilisé pour prédire la politique de gestion de la retenue durant son exploitation et la fréquence de surveillance de l'ouvrage. Autrement dit, il nous renseigne sur l'attention à accorder à la retenue.

Conclusion Générale

Pour prédire le niveau de dommage ou de dégradation pouvant survenir à grande échelle dans une retenue collinaire, le concept de vulnérabilité à certains aléas naturels (neige, vent, séisme …) est utilisé dans cette étude, qui est basé sur une méthode de diagnostic et d'expertise. En effet, un indice de vulnérabilité est déterminé, en tenant compte de tous les paramètres influents : environnementaux, structuraux et fonctionnels. Aussi, une échelle de classification des retenues en trois niveaux de comportement (bon, moyen et mauvais), auxquels sont associées les différentes couleurs, est proposée. Cette méthodologie à base d'indice permet une évaluation simplifiée et rapide de la vulnérabilité des retenues collinaires. Toutefois, un gestionnaire d'un parc de retenue peut avoir en charge l'exploitation de plusieurs centaines de retenues à l'échelle d'une wilaya ou de plusieurs milliers à l'échelle nationale. A ce niveau de gestion, les taches de diagnostic et d'expertise sont extrêmement délicates, tant le volume d'informations à gérer est important. Sans compter qu'il devient de plus en plus nécessaire au gestionnaire d'avoir à sa disposition une information précise sur l'état de vulnérabilité de chaque retenue. Il est donc nécessaire que les méthodes de diagnostic soient fédérées via un système d'aide à la décision qui centralise l'ensemble des données. Pour répondre à cette problématique nous avons développé une application **SIE Retenue**. La base de données de cette application est alimentée à partir des fiches d'enquêtes que nous avons renseignées lors de nos missions de terrain. Ainsi, chacune de ces fiches a été saisie dans un formulaire de l'application, lesquelles sont reliées via l'interface. Les indices de vulnérabilités de toutes les retenues du parc, vis-à-vis des aléas naturels sont calculés, et un fichier Excel contenant ces indices de vulnérabilité et les données géo-référencées est généré via l'application. Ce fichier est ouvert à partir de Mapinfo© pour semer toutes les RC sur un fond de carte d'état-major, comme des objets ponctuels. Enfin, une analyse thématique est effectuée

L'application **SIE Retenue** développée dans ce mémoire a été expérimentée avec succès à l'échelle réelle sur le parc de la wilaya de Tizi-Ouzou, géré par la DRE. Grâce aux nombreuses interfaces qu'elle implémente, elle constitue une meilleure solution pour la gestion spatiale et l'exploitation d'un parc de retenue collinaire. Cette application **SIE Retenues** a été conçue dans un esprit évolutif pour que l'on puisse intégrer d'autres applications et pouvoir l'inscrire dans un réseau regroupant l'ensemble des retenues au niveau national. Le SIG accompagnant la méthode, pourrait être utilisé pour prédire la politique de gestion de la retenue durant son exploitation et la fréquence de surveillance de l'ouvrage. Autrement dit, il nous renseigne sur l'attention à accorder à la retenue.

Enfin, l'application **SIE Retenue** qui est inspirée de l'application **SIE Réservoir** développée par (Hammoum et all, 2016) peut être aussi étendue au domaine du bâtiment, sources d'eau, voies et ouvrages d'art et bien d'autres domaines d'étude, dans la perspective de construire un SIE pour la wilaya de Tizi-Oouzou, qui peut être une première étape pour établir un SIE pour l'Algérie.

Références bibliographiques

Benlaoukli A., Touaibia B., " L'expérience algérienne dans le domaine des études de retenues collinaires ", revue des sciences de l'eau, 2004, pp 153 -162.

Boufaroua M., Slimani M., ALOUINI A., Selmi S., "Lacs collinaires et conflits de gestion des ressources en eau", 2000, Disponible sur :
« http://afeid.montpellier.cemagref.fr/old/Mpl2003/Conf/Boufaroua.pdf », (consulté le 11 mai 2018).

Karima BOUZELHA, Hocine HAMMOUM, Fatiha SARADOUNI, Ahmed BENAMAR. Assessment of the vulnerability index of small dams to natural hazards. Case study. In A. S.

H. Makhlouf, M. Aliofkhazraei (Eds.), Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Construction industries, éd. Elsevier, pp. 329-350, ISBN: 978-0-08-101928-3, (2018) https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101928-3.00015-X

Claude J., Chartier R, "Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie", campagne de 1975, Cahier de l'ORSTOM 14 (1), 1977, pp 3-35.

Delgado-Hernández DJ., Morales-Nápoles O, De-Léon-Escobedo D., Arteaga-Arcos J C, "A continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification" Structure and Infrastructures Eng, 10 (2) (2014) 225-238.

DRE T.O : Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Tizi-Ouzou.

DTR B-C 2-48, "Règles parasismiques algériennes (addenda 2003) ", CGS, Alger, juin 2003.

DTR C 2-4.7, "Règlement neige et vent 1999, Ministère de l'habitat", Alger, juillet 1999.

Habi M., Morsli B., "Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord-Ouest algérien", Sècheresse, vol 22, 2011, pp 49-56.

Hammoum H, "Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des réservoirs en béton armée. Développement de méthodes d'aide à l'expertise", These 2012

Hammoum H, Bouzelha K., Hannachi N.E., Serre D., "Vulnerability assessment of the concrete tanks storage at natural hazards", Concrete solutions, Ed. Taylor and Francis Group CRC Press, London, United Kingdom, 2012, pp 45-53.

