

Modélisation de Bonification des Terrains à Hassroun, Bazoun et Bqerqacha (Caza de Bcharreh - Liban) Selon les Normes du Plan Vert – Application SIG

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

Résumé

Pour bien Planifier son travail et connaître le potentiel de terre à bonifier, le Plan Vert, établissement public sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture (Liban), a besoin d'une méthode fiable, facile à appliquer et non couteuse lors de l'utilisation des données disponibles. En effet, le Plan Vert s'intéresse à l'étude pilote pour déterminer les terrains potentiels à la bonification au Liban Nord tout en visant à interpoler les résultats au niveau nationale. Ce projet vient pour élaborer un outil qui sera mis à la disposition du Plan Vert et ce afin de faciliter l'exécution de projets ultérieurs.

La méthodologie adoptée dans cette étude consiste à utiliser les paramètres physiques disponibles au Plan vert pour sélectionner les sites aptes à la bonification dans les villages de Bazoun, Hassroun et Bqerqacha. Ces paramètres sont liés à la pente, à la capacité de rétention de l'eau dans le sol, à l'enrochement, à l'occupation du sol et surtout à la couverture végétale. Le modèle (modèle 1) préparé montre, en s'appuyant sur le Système d'Information Géographique, que 13 % (223 ha) de la superficie totale (1714 ha) sont des zones potentielles à la bonification selon les normes du Plan Vert. La vérification des résultats sur le terrain a révélé la validité du modèle. Un modèle plus simple (modèle 2) a été élaboré aussi en excluant la capacité de rétention de l'eau du sol. Les résultats obtenus avec celui-ci ont montré des valeurs très proches du premier ; ce qui rend plus facile l'application du modèle 2.

Mots clés: Plan Vert, Bonification , Pente , Enrochement , Capacité de rétention, couverture végétale, modèle numérique.

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

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

*** Ingénieur au Ministère de l'Agriculture, Liban - adjoint au Plan Vert,

Introduction

Le Plan vert constitue une administration publique libanaise caractérisée par une indépendance financière et administrative, soumise à la tutelle du Ministère de l'Agriculture. Il fait partie intégrante des quatre directions générales qui composent le Ministère : 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 les travaux complémentaires, comme au niveau de l'infrastructure agricole destinée pour des groupements d'agriculteurs sous la tutelle des municipalités (lacs collinaires et routes agricoles). Pour la planification du travail et la détermination du potentiel des terrains à être bonifiés, cette étude cherche l'élaboration d'un modèle numérique qui utilisera des données simples, valables et disponibles au sein de la direction du Plan vert. Ces informations élaborées seront une partie importante pour établir un plan directeur d'une région concernant la bonification des terrains. Le but sera d'améliorer le niveau de vie des villageois et donc de diminuer le phénomène d'exode rurale. La méthode élaborée dans le cadre de cette étude peut être interpolée pour être utilisée à l'échelle d'une grande région et ou même à l'échelle nationale.

Le Système d'Informations Géographiques (SIG) paraît un outil indispensable pour analyser les données obtenues et exécuter la superposition des cartes revenant à chaque paramètre étudié.

1 Cadre physique

Le secteur d'étude qui est formé des cadastres de Hassroun – Bazoun – Bqerqacha (Figure1), se situe dans la haute montagne du Caza de Bcharreh-Liban Nord et occupe une superficie de 17.2.km² dont la couverture végétale est non négligeable mais montre des terrains aptes à la bonification surtout si un service public comme le Plan Vert encourage les paysans à le faire. Ce secteur s'installe entre les latitudes Nord 34.2324° et 34.2468° et les longitudes Est 35.9748° et 36.0036°.

