

Plan directeur pour l'implantation des lacs collinaires dans le Caza de Bcherreh (Liban Nord) selon les normes du Plan Vert

Souheil Awad* Georges Chemaly ** Salim Roukoz***

Résumé

Pour bien Planifier son travail et connaître le potentiel des terrains afin d'installer des lacs *collinaires sans géomembrane, le "Plan Vert", établissement publique sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture libanais, cherche une méthode fiable, facile à appliquer, non couteuse et qu'il pourra gérer par ses propres moyens. Le SIG parait comme un outil fiable pour l'élaboration de cette méthode dont le but d'aider les planificateurs du Plan Vert à bien orienter le travail.

En effet, le Plan Vert a pour but de faire une étude pilote pour déterminer les sites potentiels à l'installation des lacs collinaires sans géomembrane au Liban Nord tout en visant à extrapoler cette méthode au niveau nationale. Ce projet vient pour contribuer à élaborer un outil qui sera à la disposition du Plan Vert pour faciliter l'exécution des projets ultérieurs.

La méthodologie adoptée pour la préparation du modèle consiste à utiliser les paramètres disponibles par le Plan vert pour sélectionner les sites aptes à l'installation des lacs collinaires sans géomembrane dans les villages de Bazoun, Hassroun et Bqerqacha. Ces paramètres sont liés à la pente, à l'enrochement, à la perméabilité et à l'occupation des sols., les cartes de bases de la région comme les cartes topographiques, géologiques, pédologiques et les cartes d'occupation des sols ont été gérées à travers le système SIG.

* Université Libanaise, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. souheil.awad@ul.edu.lb; souheil_awad@hotmail.com

** Ingénieur au Plan Vert-Liban, Mastère en Géographie physique, georges.chemali137@gmail.com

*** Ingénieur au Ministère de l'Agriculture, Liban - adjoint au Plan Vert, salimroukoz@hotmail.com

La zone d'étude couvre une superficie de 1714 Ha. Les résultats relatifs ont montré que 19.6 % (336 Ha) de la superficie de la zone d'étude sont très convenables à l'installation des lacs collinaires sans géomembrane selon les normes du Plan vert. La vérification des résultats au terrain a montré la validité du modèle.

Mots- clés : Plan Vert, Liban Nord, Lacs collinaires, Pente, Enrochement, Perméabilité, Modèle numérique,

1 Introduction

Le "Plan vert", administration publique libanaise caractérisée par une indépendance financière et administrative, est soumise à la tutelle du Ministre de l'Agriculture. Il fait partie intégrante des quatre directions générales qui composent le Ministère de l'Agriculture Libanais (Direction Générale de l'Agriculture, Direction Générale des Coopératives, Institut de Recherches Agricoles et Plan Vert).

Les activités du Plan Vert sont réparties au niveau de l'exploitation comme la bonification des sols et travaux complémentaires, et aussi au niveau de l'infrastructure agricole comme les lacs collinaires et les routes agricoles. Les terrains aptes à la bonification ou aménagés nécessitent des projets d'irrigation pour répondre aux besoins hydriques des cultures dans la région (Plan Vert, 2019).

Toutefois, les lacs collinaires constituent des techniques avantageuses et très peu nocives à l'environnement et à l'Homme. Ces lacs sont artificiels de petite ou moyenne dimensions, aménagés dans les zones montagneuses afin de recueillir les précipitations. Pourtant, de nombreux problèmes se posent sur le choix qui révèle la durabilité et l'efficacité du lac. Cette pratique a été largement appliquée dans le secteur de moyenne et haute montagne (Charbel, 2012 ; Comair, 2005). Le secteur public, par l'appui direct du Plan Vert, a supporté l'implantation de plus de 205 lacs collinaires seulement dans le bassin versant du Nahr Ibrahim irrigant de 38.5 Km² de cultures maraîchères et d'arbres fruitiers (Youssef, 2018). Récemment, l'usage de la technique de géomembrane qui devient plus répandu, mais certes plus chère, facilite l'implantation des lacs sur différents types de roches. Les lacs collinaires semblent des installations très innovants (Charbel, 2012). L'importance des lacs collinaires sur le plan économique incite de nombreux auteurs,

comme par exemple Hakim (1985), Awad (2011), Akkari (2018), à proposer l'implantation de ces lacs dans les diverses régions montagneuses.

Pour la planification du travail et la détermination des sites potentiels pour l'installation des lacs collinaires sans géomembrane, cette étude cherche à l'élaboration d'un modèle numérique qui utilisera des données simples, valables et existantes au sein de la direction du Plan vert, pour sortir avec des portées sur les potentiels d'une région donnée. Ces informations élaborées feront une partie importante pour l'élaboration d'un plan directeur de la région concernant l'installation des lacs collinaires. Le but sera d'améliorer le niveau de vie des villageois et donc de diminuer le phénomène d'exode qui barre le Liban du nord au sud. Dans le dernier siècle et à cause des situations économiques critiques, environ un quart de la population du Mont Liban quitta vers les États-Unis, le Brésil, l'Argentine laissant les terres à nu. De plus, un mouvement massif de migration interne qui, au cours des dernières décennies, a particulièrement affecté les régions défavorisées (Khneyzer, 2016). Dans ce contexte, notre but sera réalisé en adoptant dans le cadre de cette étude, le modèle élaboré qui pourra être extrapolé pour l'appliquer à l'échelle d'une grande région et même à l'échelle nationale.

2 Site et situation de la zone d'étude

La zone d'étude se localise entre les latitudes Nord 34.2324° et 34.2468° et les longitudes Est 35.9748° et 36.0036° . Elle se situe dans le Caza de Bcharreh-Liban Nord, une zone montagneuse dont l'altitude varie entre 1070 m et 2320 et qui s'étend sur une superficie de $(17.2.km^2)$. La zone est constituée des cadastres de Hassroun – Bazoun – Bqerqacha (Figure1),

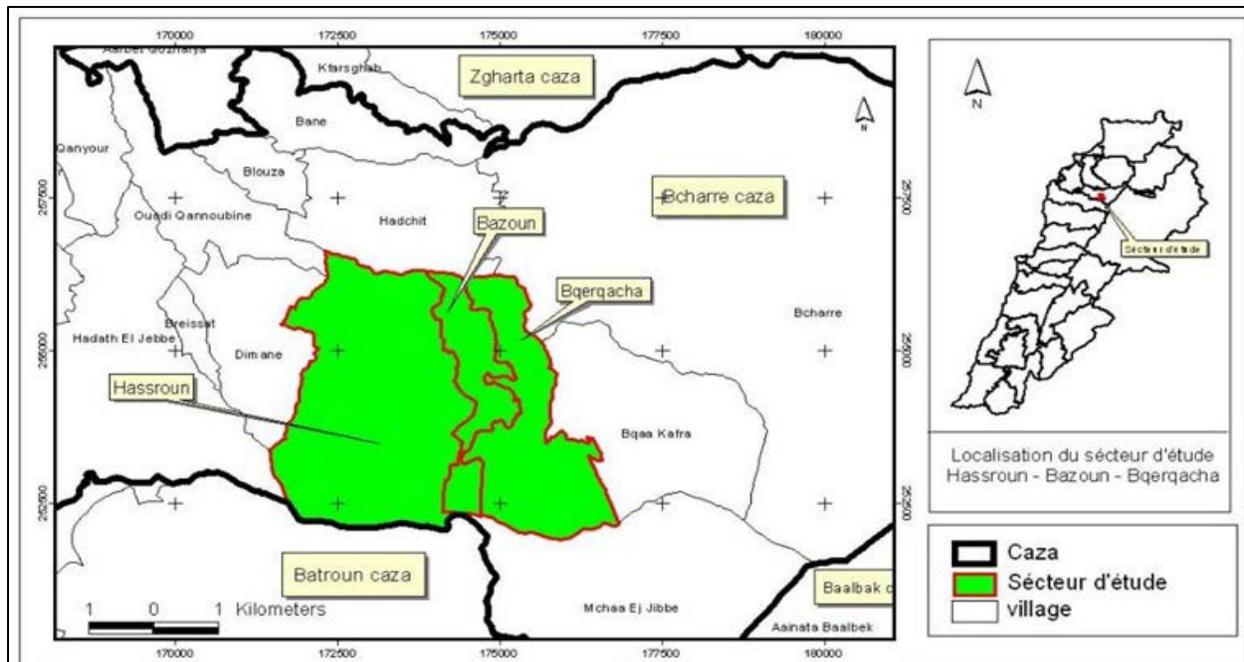


Figure 1 Situation de la zone d'étude

2.1 Cadre climatique

La variabilité d'écoulement va presque en parallèle avec la pluviométrie se rapportant au climat Méditerranéen. La région est soumise à des conditions climatiques caractérisées par une pluviométrie, généralement orographique, abondante en hiver relativement froid pendant cinq à six mois, et une longue période de sécheresse chaude allant de six à sept mois (Traboulsi, 1977). Vue cette situation, un grand problème se pose : l'absence de la récupération de l'eau pendant les périodes de crue privant la région d'une bonne quantité d'eau. Le besoin en eau s'accroît durant la période sèche qui est propice à l'agriculture en raison de la température favorable aux cultures. L'épaisseur de la couche neigeuse peut atteindre des dizaines de cm présentant ainsi une source importante de recharge.