Hammoum. H, Bouzelha. K, Mouloud Touat & Anne Pantet (2016): An EIS for the analysis of vulnerability of water storage tanks to natural hazards, Journal of Decision Systems, Vol. 25, Issue 4, 357-370. DOI : 10.1080/12460125.2016.1171642. https://www.tandfonline.com/loi/tjds20

Kouti B., Taabni M., Tihay J.P., " Aspect de l'inventaire, l'aménagement et la gestion des ouvrages ", 1991.

Malézieux, E., Tréboui G. L., Jaeger M., " Modéliser les agro écosystèmes ", In: Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision, Montpellier: CIRAD-INRA, 2001, pp 17-33.

Marche C., Robert B, "Dam failure risk: its definition and impact on safety assessment of dam structures", J. Decis. Syst. 11 (3-4) (2002) 513-534.

Mathieu G., "Méthodologie d'évaluation des ouvrages hydrauliques en béton appliquée à un patrimoine", Annales du BTP 5-6, 2003, pp 39-61.

Peyras L., Royet P., Boissier D., Vergne A., "Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages : développement de méthodes d'aide à l'expertise", ingénieries, N°38, juin 2004, pp 3-12.

Pimenta L., Caldeira L., Maranha das Neves E., "A new qualitative method for the condition assessement of earth and rockfill dams", Structure and Infrastructures Eng, 9 (11) (2012) 1-15.

PNUD/OPE, "Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord : Guide maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires", Projet RAB/80/011, 1987, OPU, Alger, 177p.

Royet p, "La surveillance et l'entretien des petits barrages", Cemagref, Paris, 2006.

Salem A., " les retenues collinaires - résultats d'une expérience ", Algérie équipement.

Seltzer P, "Le Climat de l'Algérie, Université d'Alger", Alger, Algérie, 1946.

Toualbia, B., "Les retenues", Polycope de cours de régularisation des débits, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, Alger : Blida, 1995.

Toualbia, B., "Érosion – Transport solide- envasement de barrage", Thèse de doctorat d'état en aménagement et mise en valeur, Institut national agronomique d'Alger, 1995.

Zacek M, "Guide d'évaluation de la présomption de vulnérabilité aux séismes des bâtiments existants", collection conception parasismique, mai 2004.

Annexes

Fiche d'enquête N°				***Annexe 1***
Ingénieur chargé de l'expertise :				
Date d'expertise :				
Information sur la retenue				
Nom attribué :				
Propriétaire de la retenue :				
Gestionnaire :				
Date de mise en service :				
Typologie de la retenue :				

Nature du remblai	Argile	Limons	Marnes	Autre

Etanchéification de la zone de stockage de la retenue	Oui	Non

LOCALISATION DE LA RETENUE			
Wilaya :			
Daïra :			
Commune :			
Adresse (Nom du site) :			
Coordonnées UTM (Universal Transversal Mercator)	X	Y	Z
Code de la retenue			Note :
Numéro de la Wilaya			
Numéro de la Daïra			
Numéro de la commune			
Numéro de la retenue			
Caractéristiques de la retenue			
Hauteur de la retenue			
Capacité de la retenue			
Volume réel exploité			
Longueur de la digue			
Ouvrage de vidange			
Diamètre de la conduite de vidange :			
Longueur de la conduite :			
Débit :			
Nombre de vannes :			
Diamètre de vanne :			
Temps de vidange :			

Photo et autres illustration de la retenue

Evaluation environnemental

IMPLANTATION DE LA RETENUE		Différents climats existants (Pi)			
		Climat désertique des grandes étendues sahariennes 1	Climat semi-aride 2	Climat sec (hiver-été) avec de fort écart de température 3	Climat humide avec des embruns en bord de mer 4
Lieu d'implantation de la retenue (Nei)	Montagne 1				
	Vallées et pleines 2				
	Haut plateau et nord de l'atlas saharien 3				
	Région côtière 4				

ZONE SISMIQUE		Site d'implantation (Pi)			
		Rase campagne 1	Zone rural 2	Zone industrielle 3	Zone urbaine 4
Zone sismique (Nei)	Zone 0 1				
	Zone I 1				
	Zone IIa 2				
	Zone IIb 3				
	Zone III 4				

Type de sol		Effet de site (Pi)			
		Présence de nappe 1	Présence de tassements 2	Présence de fissures en surface 3	Glissement de terrain 4
Type de sol (Nei)	Catégorie S1 (rocheux) 1				
	Catégorie S2 (ferme) 2				
	Catégorie S3 (meuble) 3				
	Catégorie S4 (très meuble) 4				

Zone de neige		Zone de neige				
		Zone A 4	Zone B 3	Zone C 2	Zone D 1	Les pondérations Pi sont prises égales à 1.
	(Nei)					

Zone de vent		Zone de vent			
		Pas d'action 1	Zone I 2	Zone II 3	Zone III 4
Zone de vent	(Nei)				

Pi= Ph+Pc+Pt+Ps	Hauteur de la digue (Ph)			Catégorie du terrain (Pc)			Facteur topographique (Pt)			Forme de surface du plan d'eau (Ps)		
	H < 5m	0.25		Catégorie I	0.25		Site I	0.25		En arc	0.25	
	5<H<10 m	0.50		Catégorie II	0.50		Site II	0.50		Rectangulaire	0.50	
	10<H<15 m	0.75		Catégorie III	0.75		Site III	0.75		circulaire	0.75	
	H>15m	1.00		Catégorie IV	1.00		Site IV	1.00		carrée	1.00	