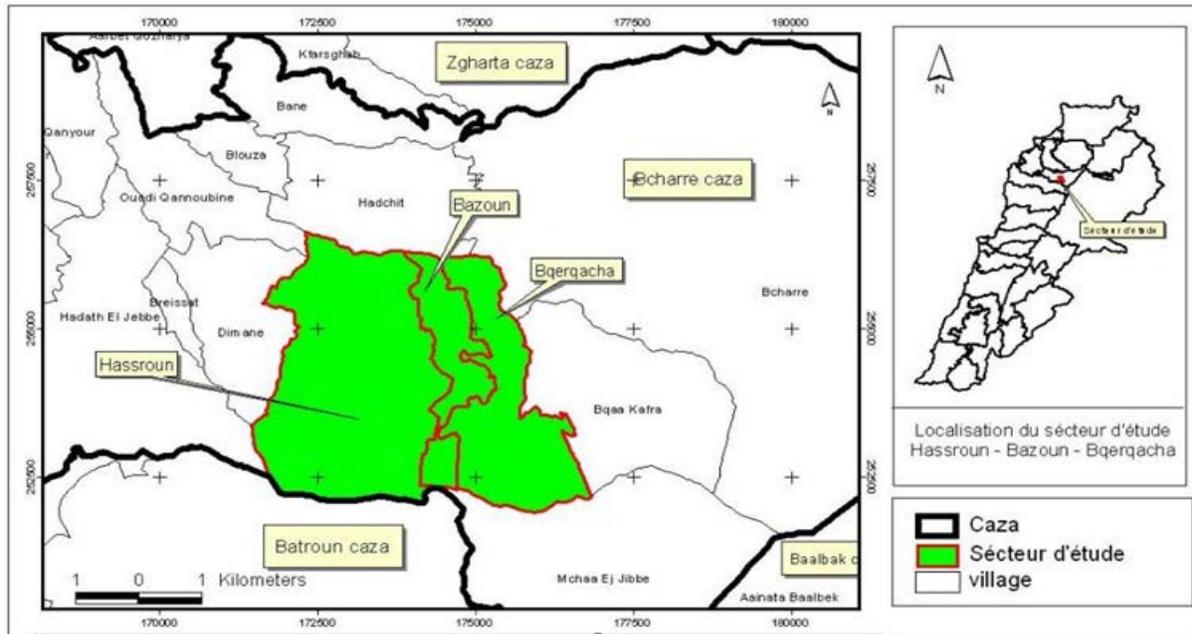


Figure 1 situation du secteur d'étude

2 Géologie

La plus grande étendue des affleurements géologiques appartient au crétacé et au Jurassique (Tableau 1 ; Figure 2). Du fait de leur nature, ces terrains karstifiés et perméables laissent facilement infiltrer les précipitations à travers les fissures, les gouffres et les avens dans les couches calcaires (Hakim. 1985). Ces affleurements ne sont, donc, pas convenables à l'implantation des grands lacs (Hakim, 1985). Aussi, cette géologie diversifiée et tectonisée rend-elle le choix des terrains à aménager (installation des lacs collinaires et bonification) une tâche compliquée.

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

Code	Epoque	Description
O _i	Ouatenaire	Terre arable
O _e	Ouatenaire	Eboulis
C ₄	Cénomarien	Calcaires du Sannine: Calcaires et calcaires marneux
C ₃	Albien	Marnes verte et bancs calcaires alternant
BC _{2b}	Aptien	Basaltes de l'aptien supérieur
C _{2b}	Aptien	Falaise de Blanche: Calcaire récifal gris claire
C _{2a}	Aptien	Grès argileux, argiles, calcaires détritiques ocres.
C ₁	Base du	Grès du Liban: grès quartzeux rose, généralement
BJ ₆	Jurassique	Terrain volcanique basaltique du jurassique terminal
J ₆	Jurassique	Calcaires grises, fins et ocre, se dressant en falaise au-
J ₅	Jurassique	Terrain volcanique basaltique
J ₄	Jurassique	Partie des calcaires sous jacente au terrains volcaniques

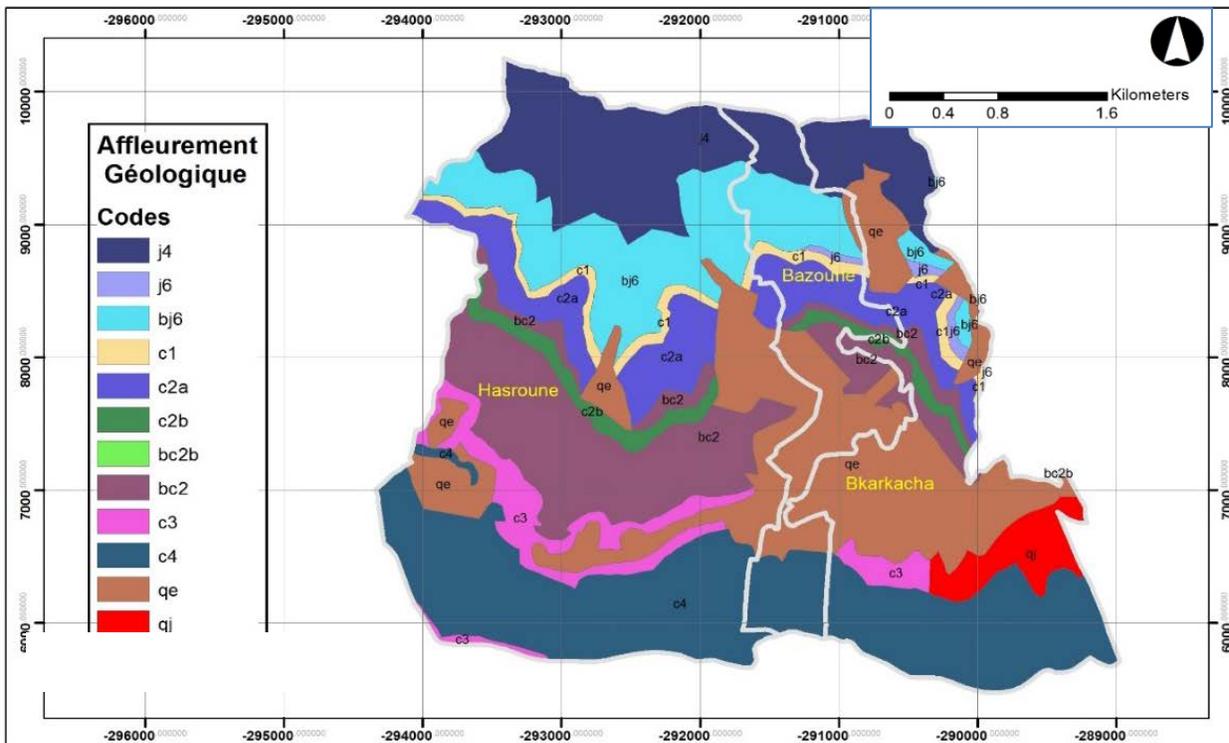


Figure 2 Affleurements géologiques dans la zone d'étude. (Source Dubertret, 1950).

3 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, 2010). 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.

La plus grande étendue de la région d'étude reçoit des précipitations entre 1000 mm et 1300 mm/an (Figure 3). Ces eaux aggravent les conséquences des crues sans oublier leurs effets sur l'érosion. De ce fait, la bonification des terrains se voit comme un investissement durable en présence de ressources hydriques qui serviront comme eau d'irrigation.