Comme montre la figure 2, la plus grande étendue de la région d'étude reçoit des précipitations entre 1000 mm et 1300 mm/an Traboulsi (2004 et 2010). Ces quantités s'infiltrent ou coulent vers les vallées proches sans être retenues. En plus, ces eaux aggravent les conséquences des crues sans oublier leurs effets sur l'érosion. De ce fait, l'installation des lacs collinaires se voit indispensable en posant la question sur la capacité du bassin versant à remplir le lac sans le recours aux sources avoisinantes.

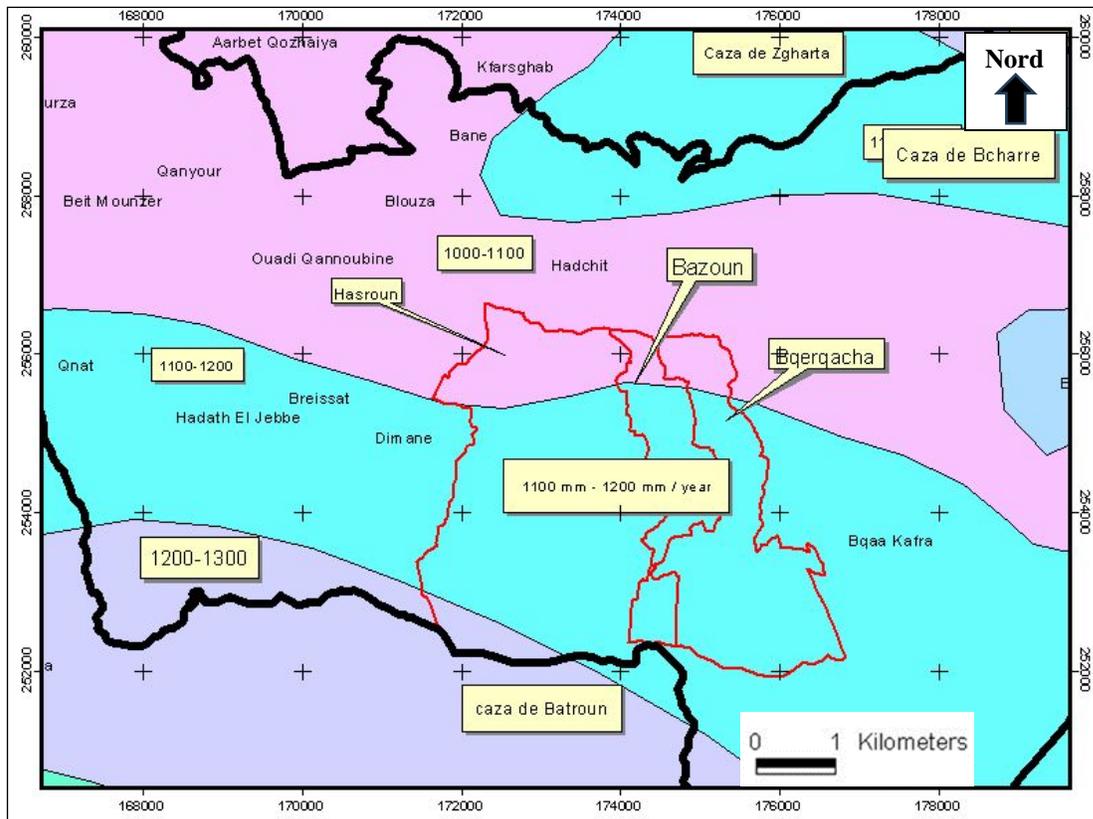


Figure 2: Pluviométrie dans la zone d'étude. (Source Traboulsi, 2010)

Les relevés de température depuis l'année 2011 jusqu' à l'année 2016 dans la station de Fnaideq (station la plus proche de la région d'étude), ayant une altitude de 1100 m, montre que les températures les plus basses sont enregistrées au mois de janvier et les plus hautes se font au mois d'aout (Figure 3). En effet, la température élevée en été accentue le phénomène de l'évaporation des eaux dans les lacs. On note que la température joue un rôle important dans la fonte des neiges qui alimentent les sources eau dans la région d'étude.

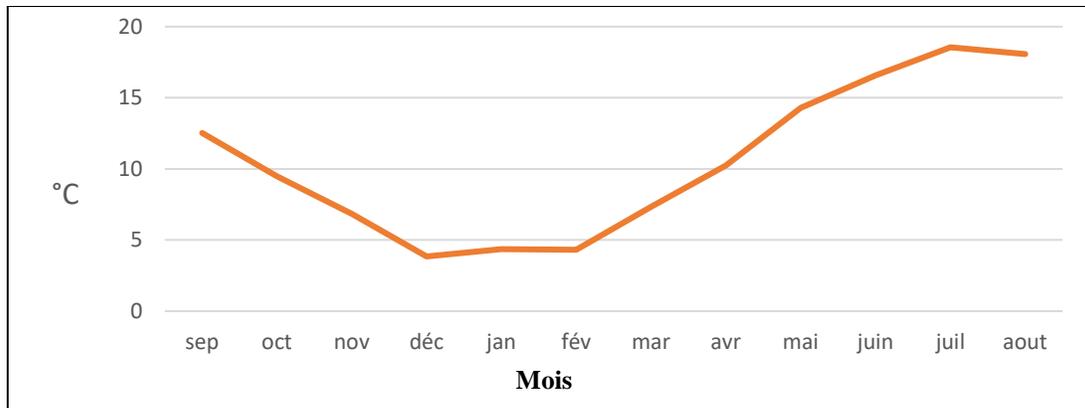


Figure 3 Température mensuelle moyenne enregistrée à la station de Fnaideq de 2011 à 2016. (Source Institut de Recherches Agronomiques – Liban, 2107).

2.2 Aperçu géologique de la zone d'étude

La plus grande étendue des affleurements géologiques appartient au crétacé et au Jurassique (Tableau 1 ; Figure 4), ces terrains karstifiés et perméables laissent facilement infiltrer les précipitations à travers les fissures, les gouffres et les avens dans les couches calcaires. Ces affleurements ne sont pas convenables à l'implantation des grands lacs (Hakim, 1985). Cette géologie diversifiée et tectonisée rend le choix des terrains à aménager (installation des lacs collinaires et bonification) une opération compliquée.