Evaluation structurelle

Etanchéité du corps de la digue		Etat d'étanchéité (Pi)			
		Talus aval sec 1	Présence de suintement 2	Fuites légères 3	Fuites importantes 4
Type d'étanchéité (Nei)	Digue homogène en argile compacté 1				
	Noyau central argileux compacté 2				
	Paroi moulé 3				
	Masque étanche amont 4				

Talus amont de la retenue		Degré de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de végétation 2	Présence de : Fissures/Terriers/Batillage 3	Présence de : Glissement 4
Type de protection (Nei)	Enrochement 1				
	Béton armé 2				
	Béton bitumineux 3				
	Talus non protégée 4				

Talus aval de la retenue		Degré de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de végétation 2	Présence de : Fissures/Terriers/Batillage 3	Présence de : Glissement 4
Type de protection (Nei)	Enrochement 1				
	Béton armé 2				
	Béton bitumineux 3				
	Talus non protégée 4				

Revêtement de la crête		Etat de la crête (Pi)			
		Présence de végétation 1	Présence d'ornières due au passage des véhicules 2	Présence de fissure 3	Affaissement de la crête 4
Type de revêtement (Nei)	Béton armée 1				
	Bitume 2				
	Tout-venant bien compacté 3				
	Sans protection 4				

Déversoir		Etat du déversoir (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de tassements 2	Présence de fissures 3	Présence d'obstacles 4
Type de déversoir (Nei)	Latéral sur rive avec seuil en gabion 1				
	Latéral sur rive avec seuil en béton 2				
	Tulipe 3				
	Central placée sur le remblai 4				

Coursier		Etat de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de végétation ou obturation partielle 2	Altération béton/érosion 3	Ruine et effondrement 4
Type de matériaux (Nei)	Béton armé 1				
	Maçonnerie 2				
	Gabion 3				
	Béton banché 4				

Mur bajoyers		Etat de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de déformation 2	Fissures ou rupture de joints 3	Perte de stabilité 4
Type de murs bajoyers (Nei)	Béton armé 1				
	Maçonnerie 2				
	Gabion 3				
	Béton banché 4				

Bassin de dissipation d'énergie		Etat de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Déformation de la structure 2	Déplacement des enrochements 3	Affouillement et érosion 4
Type de matériaux (Nei)	Béton armé/Béton 1				
	Enrochement 2				
	Gabion 3				
	Maçonnerie 4				

Evaluation fonctionnelle

Ouvrage de prise de vidange (drain)		Etat de dégradation de la vanne (conduite de vidange) Pi			
		Bon état de fonctionnement 1	Conduite exposée a l'air libre (corrodé, rouillée) 2	Fuites (mauvaise état) 3	Non fonctionnelle, détérioré et/ou obturé 4
Type de conduite (Nei)	Conduite en PEHD 1				
	Conduite galvanisé 2				
	Conduite en fente 3				
	Conduite en acier noir 4				

Destination de la retenue		Accessibilité de la retenue (Pi)			
		Accessible par route revêtue 1	Accessible par route carrossable 2	Accessible par sentier piéton 3	Retenu inaccessible 4
Destination de la retenue ((Nei)	Eau pour l'irrigation 1				
	Retenue pour lutter contre les inondations 2				
	Eau pour l'alimentation 3				
	Eau pour l'industrie 4				
Fréquence d'entretient		**Risque en aval (Pi)**			
		Aucun risque 1	Routes 2	Habitations 3	Équipements publics 4
Fréquence d'entretien (Nei)	Trimestrielle 1				
	Semestrielle 2				
	Annuelle 3				
	Absence d'entretient 4				
Etat d'envasement de la cuve		**Age de la retenue (Pi)**			
		< a 10 ans 1	Entre 10 et 20 ans 2	Entre 20 et 30 ans 3	> a 30 ans 4
Typologie d'entrée d'eau (Nei)	Canalisation 1				
	Talweg (fente de neige)2				
	Talweg (ruissèlement) 3				
	Source 4				

Commentaires et autres remarques

Avis : une intervention s'avèrent-t-elle nécessaire ?	OUI	NON

Fiche d'enquête N° 05	***Annexe 1***
Ingénieur chargé de l'expertise : GUEDDON Hacéne et MOSTEFAI Imane	
Date d'expertise : 1986/2012/2013/2018	
Information sur la retenue	
Nom attribué : TIMIZART N°363	
Propriétaire de la retenue/ Gestionnaire : DRE.TO	
Exploitant : AGRICULTEUR	
Date de mise en service : 1996	
Typologie de la retenue :	