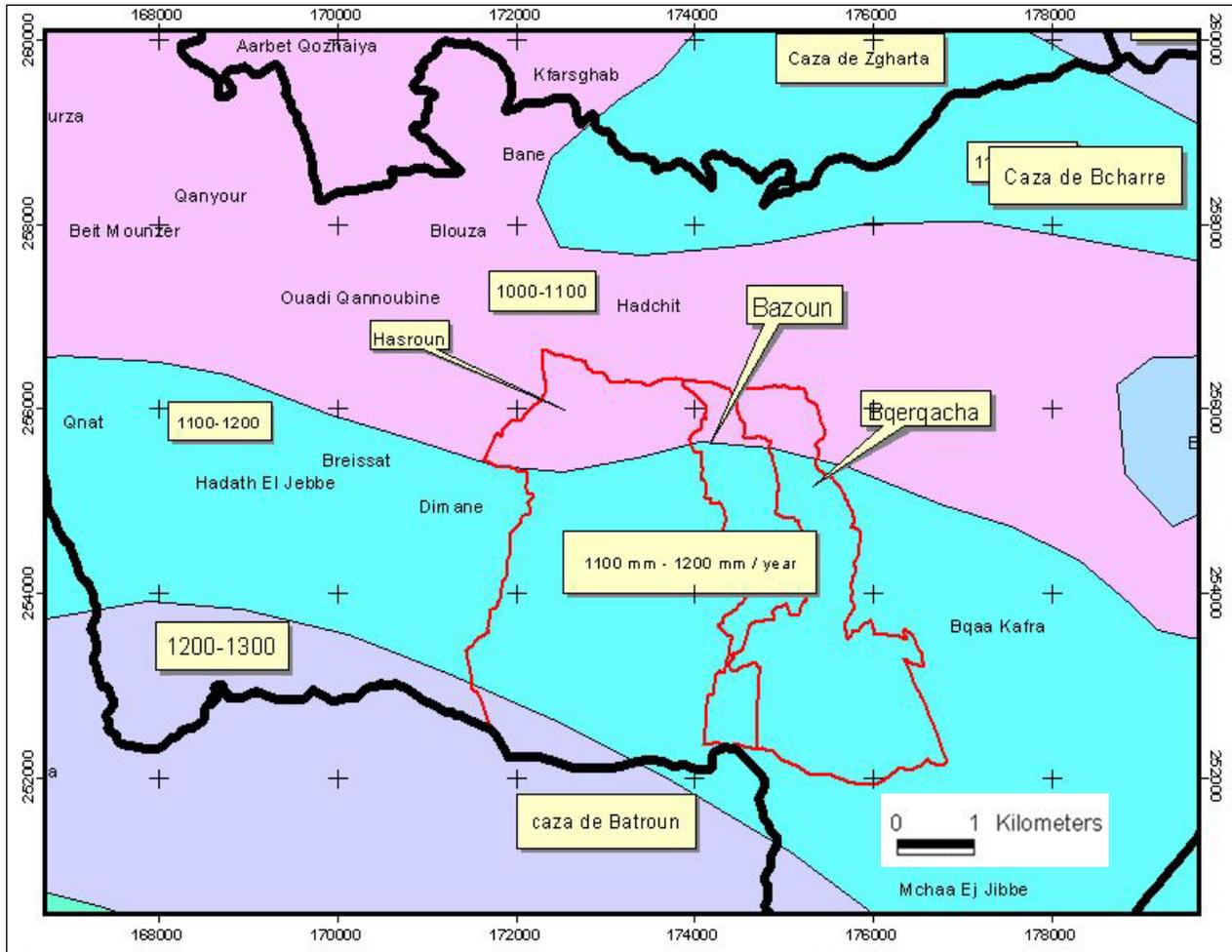


Figure 3 Pluviométrie dans la zone d'étude. (Source Traboulsi, 2010).

Les relevés de température des années 2011 - 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'août (Figure 4). En effet, la température relativement élevée au printemps et en été est favorable au développement des cultures maraîchères.

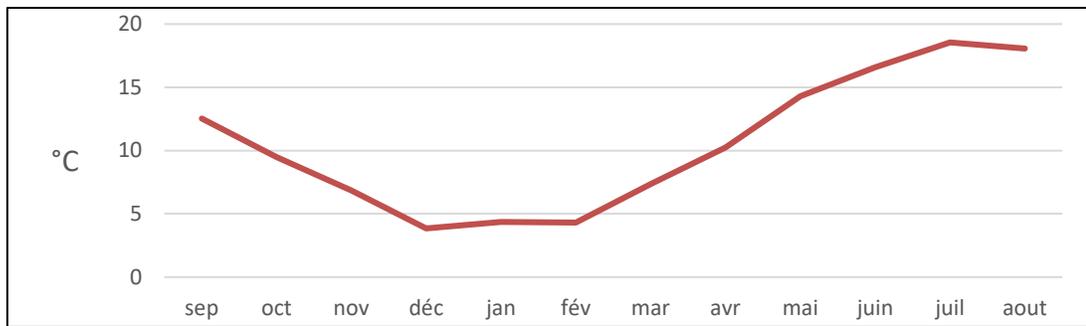


Figure 4 Température mensuelle moyenne enregistrée à la station de Fnaideq de 2011 à 2016. (Source Institut de Recherches Agronomiques – Liban, 2107).

4 Normes du Plant Vert pour la bonification des sols

Le Plan vert offre une subvention pour chaque Dounom (1000 m²) de terre apte à être bonifié, à condition que la superficie minimum soit 1500 m² pour les propriétaires et 3000 m² pour les locataires. Cette prime est classée selon un barème mis par le Plan Vert, lié à la pente du terrain et au pourcentage de l'enrochement (Plan Vert, 2006).