Tableau 1 : Description de l'affleurement géologique de la région d'étude (Dubertret, 1950)

Code	Epoque	Description
Qj	Quaternaire	Terre arable
Qe	Quaternaire	Eboulis
C ₄	Cénomannien	Calcaires du Sannine: Calcaires et calcaires marneux alternants
C ₃	Albien	Marnes verte et bancs calcaires alternant
BC _{2b}	Aptien supérieur	Basaltes de l'aptien supérieur
C _{2b}	Aptien supérieur	Falaise de Blanche: Calcaire récifal gris claire
C _{2a}	Aptien inférieur	Grès argileux, argiles, calcaires détritiques ocre, basaltes cinérites.
C ₁	Base du crétacé	Grès du Liban: grès quartzeux rose, généralement groupé avec le C _{2a} qui contient
BJ ₆	Jurassique	Terrain volcanique basaltique du jurassique terminal
J ₆	Jurassique	Calcaires grises, fins et ocre, se dressant en falaise au-dessus du terrain volcanique
J ₄	Jurassique	Partie des calcaires sous jacente au terrains volcaniques BJ

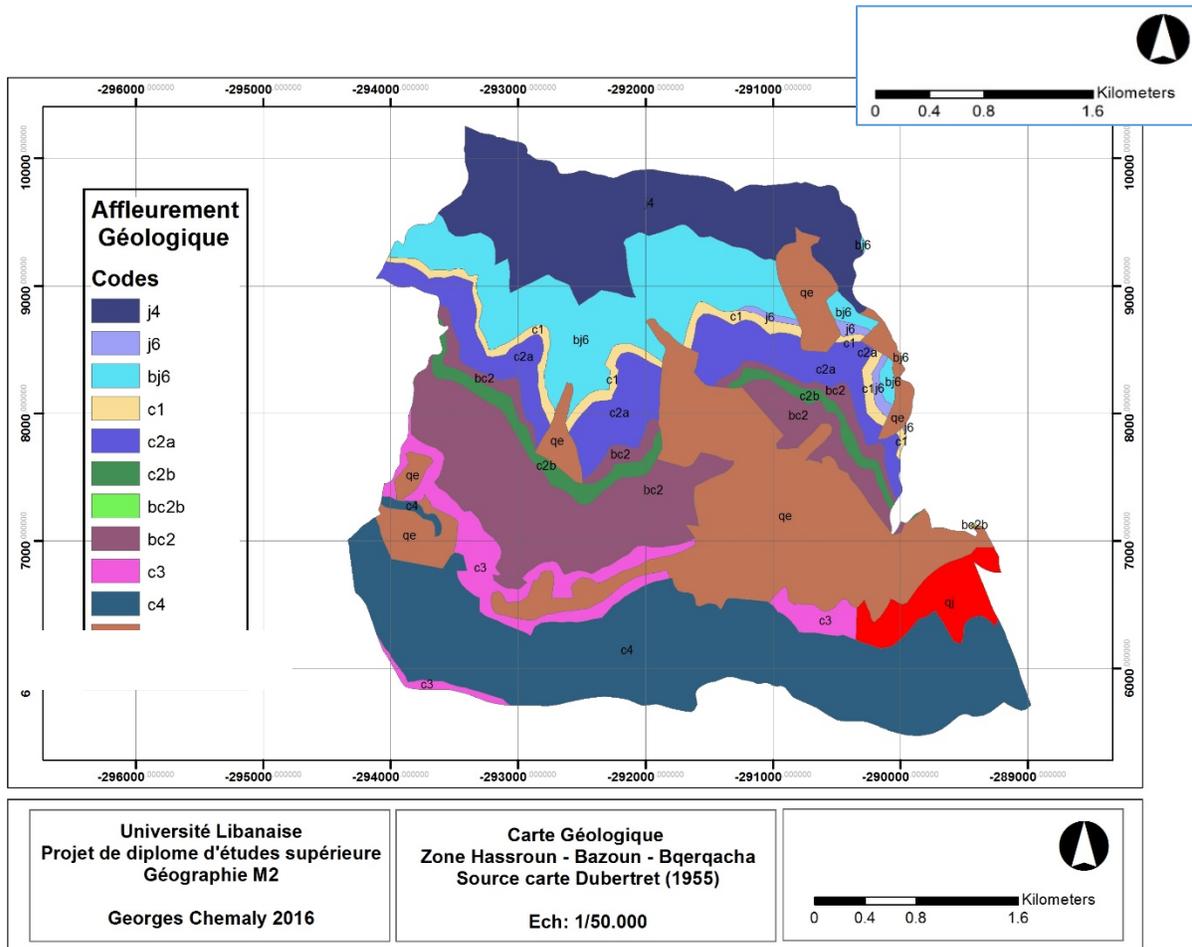


Figure 4 Affleurements géologiques dans la zone d'étude

3 Normes du Plan Vert pour l'installation des lacs collinaires

Pour installer les lacs collinaires, individuels ou publiques, plusieurs conditions sont préconisées par le Plan vert. Ces conditions sont de nature administrative, socio-économiques et physiques. De même l'aide diffère entre les lacs individuels et les lacs destinés aux groupements d'agriculteurs :

- Pour les lacs collinaires privés il faut:
 - Que la demande soit complète de point de vue administrative.
 - Qu'il existe une source d'eau pour remplir le lac (source d'eau ou bien un bassin versant)
 - Que la pente soit inférieure à 30 % (Green Plan,2019).

Le lac individuel peut être fait sans géomembrane s'il y'a une couche de sol imperméable d'épaisseur équivalant à 60 cm et plus après compactage. Dans le cas d'absence d'une couche imperméable, une géomembrane d'épaisseur 600 microns au minimum sera appliquée. La subvention pour les lacs privés est 2500 LL (2017) pour chaque m³ de la capacité du lac, et de 2500 LL pour chaque m³ de capacité pour subventionner la géomembrane en cas d'application.

Comme pour toutes les subventions du Plan Vert consacrées aux individus, la somme représente environ 40 % de tous les couts d'investissements (le calcul est fait quand chaque 1 Dollar Américain vaut 1500 Livres Libanaises)

- Pour les lacs collectifs on cherche que :
 - La demande soit présentée par une municipalité.
 - Le terrain soit public et que la municipalité est autorisée de l'utiliser.
 - La superficie allouée au lac doit être au minimum 8000 m², avec une pente maximale de 30 %.
 - L'existence d'un groupement d'utilisateur d'eau, prêt à former un comité d'utilisateur d'eau d'irrigation, pour maintenir le lac et gérer son eau.

La capacité du lac peut être entre 20000 et 100000 m³. Pour bien organiser le lac, une étude du secteur d'irrigation sera faite en collaboration entre le Plan Vert et les bénéficiaires. L'agriculteur pourra augmenter la superficie qui va bénéficier du lac collectif s'il reste de l'eau non utilisée. Le lac peut être fait sans géomembrane s'il y'a une couche de sol imperméable d'épaisseur 60 cm et plus après compactage. Dans le cas d'absence d'une couche imperméable, un géotextile puis une géomembrane d'épaisseur de 600 microns sera appliquée.

4 Matériels et méthodes

Les procédés informatiques et les possibilités offertes pour la gestion et l'analyse, conduisent à la généralisation de l'outil à tous les échelons du territoire. Cependant la mise en place d'un SIG, quelle que soit la dimension de la région étudiée, demeure un investissement humain indispensable. Le présent document traite le modèle et les données couvrant l'ensemble de la région d'étude.

4.1 Critères pour les sites potentiels des lacs collinaires

Les pentes douces inférieures à 30% sont favorisées par le Plan Vert pour la construction des lacs collinaires, car elles présentent un accès facile aux machines et présentent de faibles risques d'effondrement. Cependant, les terres avec des pentes supérieures à 30 % ne sont pas privilégiées pour la construction de lacs collinaires, elles sont généralement caractérisées par une topographie plus abrupte et sont relativement coûteuses car elles nécessitent de grands barrages et parfois des murs de soutènement en béton (Le Plan Vert, 2019).

4.1.1 Pente

Les sites des lacs de colline dans les zones dont les pentes dépassent 30 % sont techniquement refusés et ne peuvent bénéficier d'aucune allocation du Plan Vert.

Le tableau 2 montre les différentes classes de pente utilisées dans le modèle SIG comme couche Raster pour établir le model relatif aux lacs collinaires. Les valeurs de pente variant de 0 à 10% prennent la note la plus élevée (3) et sont classées comme très adaptées à la construction des lacs collinaires ; les pentes dont la valeur est supérieure à 30% ont pris la valeur (0), car elles ne sont pas recommandées et ne conviennent pas à l'installation des lacs collinaires (El Hajj, 2023).