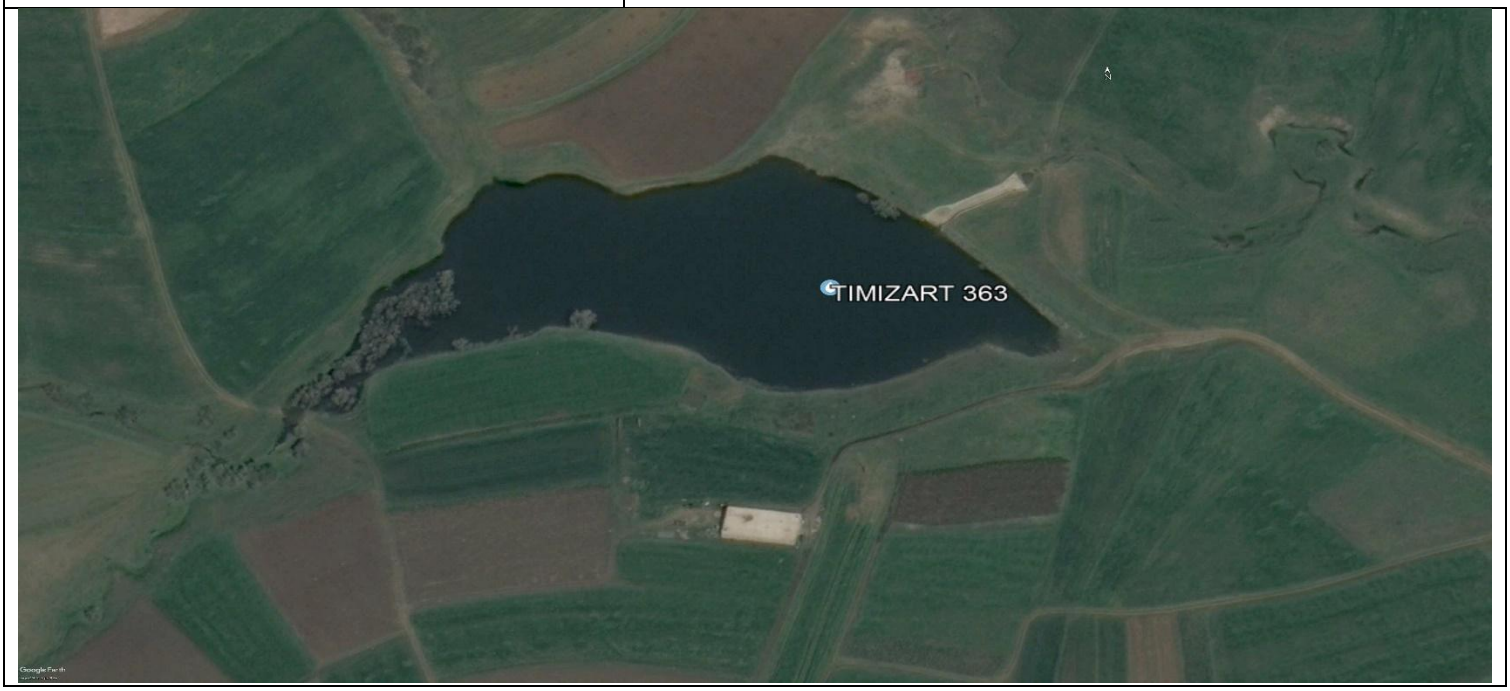
Nature du remblai	Argile	Limons	Marnes	Autre
	x			

Etanchéifiassions de la zone de stockage de la retenue	Oui	Non

LOCALISATION DE LA RETENUE				
Wilaya : TIZI OUZOU				
Daïra : OUGNOUN				
Commune : TIMIZART				
Adresse (Nom du site) : EL HAMRI				
Coordonnées UTM (Universal Transversal Mercator)	X		Y	Z
Code de la retenue	0 2 1 5 0 8 0 1		Note :	
Numéro de la Wilaya	1500		Expertise à la mise en service (1986) : **X**	
Numéro de la Daïra			Expertise en (2012) : **X**	
Numéro de la commune	363		Expertise à la réhabilitation (2013) : **X**	
Numéro de la retenue	05		Expertise en (2018) : **X**	
Caractéristiques de la retenue				
Hauteur de la retenue	9m			
Capacité de la retenue	70 000 m3			
Volume réel exploité				
Longueur de la digue				

Ouvrage de vidange
Diamètre de la conduite de vidange : 300 mm
Longueur de la conduite :
Débit :
Nombre de vannes : 01
Diamètre de vanne :
Temps de vidange :

Photo et autres illustration de la retenue



Evaluation environnemental

IMPLANTATION DE LA RETENUE		Différents climats existants (Pi)			
		Climat désertique des grandes étendues sahariennes 1	Climat semi-aride 2	Climat sec (hiver-été) avec de fort écart de température 3	Climat humide avec des embruns en bord de mer 4
Lieu d'implantation de la retenue (Nei)	Montagne 1				
	Vallées et pleines 2			X	
	Haut plateau et nord de l'atlas saharien 3				
	Région côtière 4				

ZONE SISMIQUE		Site d'implantation (Pi)			
		Rase campagne 1	Zone rural 2	Zone industrielle 3	Zone urbaine 4
Zone sismique (Nei)	Zone 0 1				
	Zone I 1				
	Zone IIa 2		X		
	Zone IIb 3				
	Zone III 4				

Type de sol		Effet de site (Pi)			
		Présence de nappe 1	Présence de tassements 2	Présence de fissures en surface 3	Glissement de terrain 4
Type de sol (Nei)	Catégorie S1 (rocheux) 1				
	Catégorie S2 (ferme) 2				
	Catégorie S3 (meuble) 3				X
	Catégorie S4 (très meuble) 4				

Zone de neige		Zone de neige				
		Zone A 4	Zone B 3	Zone C 2	Zone D 1	Les pondérations Pi sont prises égales à 1.
	(Nei)	X				

Zone de vent		Zone de vent			
		Pas d'action 1	Zone I 2	Zone II 3	Zone III 4
Zone de vent	(Nei)		X		