La bonification des terrains selon les conditions du Plan vert n'est pas possible pour les terrains dont la pente dépasse 40 %, et le niveau de l'enrochement s'élève à plus que 60 %. Cette marge sera adoptée dans la présente étude. Les banquettes sont utilisées surtout pour les travaux de reboisement. La démarche a besoin d'un accord primordial spécial de la direction.

5 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 taille du territoire, reste un investissement humain important. Le présent document essaie d'élaborer un modèle basé sur le prélèvement des données couvrant l'ensemble de la région d'étude.

5.1 Création de bases de données SIG

Des cartes de base et des images satellitaires ont été utilisées pour la préparation des cartes SIG et des ensembles de données nécessaires à l'analyse hydrologique et pédologique :

- La numérisation des points d'élévation et des courbes de niveau (10 m) à partir des cartes topographiques (O8 et O7) à l'échelle 1/20000 (Direction des Affaires Géographiques, DAG, 1965) est traduite 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 des pentes et d'altitude.
- La texture et la profondeur du sol constituent les données indispensables pour la détermination de la capacité de rétention en eau du sol. Ces données sont issues de la carte du sol du Liban au 1/50000 (Darwich et al., 2006). De même, d'après cette carte, la classe des falaises rocheuses a été identifiée.
- Les images satellites (GeoEyes 2012) sont utilisées pour numériser et mettre à jour les emplacements des lacs collinaires existants.
- La carte de l'occupation et de l'utilisation des sols (Land Cover / Land Use Map, LCLU) issues des images IKONOS (2005) est utilisée pour classer les sols selon le potentiel à la bonification.

5.2 Critères et potentiels pour la bonification des terrains

Les critères désignés pour la préparation du modèle se résument comme suit :

- **Pente** : Les pentes faibles inférieures à 20 % constituent, selon les normes du Plan Vert, les terrains privilégiés à la bonification, car ils nécessitent moins de travail pour le nivellement (Plan Vert, 2006). Les pentes inférieures à 20 % sont en fait plus faciles pour l'accès des machines et moins coûteuses pour les agriculteurs car elles ne nécessitent pas la construction des murs de soutènements élevés. Cependant, les terrains avec des pentes supérieures à 20% sont moins favorisés par le Plan Vert, puisqu'ils se caractérisent généralement par une topographie accidentée et nécessitent des murs de soutènement en pierre relativement coûteux. Les murs construits par le Plan Vert sont en pierre sèche et ne dépassent jamais les 2 mètres de hauteur (sauf pour quelques exceptions). Les activités de bonification de terres dans les zones dont les pentes dépassent les 40 % ne sont pas permises et ne bénéficient d'aucune allocation de la part du Plan Vert.

Le « Digital Elevation Model, DEM » est généré des courbes de niveau (10 m) et les points d'élévations qui sont issues des cartes topographiques préparées par la Direction des Affaires Géographiques (1965) dans l'Armée Libanaise. Le logiciel Arc Toolbox (fonction

« topo to raster ») est utilisé afin d'élaborer le DEM avec dimension des cellules 5 m x 5 m.

Le tableau 2 montre les différentes classes de pente utilisées dans le modèle comme couche (layer) raster pour classer les pentes en fonction de leurs pertinences à la bonification des terrains. Les valeurs de pente variant de 0 à 10%, sont les plus élevées (4) et sont classées comme « très convenable » aux activités de bonification du sol ; les pentes dont la valeur est supérieure à 40% ne sont pas recommandées aux activités de bonification et prennent la valeur (0). Cette classification est aussi basée sur l'expérience acquise par les ingénieurs du Plan Vert.

Tableau 2 Classification des pentes utilisées dans le modèle relatif à la bonification des terrains

Pente (%)	Valeur de la classe	Classe de pertinence à la bonification
0-10	4	Très convenable
11 - 20	3	Convenable
21-30	2	Moyennement Convenable
31-40	1	Moins convenable
> 40	0	Non convenable

-

- **Capacité de rétention en eau du sol :** est une caractéristique agronomique très importante. Les sols qui montrent une capacité de rétention élevée ont un potentiel agronomique considérable. En effet, un sol avec une capacité de rétention d'eau limitée (sol limono-sableux) atteint le point de saturation beaucoup plus tôt qu'un sol avec une capacité de rétention d'eau plus élevée (sol limono-argileux). La capacité de rétention d'eau du sol est contrôlée principalement par sa texture.

Dans ce cas, on s'est basé sur la carte des sols du Liban à l'échelle 1:50.000 (Darwish, 2006) et son manuel pour le calcul des valeurs de capacité de rétention d'eau (Soil Water Holding Capacity, SWHC). Une nouvelle carte (couche) de base de données pour la texture du sol a été créée en prenant les valeurs des différents pourcentages des particules du sol : sable, limon et argile. A partir des résultats d'analyse des échantillons du sol, des polygones ont été développés à l'aide du triangle de texture du sol. Le calculateur de feuille de données Excel a été utilisé pour calculer les différentes valeurs de texture pour chaque polygone de sol dans la zone d'étude. À partir des valeurs de texture du sol, la capacité au champ (Field

Capacity) et le point de flétrissement permanent (Permanent Welting Point) ont été déterminés à l'aide du « Calculateur des Propriétés Permanentes Hydrauliques ».