Tableau 2: Classification des pentes utilisées pour les lacs collinaires dans le modèle SIG

Pente (%)	Valeur de la classe	Classes de pertinence
0-10	3	Très convenable
11-20	2	Convenable
21-30	1	Moins convenable
> 30	0	Non convenable

4.1.2 Couches géologiques

L'imperméabilité des couches géologiques est l'un des principaux critères utilisés pour la sélection d'un site du lac collinaire. Lorsque les couches géologiques sont imperméables, le site est considéré comme ayant un haut potentiel pour la construction d'un lac collinaire sans utiliser de membrane en polyéthylène - géomembrane (PE). Lorsque les couches géologiques sont perméables, l'utilisation d'une membrane en polyéthylène - géomembrane est nécessaire, et dans la plupart des cas, cette activité est coûteuse et non durable. Pour cela, le critère de la perméabilité a été considéré comme facteur limitant dans notre modèle.

La relation est très étroite entre l’affleurement géologique et la nature du sol et de sa perméabilité, donc les affleurements BJ₆, BJ₅, BC_{2b}, C₃ sont tous des exemples de couches géologiques imperméables, ce qui signifie que l’infiltration de l’eau est limitée. Le Tableau 3 développe la relation entre l’affleurement géologique et la perméabilité. Une classification analogique a été utilisée par L. Charbel (2007)

Tableau 3: Classification géologique utilisée dans le modèle SIG pour l'installation des lacs collinaires

Code	Epoque géologique	Perméabilité	Classe	Pertinence aux Lacs collinaires
BJ ₆	Jurassique terminal	Très imperméable	3	Très convenable
BC _{2b}	Aptien supérieur		3	
BC ₂	Aptien		3	
C ₃	Albien		3	
C ₁	Base du crétacé	Imperméable	2	Convenable
C _{2a}	Aptien inférieur	Peu imperméable	1	Moins convenable
J ₄	Jurassique supérieur	Perméable	0	Non convenable
J ₆	Jurassique terminal	Perméable	0	
C _{2b}	Aptien supérieur	Perméable	0	
C ₄	Cénomanién	Perméable	0	
Qe	Quaternaire	Perméable	0	
Qj	Quaternaire	Perméable	0	

4.1.3 Processus de validation sur le terrain

Après avoir produit les cartes des sites aptes à la bonification des terrains, un travail de terrain a été effectué sur 20 parcelles (100 m x 100 m chacune) choisies selon la méthode d’échantillonnage aléatoire systématique dans la zone d’étude dont le pourcentage acceptable dépasse le 1 % de la superficie totale (Figure 5). Le point non accessible a été remplacé par un autre tout près et accessible. Le pourcentage de la superficie vérifié est de 1.16 % de la superficie totale. La fonction principale du travail est la validation sur le terrain est l’identification des caractéristiques clés qui contribuent à recueillir des informations sur le degré des terrains à l’installation des lacs collinaires. Le processus du travail sur le terrain vise également à accumuler un relevé photographique des parcelles choisies (Figure 4). La manifestation du processus consiste à:

- Vérifier les coordonnées, l'utilisation des terres, les pentes et la texture du sol.
- Relever photographique des plots et des traits caractéristiques

- Remplir la feuille d'évaluation pour chaque parcelle illustrée dans la figure 6.

De même, pour bien faciliter le travail du terrain, les images satellitaires issues du site Google Earth ont été utilisées.

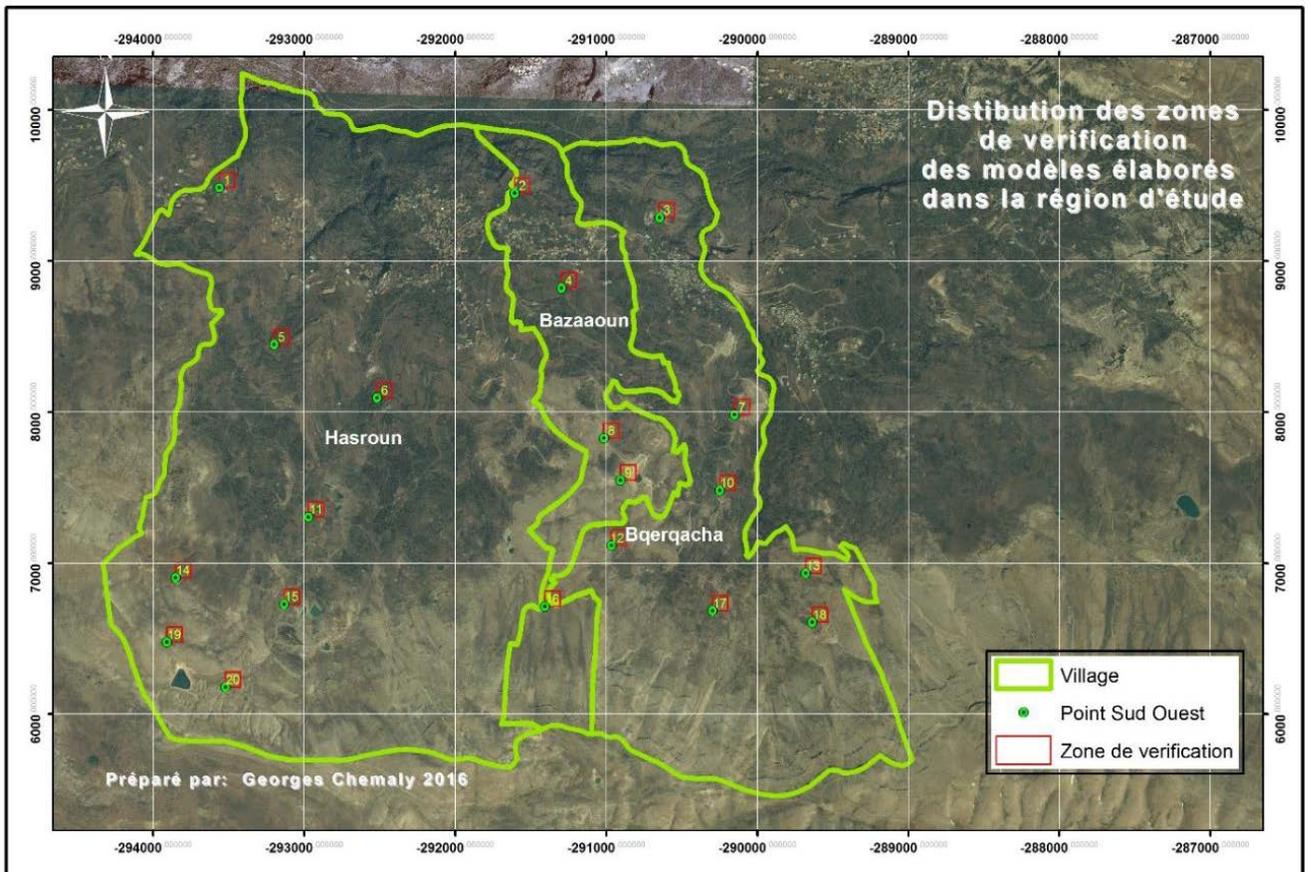


Figure 5: Distribution des 20 parcelles de vérification dans la zone d'étude.