Zone de vent	Pi= Ph+Pc+Pt+Ps												
	Hauteur de la digue (Ph)			Catégorie du terrain (Pc)			Facteur topographique (Pt)			Forme de surface du plan d'eau (Ps)			
	H < 5m	0.25		Catégorie I	0.25		Site I	0.25		En arc	0.25		
	5<H<10 m	0.50		Catégorie II	0.50	X	Site II	0.50	X	Rectangulaire	0.50		
	10<H<15 m	0.75	X	Catégorie III	0.75		Site III	0.75		circulaire	0.75	X	
	H>15m	1.00		Catégorie IV	1.00		Site IV	1.00		carrée	1.00		

Evaluation structurelle

Etanchéité du corps de la digue		Etat d'étanchéité (Pi)			
		Talus aval sec 1	Présence de suintement 2	Fuites légères 3	Fuites importantes 4
Type d'étanchéité (Nei)	Digue homogène en argile compacté 1	XXX		X	
	Noyau central argileux compacté 2				
	Paroi moulé 3				
	Masque étanche amont 4				

Talus amont de la retenue		Degré de dégradation (Pi)			
		Aucune dégradation 1	Présence de végétation 2	Présence de : Fissures/Terriers/Batillage 3	Présence de : Glissement 4
Type de protection (Nei)	Enrochement 1	XX	X		X
	Béton armé 2				
	Béton bitumineux 3				
	Talus non protégée 4				

Talus aval de la retenue			Degré de dégradation (Pi)			
			Aucune dégradation 1	Présence de végétation 2	Présence de : Fissures/Terriers/Batillage 3	Présence de : Glissement 4
Type de protection (Nei)	Enrochement	1	X		X	
	Béton armé	2				
	Béton bitumineux	3				
	Talus non protégée	4	X	X		

Revêtement de la crête			Etat de la crête (Pi)			
			Présence de végétation 1	Présence d'ornières due au passage des véhicules 2	Présence de fissure 3	Affaissement de la crête 4
Type de revêtement (Nei)	Béton armée	1				
	Bitume	2				
	Tout-venant bien compacté	3	XXX			X
	Sans protection	4				

Déversoir			Etat du déversoir (Pi)			
			Aucune dégradation 1	Présence de tassements 2	Présence de fissures 3	Présence d'obstacles 4
Type de déversoir (Nei)	Latéral sur rive avec seuil en gabion	1				
	Latéral sur rive avec seuil en béton	2	X			X
	Tulipe	3				
	Central placée sur le remblai	4	XX			

Coursier			Etat de dégradation (Pi)			
			Aucune dégradation 1	Présence de végétation ou obturation partielle 2	Altération béton/érosion 3	Ruine et effondrement 4
Type de matériaux (Nei)	Béton armé	1	XX			
	Maçonnerie	2				
	Gabion	3				
	Béton banché	4	X			X

Mur bajoyers			Etat de dégradation (Pi)			
			Aucune dégradation 1	Présence de déformation 2	Fissures ou rupture de joints 3	Perte de stabilité 4
Type de murs bajoyers (Nei)	Béton armé	1				
	Maçonnerie	2				
	Gabion	3				X
	Béton banché	4	XXX			

Bassin de dissipation d'énergie			Etat de dégradation (Pi)			
			Aucune dégradation 1	Déformation de la structure 2	Déplacement des enrochements 3	Affouillement et érosion 4
Type de matériaux (Nei)	Béton armé/Béton	1				
	Enrochement	2	XX			
	Gabion	3	X			X
	Maçonnerie	4				

Evaluation fonctionnelle

Ouvrage de prise de vidange (drain)			Etat de dégradation de la vanne (conduite de vidange) Pi			
			Bon état de fonctionnement 1	Conduite exposée a l'air libre (corrodé, rouillée) 2	Fuites (mauvaise état) 3	Non fonctionnelle, détérioré et/ou obturé 4
Type de conduite (Nei)	Conduite en PEHD	1				
	Conduite galvanisé	2				
	Conduite en fente	3				
	Conduite en acier noir	4	X			XXX

Destination de la retenue		Accessibilité de la retenue (Pi)			
		Accessible par route revêtue 1	Accessible par route carrossable 2	Accessible par sentier piéton 3	Retenu inaccessible 4
Destination de la retenue ((Nei)	Eau pour l'irrigation 1		XXXX		
	Retenue pour lutter contre les inondations 2				
	Eau pour l'alimentation 3				
	Eau pour l'industrie 4				
Fréquence d'entretient		**Risque en aval (Pi)**			
		Aucun risque 1	Routes 2	Habitations 3	Équipements publics 4
Fréquence d'entretien (Nei)	Trimestrielle 1		X		
	Semestrielle 2		X		
	Annuelle 3				
	Absence d'entretient 4		XX		
Etat d'envasement de la cuve		**Age de la retenue (Pi)**			
		< a 10 ans 1	Entre 10 et 20 ans 2	Entre 20 et 30 ans 3	> a 30 ans 4
Typologie d'entrée d'eau (Nei)	Canalisation 1				
	Talweg (fente de neige)2				
	Talweg (ruissèlement) 3	X		XX	X
	Source 4				

Commentaires et autres remarques

- L'accès a la retenue est délicat, passage par sentier battu obligatoire.
- On accède à la digue par le coursier.
- Drainage anarchique de la cuve.

Avis : une intervention s'avèrent-t-elle nécessaire ?	OUI	NON
		x

Etapes de l'étude thématique

Ouvrir l'espace de travail qu'on a créé à la fin de la réalisation du semi de points. Une fois ouverte l'analyse thématique est réalisée en suivant ces étapes :

- On va dans Carte >> Analyse thématique >> la fenêtre *Créer Carte Thématique – Etape 1/3* apparait (figure 2.1).