La capacité au champ est définie comme la teneur en eau lorsque le sol est saturé mais pas encore débordant. Le point de flétrissement permanent est le niveau d'eau auquel l'eau restant dans le sol est maintenue si étroitement par capillarité qu'elle n'est pas disponible pour les plantes. L'eau totale disponible (Total Available Water TAW) est calculée en soustrayant la valeur de points de flétrissement permanent de la capacité du champ :

$$TAW = FC - PWP \text{ en (unité eau / unité sol)}$$

La capacité de rétention en eau (SWHC) est calculée pour chaque polygone à l'aide de la base de données de la carte des sols en multipliant l'eau totale disponible (TAW) par la profondeur du sol (Soil Depth, SD) pour chaque polygone :

$$SWHC \text{ (mm d'eau)} = TAW \times SD$$

Pour la zone d'étude, les valeurs de la capacité de rétention en eau variaient de zéro pour les polygones de falaise rocheuse (cliff) à 289 mm pour les textures des sols Argilo- sablo-limoneux. Toutes ces valeurs ont été reclassées (Tableau 3).

Tableau 2 Classification de la capacité de rétention en eau du sol pour la bonification du terrain.

SWHC	Valeur de chaque classe	Classes SWHC
0 (pour la classe falaise rocheuse)	0	Non convenable
0 - 100	1	Moins convenable
101 - 180	2	Moyennement convenable
181 - 200	3	Convenable
Plus que 201	4	Très convenable

Les diverses cartes (couches) préparées ont été analysées par le biais du logiciel ArcMap (Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator).

5.3 Vérification sur le terrain

Après avoir produit les cartes des sites aptes à la bonification, un travail de terrain a été effectué sur 20 parcelles (100 m x 100 m chacune) réparties au hasard dans la zone d'étude. Si le tirage au sort est tombé sur un point non accessible, un point voisin accessible a été choisi.

Le pourcentage de la superficie vérifiée est de 1.16 % de la superficie totale. Le processus de travail sur le terrain vise également à accumuler un relevé photographique des 20 parcelles (Figure 5).

La fonction principale du travail de validation sur le terrain est d'identifier les caractéristiques clés qui contribuent à valider les données existantes et recueillir des informations sur chaque parcelle

en particulier le degré de pertinence à la bonification des terrains. Le processus de validation consiste à visiter chaque parcelle afin de :

- 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.

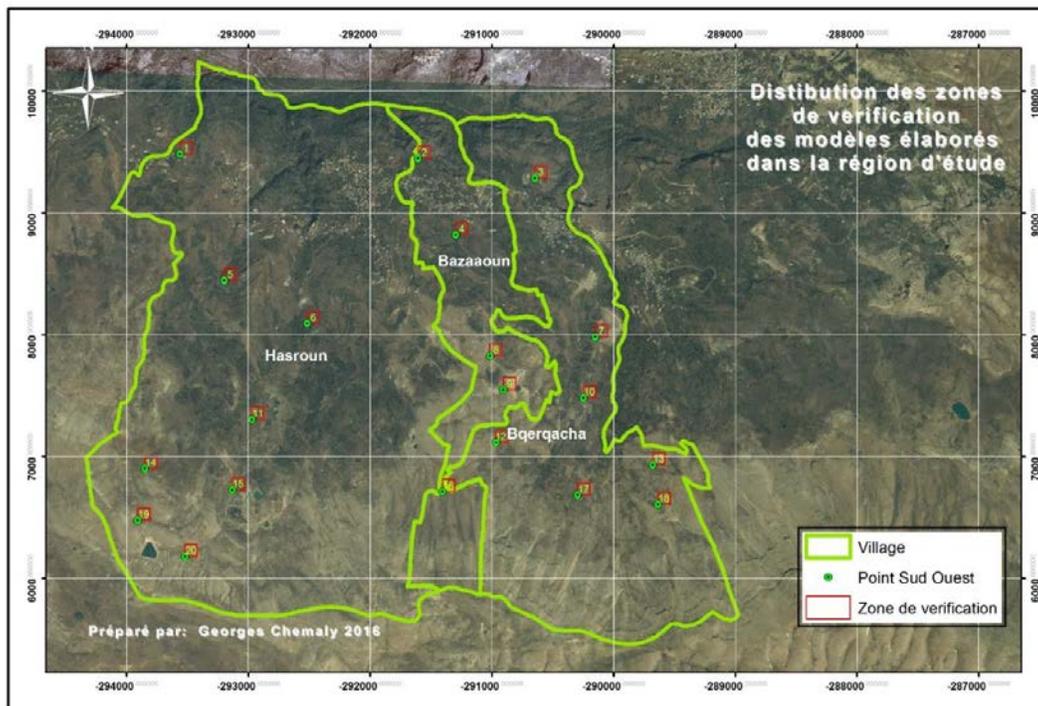


Figure 5 Localisation des 20 parcelles de vérification sur le terrain

De même, pour bien faciliter le travail du terrain, et vue que les images satellitaires utilisées datent de 2005, (justification de l'utilisation de ces images ultérieurement), des images issues du programme Google Earth ont été produites pour les vingt 20 parcelles afin de faciliter leurs localisations. L'application mobile «Copilot» utilisant les coordonnées WGS84 en plus que Google Maps sur « Smart phone », ont été utilisées pour parcourir la zone d'étude et atteindre les parcelles sélectionnées. Les objectifs du travail du terrain sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 Objectifs du travail du terrain