L'application mobile «Copilot» (Système WGS84) en plus que celle Google Maps ont été utilisées pour parcourir la zone d'étude et atteindre les différentes parcelles sélectionnées. Les objectifs du travail du terrain sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 Objectifs du travail du terrain

Informations	Objectifs
Coordonnées mesurées	Localiser les zones à visiter
Altitude	Vérifier le DEM et les courbes sur le terrain
Pente	Vérifier la carte des pentes
Vérifié la carte LCLU	Vérifier l'occupation agricole du sol utilisée
Valider le modèle	Noter l'impression de la validation du modèle avant de quantifier sur fichier MicrosoftExcel les points de validations

SO A B C D E F G H I J
100 m

X ster: Y ster: Altitude: m
 Pente (%):
 Pierrosité (%):
 Terrain cultivé: Oui Non Type de culture:
 Forêt: Oui Non Type de forêt:
 Autres occupation de sols:
 Potentiel pour la bonification: Oui Non
 Si Oui spécifie la classe de bonification du Plan Vert:
 Potentiel pour les lacs collinaires: Oui Non
 Notes:

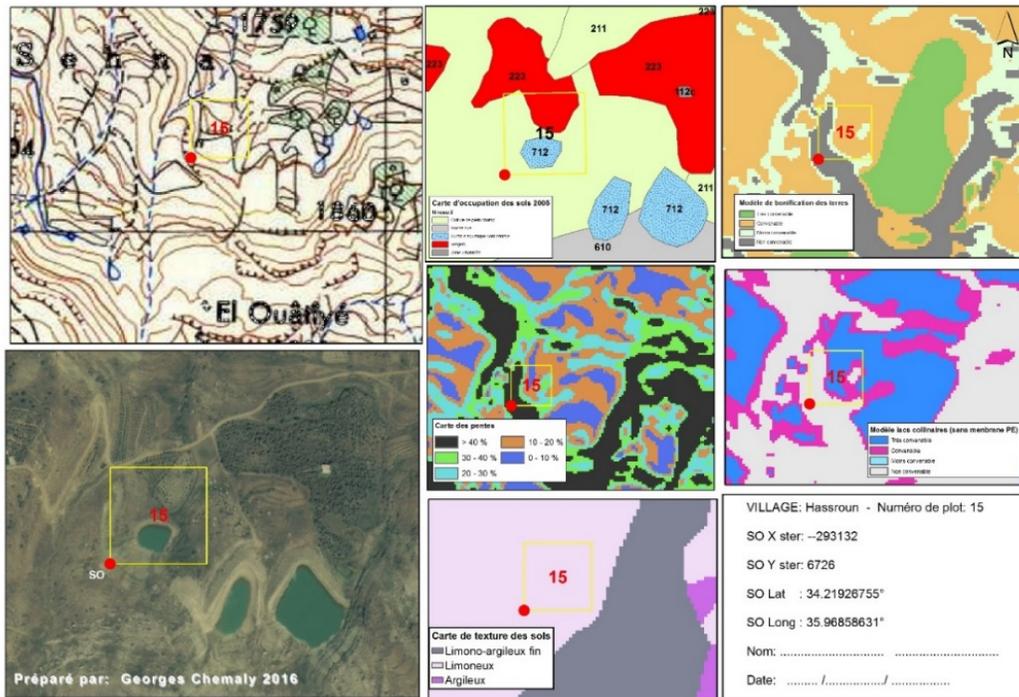


Figure 6: Fiche d'évaluation sur le terrain

4.2 Création de la base de données SIG pour la zone d'étude

Des cartes de base et des images satellitaires ont été utilisées pour la préparation des couches SIG (carte pour chaque critère) et des ensembles de données nécessaires à l'analyse hydrologique et de l'aptitude du sol :

- La numérisation des points d'élévation et des courbes de niveau (10 m) à partir des cartes topographiques (O8 et O7) ayant l'échelle 1/20000 (Direction des Affaires Géographiques, DAG, 1965) est utilisée pour le traitement des ensembles de données et pour l'élaboration du Modèle Numérique du Terrain MNT (Digital Elevation Model DEM) pour en tirer les cartes de pente et d'altitude ; (Figures 14,15 et 16)
- Les affleurements géologiques illustrés d'après les cartes géologiques du Liban 1/50000 (Dubertret, 1950) ont été recalculés pour le traitement de la perméabilité des couches géologiques.
- Les images satellites (GeoEyes, 2012) sont utilisées pour numériser et mettre à jour les emplacements des lacs collinaires existants. Les coordonnées des sources d'eau ont également été numérisées à partir des cartes topographiques 1/20000.

4.3 Modélisation des critères de sélection pour les sites potentiels des lacs collinaires

Afin d'identifier et de classer les zones pouvant convenir à la construction des lacs collinaires sans géomembrane, un modèle SIG a été élaboré pour identifier les zones potentielles et les ordonner en fonction de leurs degrés de pertinence. Un ensemble de critères a été pris en compte lors de l'élaboration du modèle SIG.

De même, la pente et le pourcentage du rocher en addition aux sources d'eau valable (source d'eau ou bien bassin versant) sont les piliers principaux pour la sélection des sites valables pour les lacs collinaires.

Pour bien établir le modèle SIG, en plus des critères de pente et des rochers, d'autres critères tels que les couches géologiques, la texture du sol et la capacité de rétention d'eau du sol ont été utilisées pour la conception du modèle.

5 Résultats du modèle élaboré

Les diverses cartes préparées ont été introduites dans le programme ArcMap en abordant les arrangements : ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra et Raster Calculator. Chaque cellule des cartes Raster classifiées possède un chiffre pondérant relatif à sa convenance pour la l'installation des lacs collinaires.

5.1 Production de la carte de pente et la carte de perméabilité

La carte des pentes a été générée à partir des courbes de niveau de 10 m et d'une série de points d'élévation de référence, qui sont numérisés à partir de la carte topographique du Liban à l'échelle 1:20 000 (O7 et O8). Une carte (couche) du modèle d'élévation numérique (DEM), d'une résolution de 5x5 m pixels, a été générée à l'aide de l'extension Analyse Spatiale et intégrée dans l'ArcMap. La pente est calculée pour chaque cellule du Raster DEM.

La commande « Pente » calcule et accorde à chaque cellule une pente appropriée, en utilisant les données de la cellule et des cellules voisines.

Le Raster de pente en sortie est calculé en pourcentage et une nouvelle note d'aptitude est attribuée à chaque Raster selon la classification de pente dans le tableau 2. Les résultats sont exposés auprès de la figure 7.

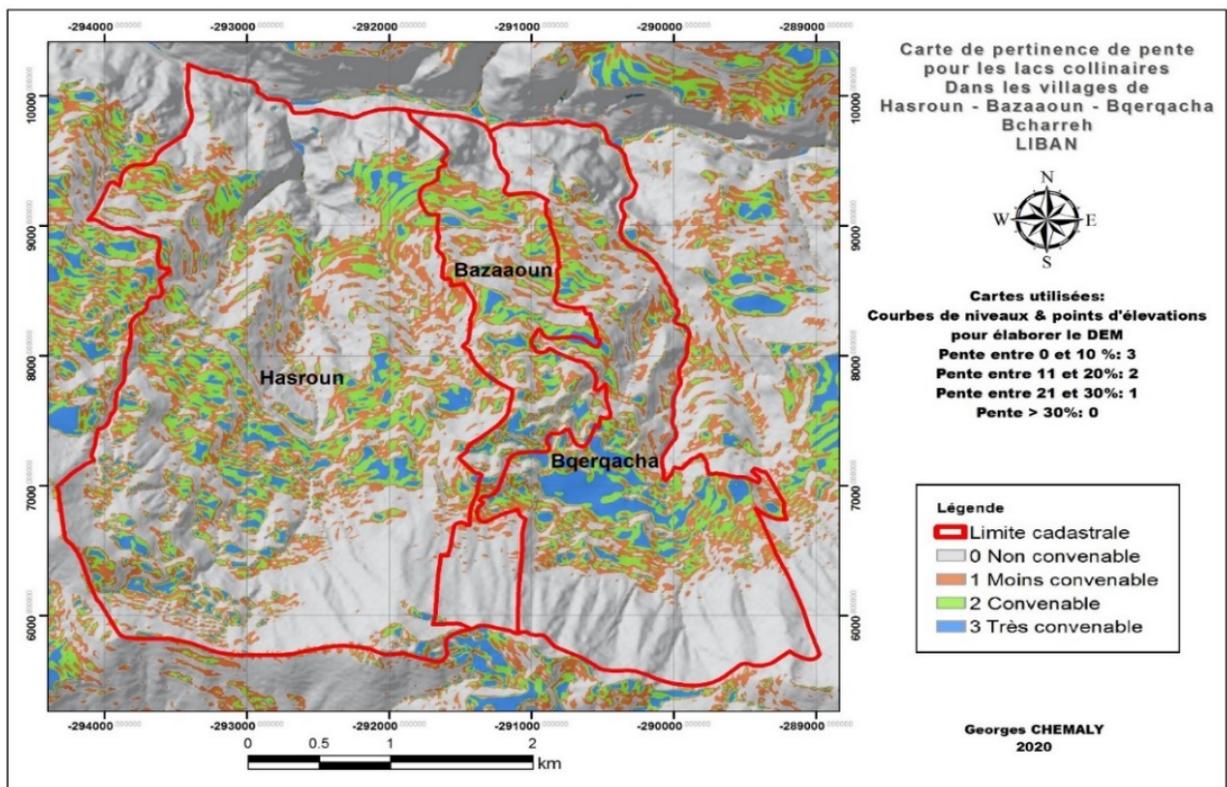


Figure 7 : Carte de pertinence de pente pour les lacs collinaires

Les couches géologiques ont été classées en quatre classes en fonction de leur perméabilité. Les classes varient de très perméable à perméable et sont développées dans le tableau 3. De même, la carte (Figure 8) montre la distribution de ces affleurements.