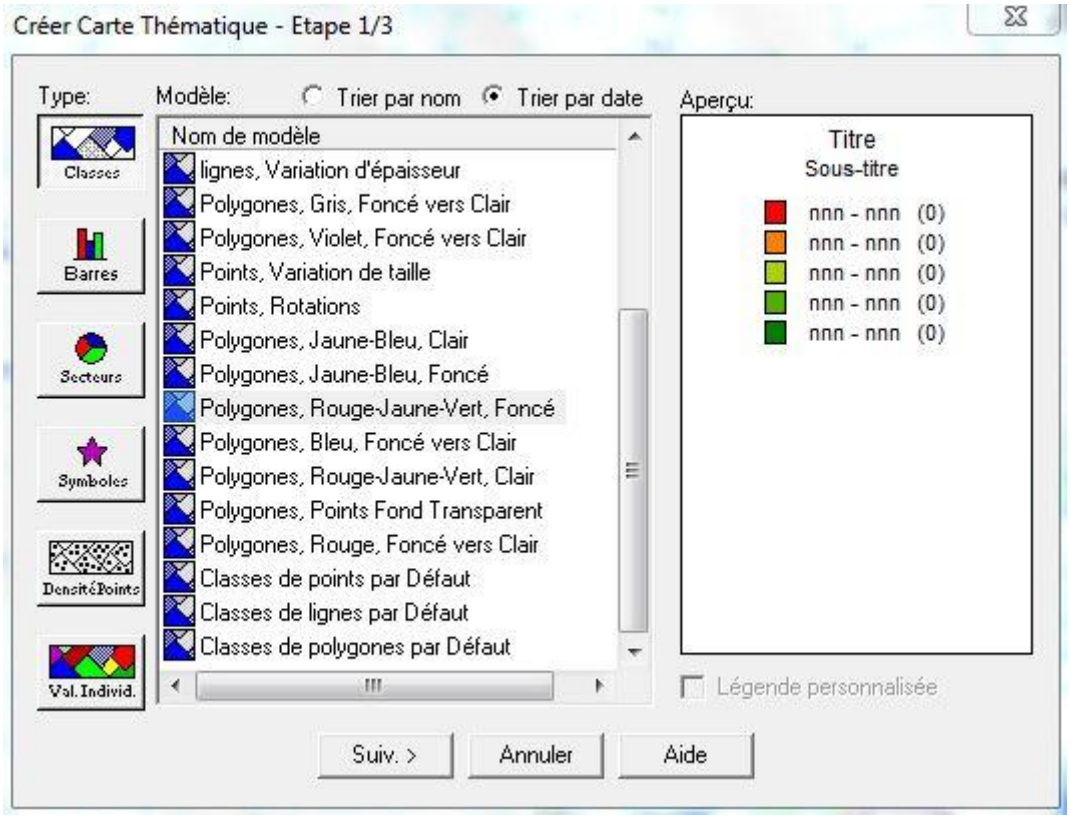


Figure 2.1 : Extrait de la fenêtre Créer Carte Thématique

- Pour l'Etape 1/3 on choisit le type d'analyse thématique : *Classes*. Ainsi que le nom du modèle : *Polygones, Rouge-Jaune-Vert, Foncé*. Puis en clique sur *Suivant.*> (figure2.2).

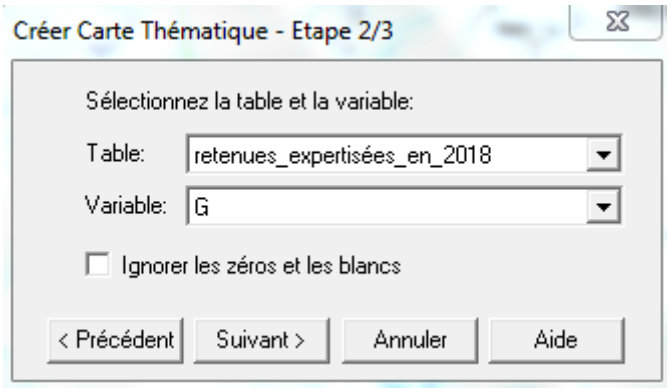


Figure 2.2 : Extrait de la fenêtre « sélectionnez la table et la variable »

- Pour l'Etape 2/3 on choisit la table a analysé dans notre exemple c'est la table **« retenues expertisées en 2018 »** et la variable qui est l'indice de vulnérabilité qui est dans la colonne **G**. une fois choisit en clique sur *Suivant* (figure2.3).

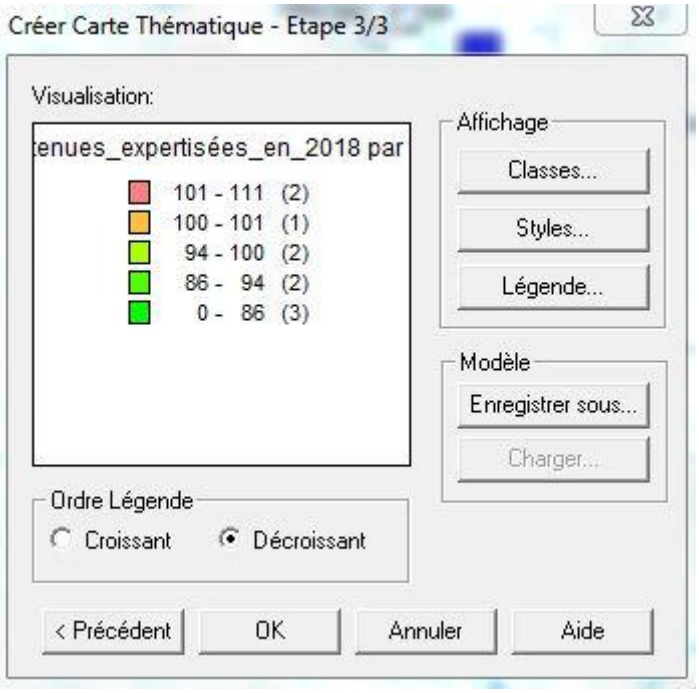


Figure 2.3 : Extrait de la fenêtre «visualisation »