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

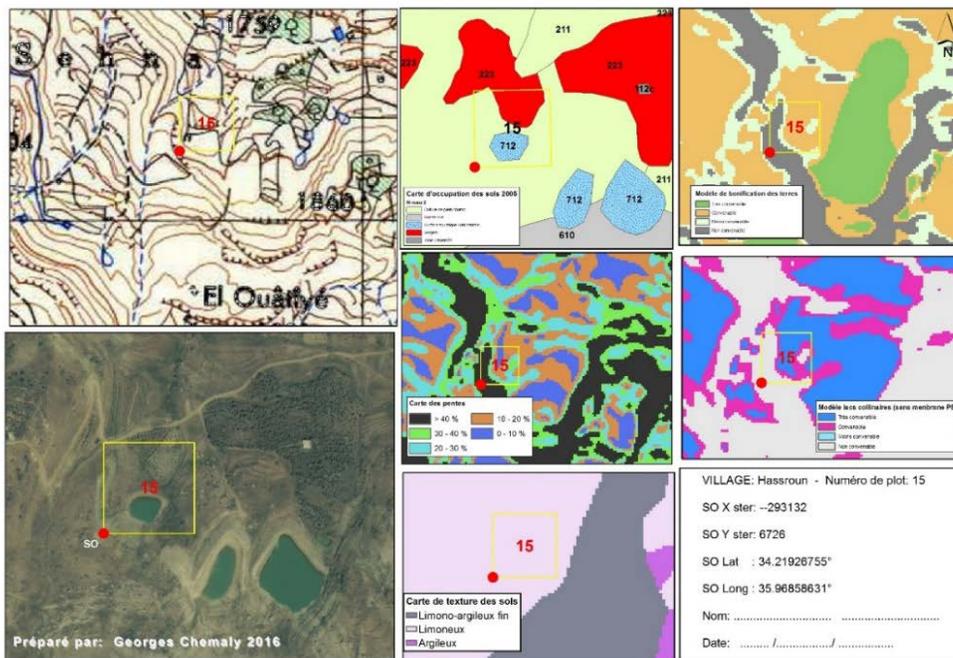


Figure 6 Fiches d'évaluation sur le terrain.

6 Résultats et discussions

Le Raster de pente a été exposé en pourcentage et une valeur de pertinence a été attribuée à chaque Raster selon la classification de pente relative à la bonification des sols mentionnée ci-dessus (Figure 7). De même, la carte de la capacité de rétention en eau SWHC pour la zone d'étude a été produite (Figure 8).

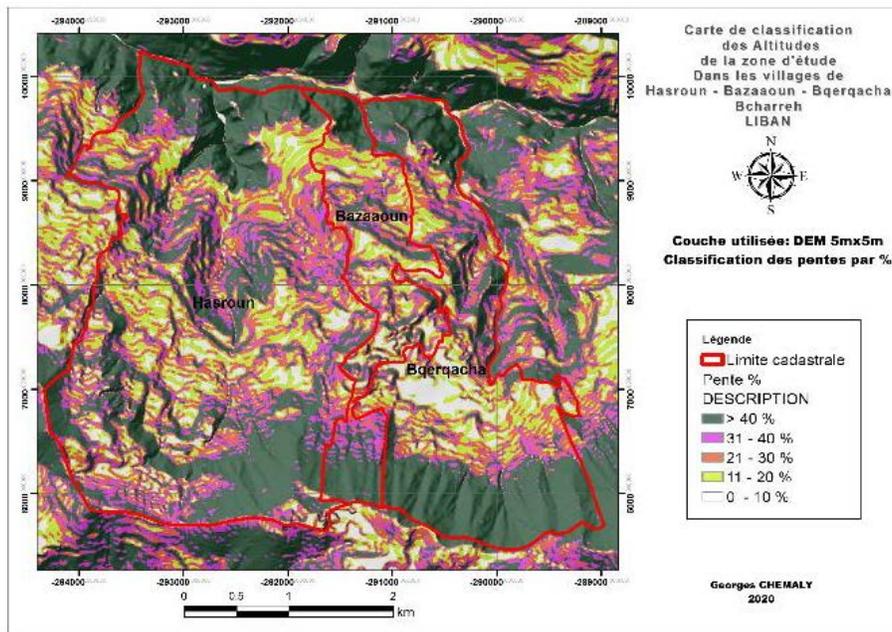


Figure 7 Carte de la classification des pentes dans la région d'étude.

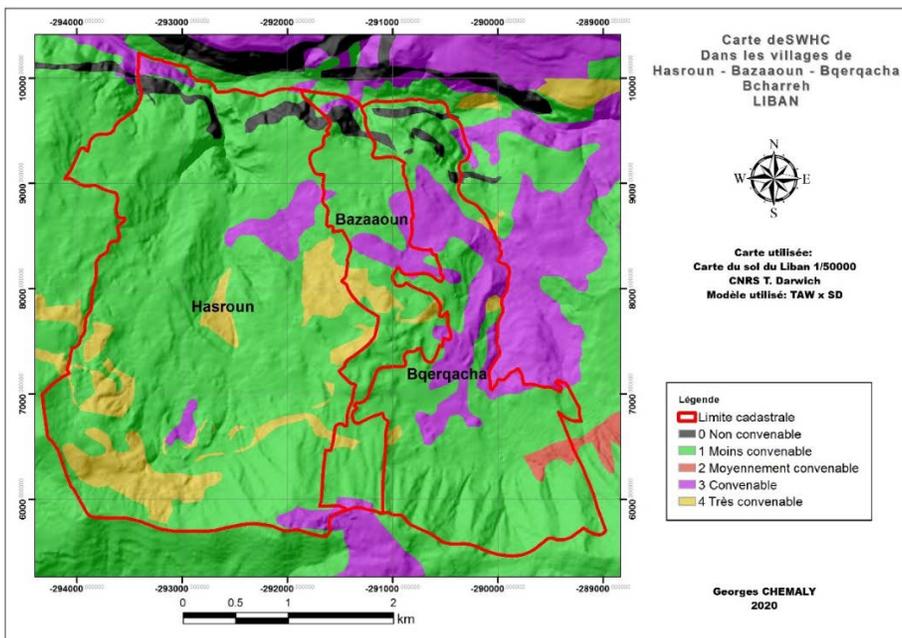


Figure 8 Carte de de la capacité de rétention en eau du sol (SWHC) dans la zone d'étude.