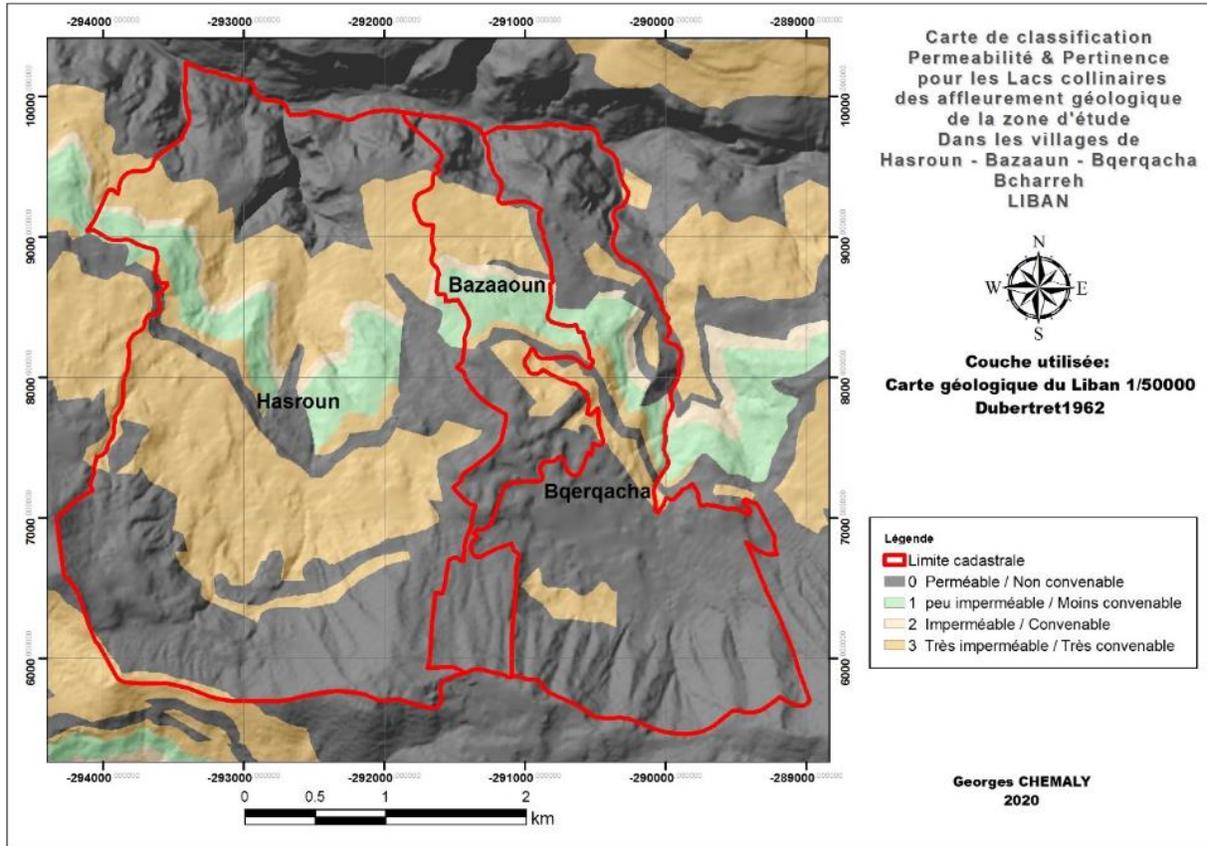


Figure 8: Carte de la classification de perméabilité et pertinence pour les lacs collinaires des affleurements géologiques de la zone d'étude

5.2 Production de la carte de l'installation des lacs collinaires

Les diverses couches préparées ont été introduites au Logiciel ArcMap. Chaque cellule des cartes Raster classifiées et utilisées possède un chiffre relatif à sa convenance pour l'installation des lacs collinaires (étape déjà expliquée). Les cartes (couches) utilisées dans le calcul sont la carte des pentes et la carte de perméabilité. La Figure 9 résume le processus de l'élaboration de la carte.

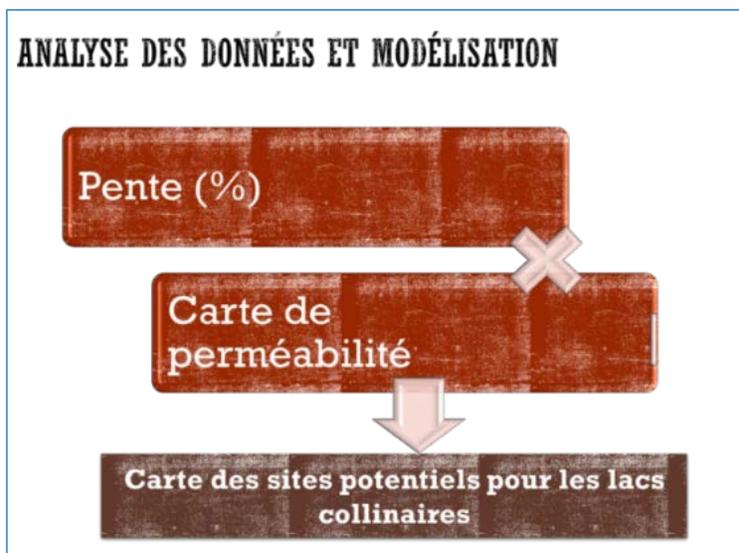


Figure 9 : Modèle relatif à l'installation des lacs collinaires

Le résultat obtenu sera un fichier Raster ayant des cellules qui portent un poids permettant de les classer selon leur aptitude à l'installation des lacs collinaires, et d'en tirer une carte représentative pour la zone d'étude. Les valeurs possibles de chaque cellule des deux cartes varient de 1 à 3 : Les cellules de la carte de pentes et la carte de perméabilité prennent successivement les valeurs 0, 1, 2 et 3.

La valeur possible pour chaque cellule de la carte produite sera un chiffre allant de 0 à 9, et la classification des cellules est répartie en 4 catégories de pertinence comme le montre le tableau 5. La carte (Figure 8) montre les sites potentiels d'installation des lacs collinaires (sans géomembrane) dans la zone d'étude.

Tableau 5 Valeur possible pour chaque cellule dans le modèle relatif à l'installation des lacs collinaires

Valeur	Classes	Pertinence
0	0	Non convenable
1	1	Moins convenable
2,3 et 4	2	Convenable
6, 8 et 9	3	Très convenable

D'après la carte obtenue (Figure 10), on note que 336 ha (soit 19.6 % de la zone d'étude) sont très convenables à l'installation des lacs collinaires sans géomembrane et selon les normes de Plan Vert.