- Dans l'Etape 3/3, une première analyse thématique nous est proposé, qu'il est possible de modifier dans tous ces aspects afin de la faire correspondre a la méthode de l'indice de vulnérabilité (figure 2.4).

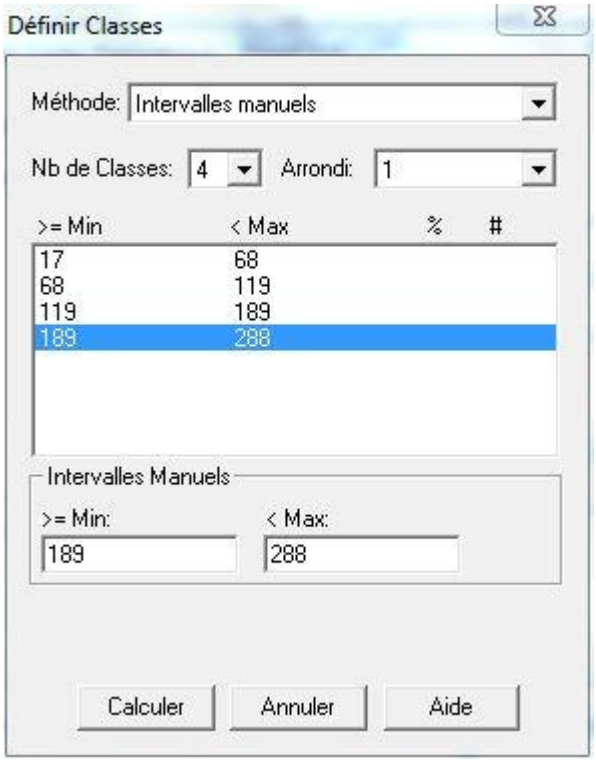


Figure 2.4 : Extrait de la fenêtre «définir classes »

- D'abord on définit les classes : en cliquant sur *Classes…* >> la fenêtre *Définir Classes* apparait >> *Méthode : Intervalles manuelles* >> On choisit le nombre de classe dans notre cas c'est 4 >> on clique sur *Calculer* >> On définit les intervalles comme proposée dans la méthode de l'indice de vulnérabilité >> On clique sur *Calculer* >> *OK* (figure2.5).

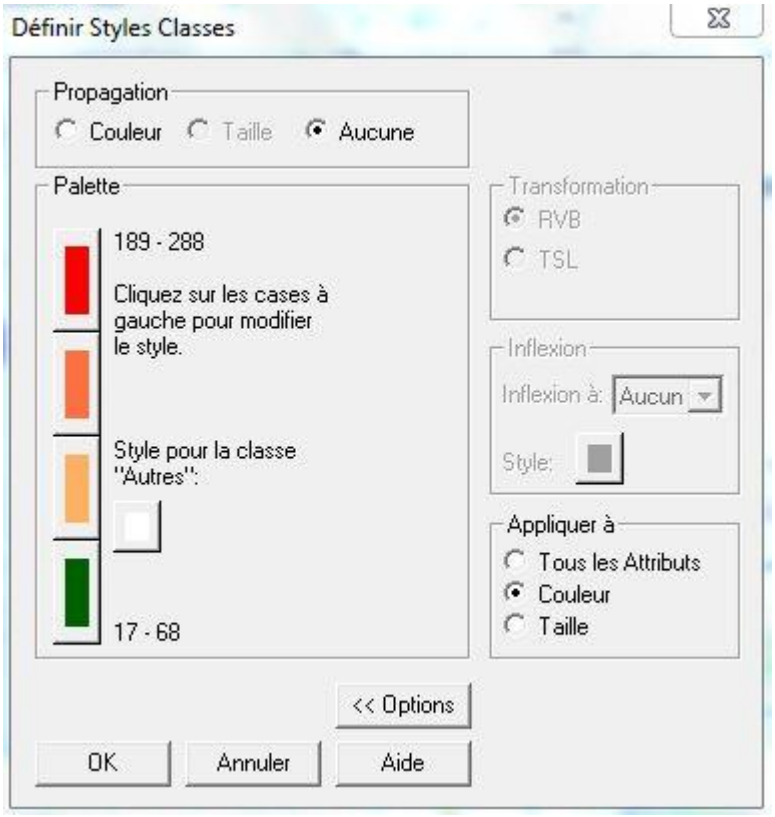


Figure 2.5 : Extrait de la fenêtre «définir Styles Classes »

- Ensuite on choisit les couleurs en cliquant sur *Styles…* >> La fenêtre *Définir Styles Classes apparait* >> Dans la section ''*Propagation*'' on choisit ''*Aucune* '' >> Dans la section ''*Inflexion*'' on choisit ''*Aucun*'' >> Dans la section ''*Palette*'' on choisit les couleurs conformément à la méthode de l'indice de vulnérabilité >> On clique sur *OK* pour revenir à la fenêtre précédente (figure2.6).