6.1 Elaboration du modèle pour les zones aptes à la bonification

Chaque cellule des cartes Raster classifiées possède un chiffre relatif à sa convenance pour la bonification des sols. Les couches de cartes utilisées dans le calcul sont la carte de pentes et la carte de la capacité de rétention en eau du sol (SWHC). Le schéma de la figure 9 ci-dessous en résume le principe.

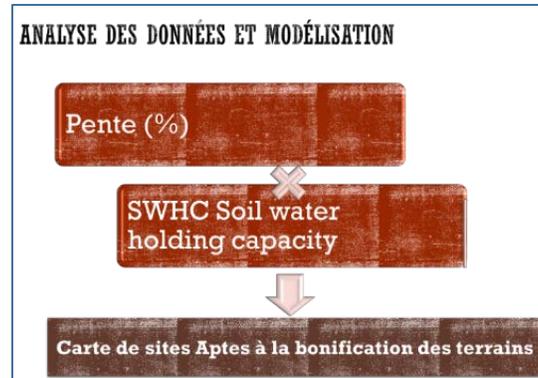


Figure 9 Processus de la préparation de la carte des zones aptes à la bonification.

Le résultat obtenu est un fichier Raster ayant des cellules qui portent un poids permettant la classification des aptitudes à la bonification, et le tirage de la carte pour les zones aptes à la bonification. Le travail est fait sur quatre cartes dont la valeur de chaque cellule varie comme expliquer ci-dessous :

- La carte de pentes : les valeurs possibles de chaque cellule varient entre 0, 1, 2,3 et 4.
- La carte de la capacité de rétention en eau du sol (SWHC) : les valeurs possibles de chaque cellule vont de 0, 1, 2,3 jusqu'au 4.

La valeur finale possible de chaque cellule sera un chiffre allant de 0 à 16, et la classification de ces cellules a été faite comme le montre le tableau 5 et le résultat fera une carte des zones aptes à la bonification des terrains de la zone d'étude selon les normes du Plan Vert (figure 10).

Tableau 5 Valeurs attribués à chaque cellule du produit des cartes Pente par SWHC

Valeur	Classes	Pertinence
0	0	Non convenable
1	1	Moins convenable
2,3 and 4	2	Convenable
6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16	3	Très convenable

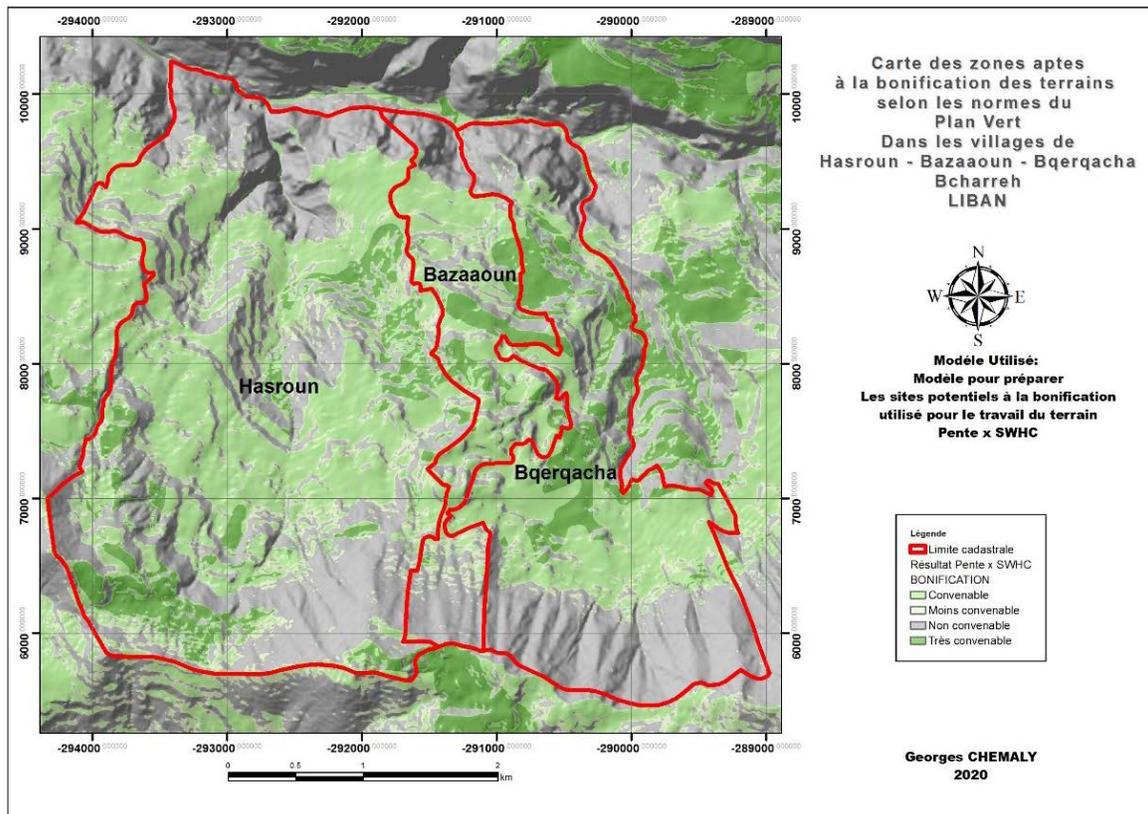


Figure 10 Zones aptes à la bonification des terrains de la zone d'étude selon les normes du Plan vert.