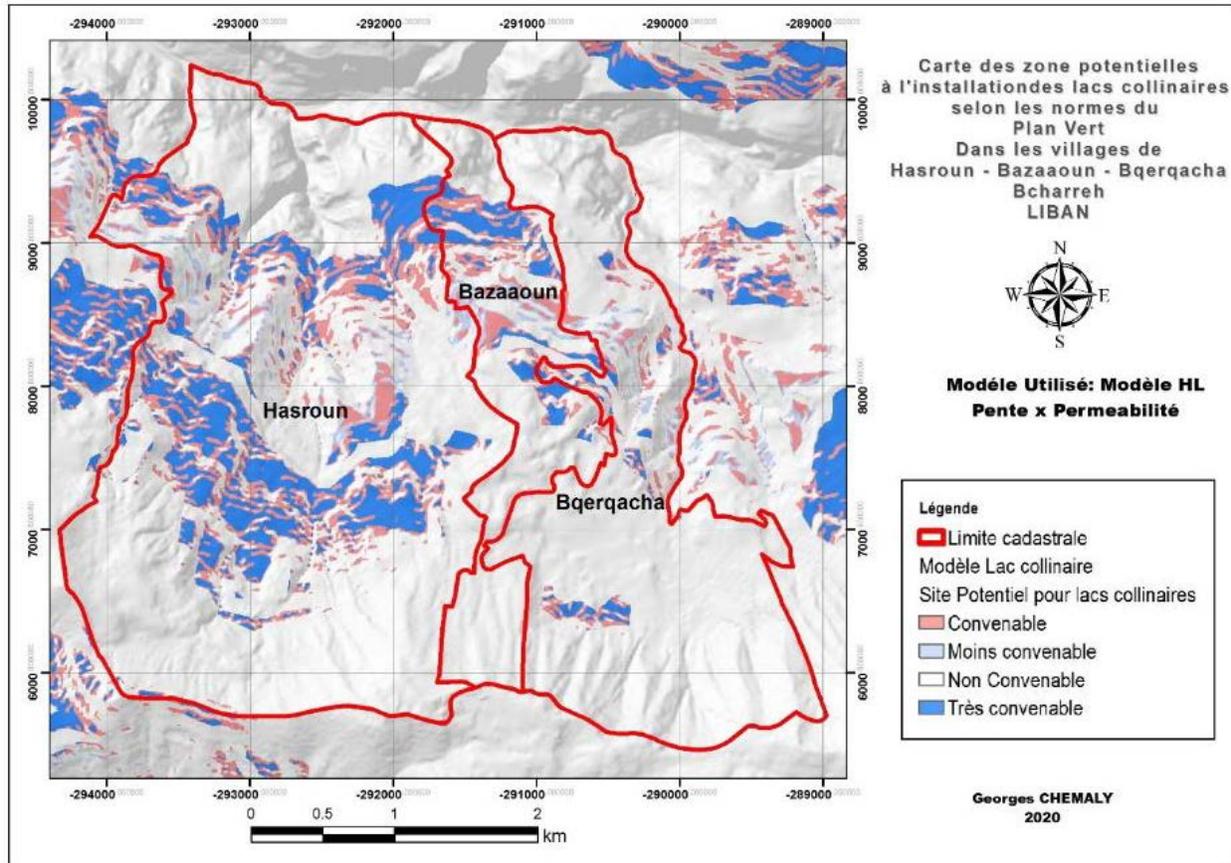


Figure 10 Carte des zones potentielles à l'installation des lacs collinaires (sans géomembrane) selon les normes du Plan vert.

D'après la figure 10, on note que 336 ha (19.6 % de la zone d'étude) sont très convenables à l'installation des lacs collinaires sans géomembrane et selon les normes de Plan Vert.

5.3 Validation sur terrain

Pour repérer ces zones sur le terrain, nous avons déterminé les coordonnées des points qui se trouvent au sud-ouest. Ces coordonnées sont reportées sur une application Android Smart Phone « Mobile Topographer ». Une fois sur le terrain, il s'agit de suivre le protocole de remplissage de la fiche du terrain illustrée dans la Figure 6.

Les informations relatives à chaque point sont présentées dans le tableau des résultats du travail de terrain. Tous les points ont été relativement faciles à atteindre en raison de la présence du réseau de routes agricoles dans la zone d'étude.

Les résultats de validation sur le terrain montrent que toutes les parcelles visitées correspondent bien aux cartes élaborées surtout celle de perméabilité (Figure 11) qui a montré un fort lien entre les lacs que les agriculteurs ont déjà installés et les couches convenables, sauf quelques exceptions à Bqerqacha et à Hassroun (quelques petits lacs installés sur les éboulis du Quaternaire Qe).

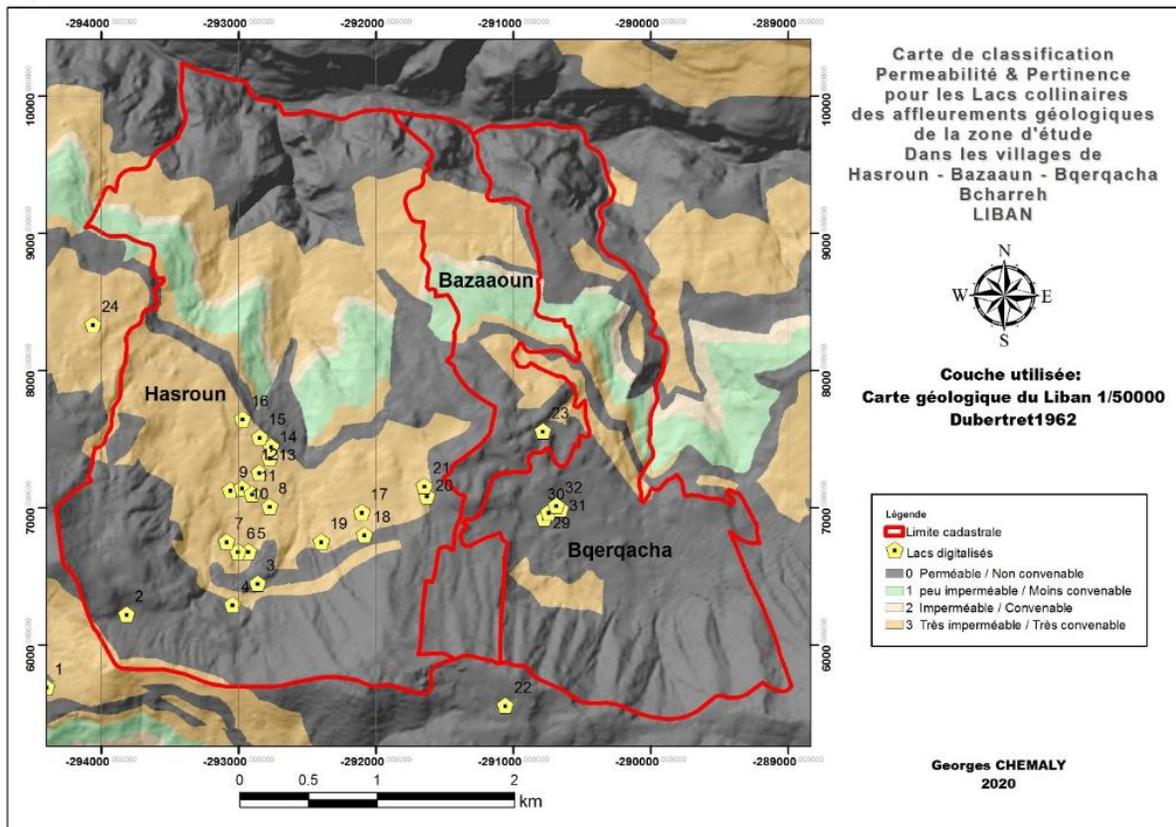


Figure 11 Carte de perméabilité des affleurements géologiques et leurs pertinences à l'installation des lacs collinaires, avec les lacs collinaires existants.

En ce qui suit, la carte des sources d'eau et des cours d'eau (tirés du DEM) a été superposée sur la carte des sites potentiels aux lacs collinaires pour aboutir à la carte 12. Cette dernière montre les ressources hydriques superficielles, qui avec d'autres facteurs physiques et socio-économiques seront des outils importants pour la décision de l'installation d'un lac collinaire.