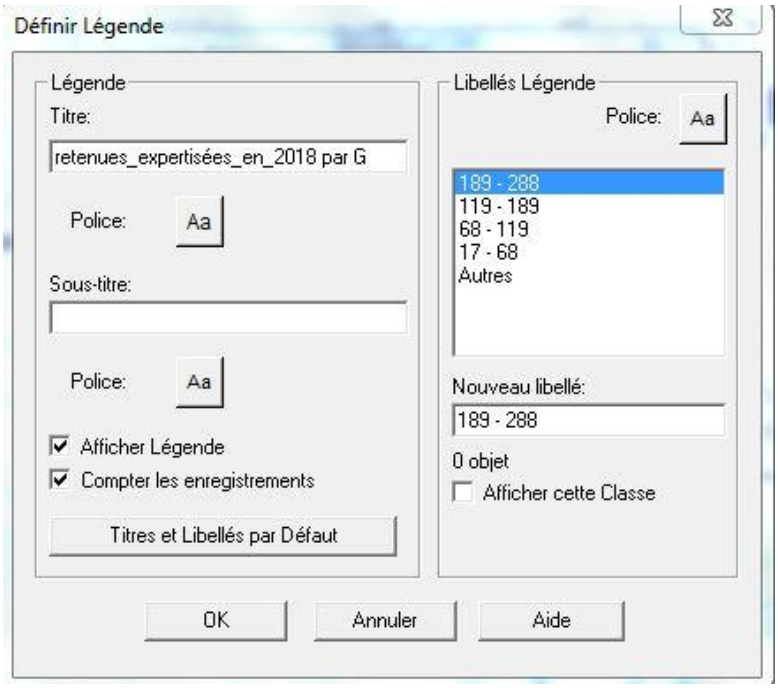


Figure 2.6 : Extrait de la fenêtre «définir légende»

- Enfin en cliquant sur le bouton *Légende…* on accède à toutes les informations qu'on peut faire apparaitre dans la légende accompagnant l'analyse thématique, comme les classes à afficher, ou le titre. Une fois modifier on clique sur *OK* (figure 2.7).

- On peut enregistrer l'analyse thématique réaliser, et l'appliquer pour d'autres semi de points, sans avoir à reproduire à chaque fois les même étapes de création, et ceci en cliquant sur le bouton *Enregistrer sous…* qui se trouve dans la section ''*Modèle*'' .

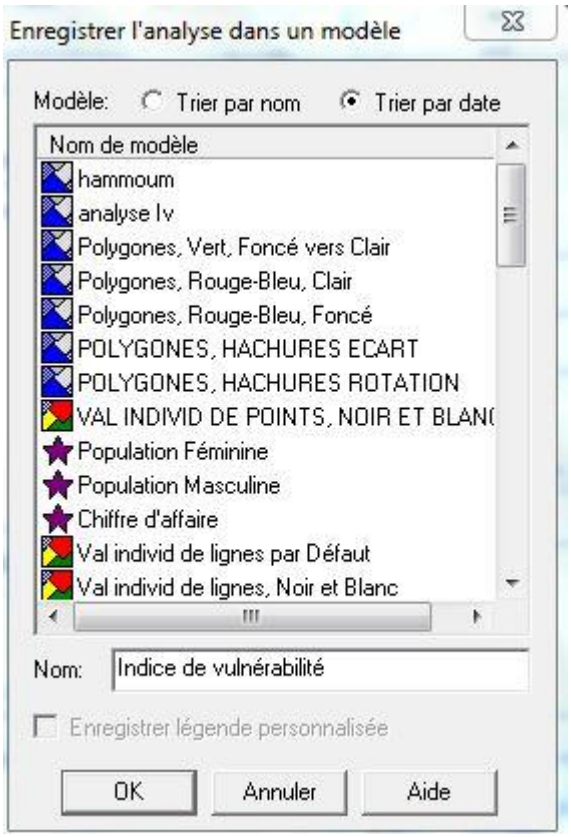


Figure 2.7: Extrait de la fenêtre « enregistrer l'analyse dans un modèle»

- L'analyse Thématique est réalisée comme on peut le voir dans la figure 2.8.

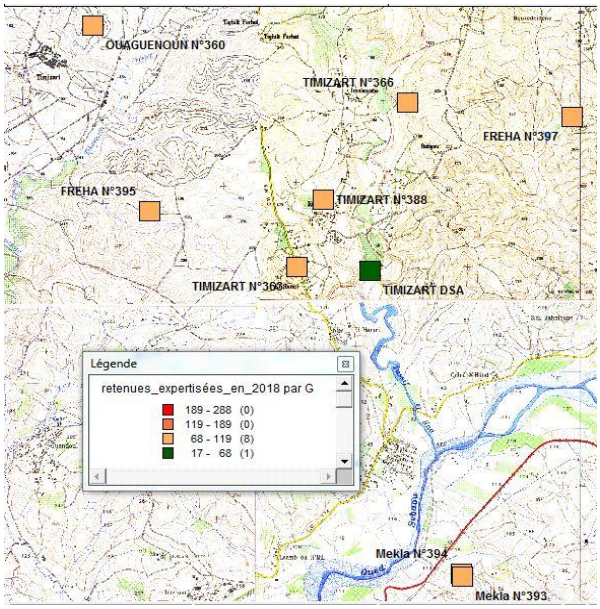


Figure 2.8: Extrait de la fenêtre «la carte thématique»