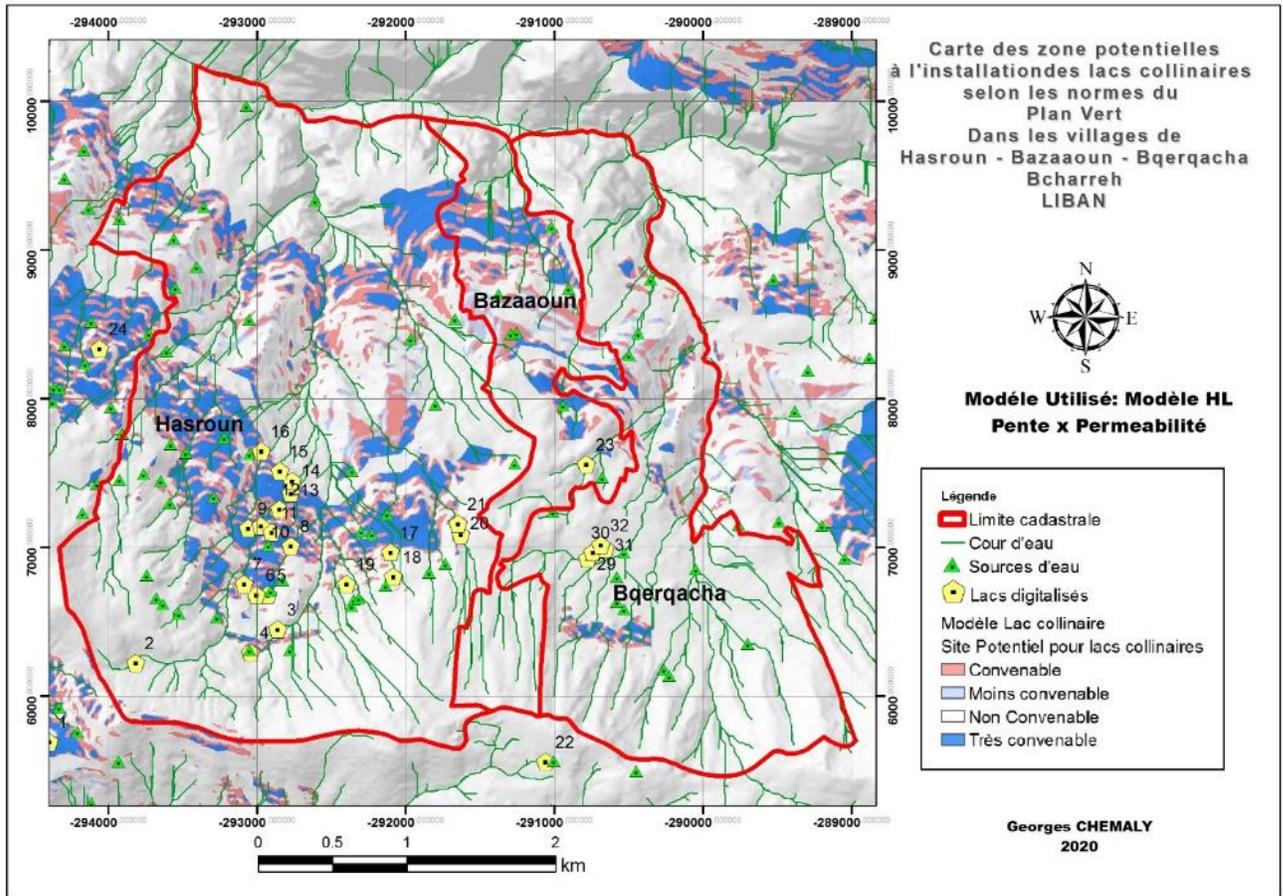


Figure 12: Carte des zones potentielles à l'installation des lacs collinaires dans la zone d'étude montrant les sources d'eau existantes et les cours d'eau.

6 Conclusion

Finally to conclude, the development of research work has unfolded over several months. This study aimed to provide stakeholders with a reliable tool for territory management, a tool for work and decision-making.

As demonstrated, the SIG model as a work tool, characterizes potential sites allowing for the installation of collinear lakes without geomembrane. The model is conceived as a valid, useful, and easily usable model.

The implementation of collinear lakes constitutes a logical continuity of the terrain management for agricultural purposes. Lakes constitute a primary and durable water source for irrigating improved high mountains.

La détermination des parcelles valables à l'implantation raisonnée des lacs collinaires est finalement un besoin pour le Plan Vert.

Pour que le modèle relatif à l'installation des lacs collinaires soit plus efficace, il est préférable de prendre en compte les domaines caractérisant les ressources hydriques de surface. La connaissance des réseaux hydrographiques ainsi que les informations pluviométriques constituent des moyens indispensables pour le bon fonctionnement du modèle. Le modèle issu de cette étude formera une contribution dans cet axe, surtout que le choix d'un site d'un lac collinaire, en plus qu'il est lié à des conditions physiques (pente, perméabilité de site, disponibilité de l'eau de recharge, l'occupation du sol), il est autant relié à des conditions socio-économiques, comme par exemple l'existence d'un groupe d'agriculteurs réclamant l'exploitation des eaux retenues dans le lac pour l'irrigation.

Sur la base des résultats des différentes interprétations, nous exprimons dans cette section une série d'appuis pour le bon fonctionnement du modèle :

- Effectuer des études sur plusieurs pistes qui seront utiles pour bien gérer le sujet des lacs collinaires.
- Etudier le coefficient de ruissellement superficiel et mener des mesures sur le terrain, pour bien évaluer la quantité d'eau valable dans un bassin versant d'un lac prévu.
- Etudier les besoins en eau pour les cultures pour la bonne gestion de l'irrigation.
- Lancer des études sur les lacs existants du point de vue sécurité tout en élaborant un guide d'installation des lacs collinaires concernant les conditions de sécurité.
- Réaliser des conventions entre le plan vert et les facultés d'agronomie et de géographie afin de mener des travaux d'aménagement intégraux.
- Elaborer des textes législatifs pour mettre des normes concernant l'installation des lacs collinaires afin de donner droit à la livraison des licences d'exécution des lacs collinaires.

Références

- **AKKARI, D., (2018).** *Fonctionnement hydrodynamique et géochimique des aquifères karstiques dans le bassin du Nahr el Bared (Liban) et leur vulnérabilité à la pollution (application du modèle RISKE)*. Mémoire de fin d'études. Université Libanaise, Liban. 146 p.

- Awad, S. (2011). *Nahr El Jaouz, Etude de Géographie Physique : Hydrologie et Pollution*, Thèse de doctorat, Université Libanaise, Liban, 313 p.
- Charbel, L., (2012). *Les composantes physiques et géographiques imposant le choix des sites de barrages et leurs faisabilités dans le B.V du N.I*, Thèse de Doctorat, Université Libanaise, Liban, 287 p.
- Comair F., (2005). *Les eaux libanaises entre la perte et l'exploitation*. Maison d'édition, Beyrouth, 319p.
- Direction des Affaires Géographiques de l'Armée Libanaise, (2004). *Cartes topographiques du Liban au 1/20.000*.
- Dubertret, L., (1950). *Carte géologique au 1/50.000*, Feuille Qartaba et Baalbek, notice explicatif, République Libanaise, Min. des travaux publics, Beyrouth, Liban, 38 p.
- El-Hajj A., (2023). *Les lacs collinaires : une solution stratégique et hydropolitique*. L'Orient Le Jour, 11 octobre 2023.
- Green Plan, MOA& FAO, (2019). *Green Plan impact assessment*, Beyrouth, Liban
- Hakim, B., (1985). *Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerranéens Liban, Syrie et Maroc*. Publications de l'Université Libanaise, Beyrouth Liban. 701 p.
- Institut de Recherches Agronomiques – Liban, (2017) ; *données climatiques à Fnaidiq*.
- Ndour, T., (2003). *Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG*. Territoires Numériques.
- IKONOS Satellite Sensor, (2005). *Photos satellitaires du Liban*.
- Khneyzer C. et Donsimoni M., (2016). *Provoquer le contre-exode pour déclencher le développement local : Etude de cas du Caza de Akkar au Liban*. HAL Id: hal-01348025.
- Le Plan Vert, (2019). *Rapport de synthèse sur les activités du Projet Vert de 2010 à 2019*, émis par la Direction Technique du Projet Vert.
- Traboulsi M., (2004). *Les précipitations au Proche-Orient, variabilité spatio-Temporelle et relation avec la dynamique de l'atmosphère (1960-61/1989-90)*, Atelier de Reproduction de thèse, Lille 3, 233 p.
- —————, (2010). *La pluviométrie moyenne annuelle au Liban. Interpolation et cartographie automatique*. Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 2, 2010- 11. pp 11-25

- Youssef F., (2015). *Bilan hydrologique et capacité d'emménagement souterrain dans le bassin versant du Nahr Ibrahim*. Mémoire de fin d'études du Mastère en géographie physique, Université Libanaise. www.earth.google.com; Photos (2017).