Les résultats de la carte de la figure 10 sont résumés dans le tableau 6. Les résultats des données de validation sur le terrain montrent que 96 % des parcelles visitées correspondent bien aux cartes élaborées à partir du modèle des zones potentielles de bonification. La carte de LCLU est valable à 88% mais seulement dans 3 cas, plots 2, 6 et 17 l'erreur du LCLU pourra tromper le calcul du modèle de 10 % seulement. L'impact de ce point sera expliqué dans la partie recommandation.

Tableau 6 : Classification d'aptitude des terrains de la zone d'étude à la bonification selon les normes du Plan vert.

Classes (aptés à la bonification des terrains)	Superficie potentielle	% de la
Non disponible à la bonification	750	43.8
Disponible / Moins convenable à la	182	10.6
Disponible / Convenable à la bonification	615	35.9
Disponible / Très Convenable à la	167	9.7
Total disponible à la bonification des	964	56.2
Total	1714	100

En plus des critères déjà décrits (pente et SWHC), la délimitation de la zone de bonification des terres prend en compte les éléments suivants : l'altitude et l'utilisation des terres.

6.1.1 Elimination des zones de hautes altitude

Il a été décidé dans le cadre de cette étude, de limiter l'altitude maximale pour la bonification du sol au niveau 2000 m dans le but de prévenir la problématique se rapportant à la rentabilité des cultures au-delà de 2000m d'altitude. Le DEM de la zone d'étude est utilisé pour éliminer les altitudes au-dessus de 2000 m. La figure 11 montre cette classification du terrain selon les altitudes.

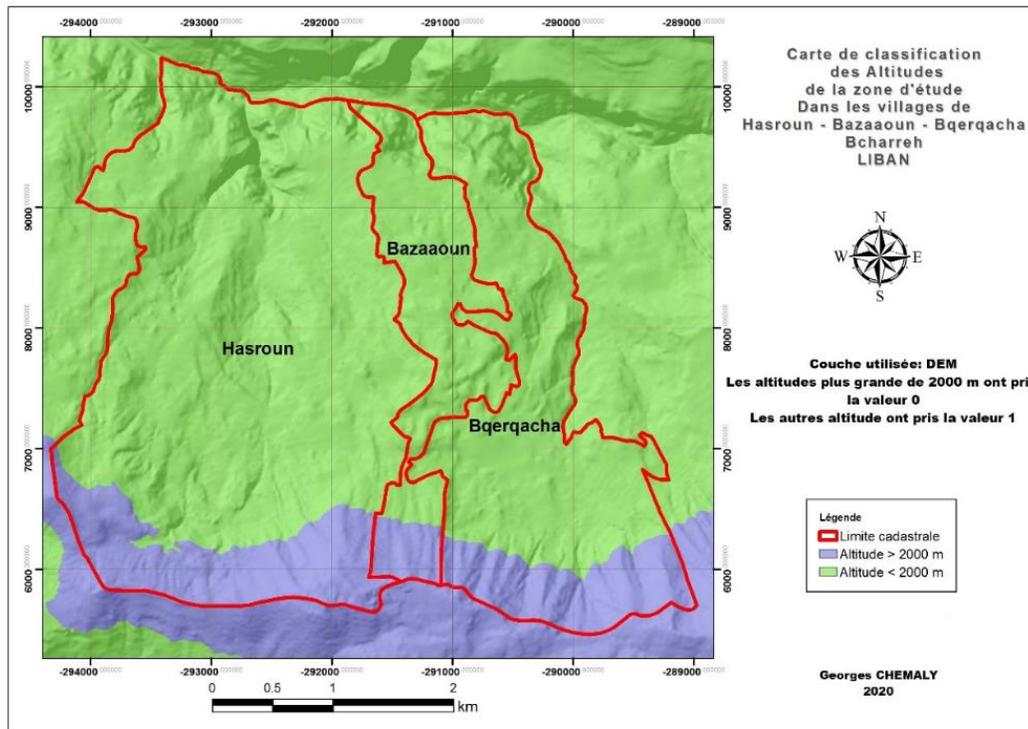


Figure 11 Carte de la classification des altitudes de la zone d'étude

6.1.2 Classification de la carte d'utilisation des sols.

La Carte du Mode d'occupation du sol (échelle 1/2000) basée sur les images satellites « Ikonos de 2005 » traitée au Ministère de l'agriculture –, F.A.O. et le C.N.R.S (2010) a été utilisée pour diverses raisons qui se résument comme suit :

- La disponibilité de cette carte sous forme digitale en « Shape file ».
- La carte est mise à jour et porte plus de détails.
- Les images de 2005 ont une résolution de 1 m, ce qui aboutit à préparer une Carte de Mode d'Occupation du Sol « MOS » ou couramment appelée Land Cover land Use Map « LCLU ». Dans cette étude, toutes les cartes MOS utilisées ont été nommées LCLU.

Les classes de la carte LCLU 2010 concernant l'occupation du sol par des forêts denses, cultures, zones urbaines et routes ont été exclues. Après avoir bien révisé la classe « roche nue », il a été considéré qu'il faut bien garder cette classe, car souvent les classes roches nues digitalisées dans ces cartes ont souvent un pourcentage de roche moins que 60 %, le seuil autorisé par le Plan Vert. Seulement la classe falaise a été exclue de la carte concernant le critère sol.

La carte présentée dans la figure 12 montrant la classification faite pour la zone d'étude et le fichier « Raster » (taille de cellule 5m x 5m) a été utilisée dans l'élaboration de la carte des sites potentiels à la bonification. La classe de bonification ayant la valeur 0 sera éliminée du calcul dans le modèle, tandis que les classes de bonification ayant la valeur 1 seront prises en considération.

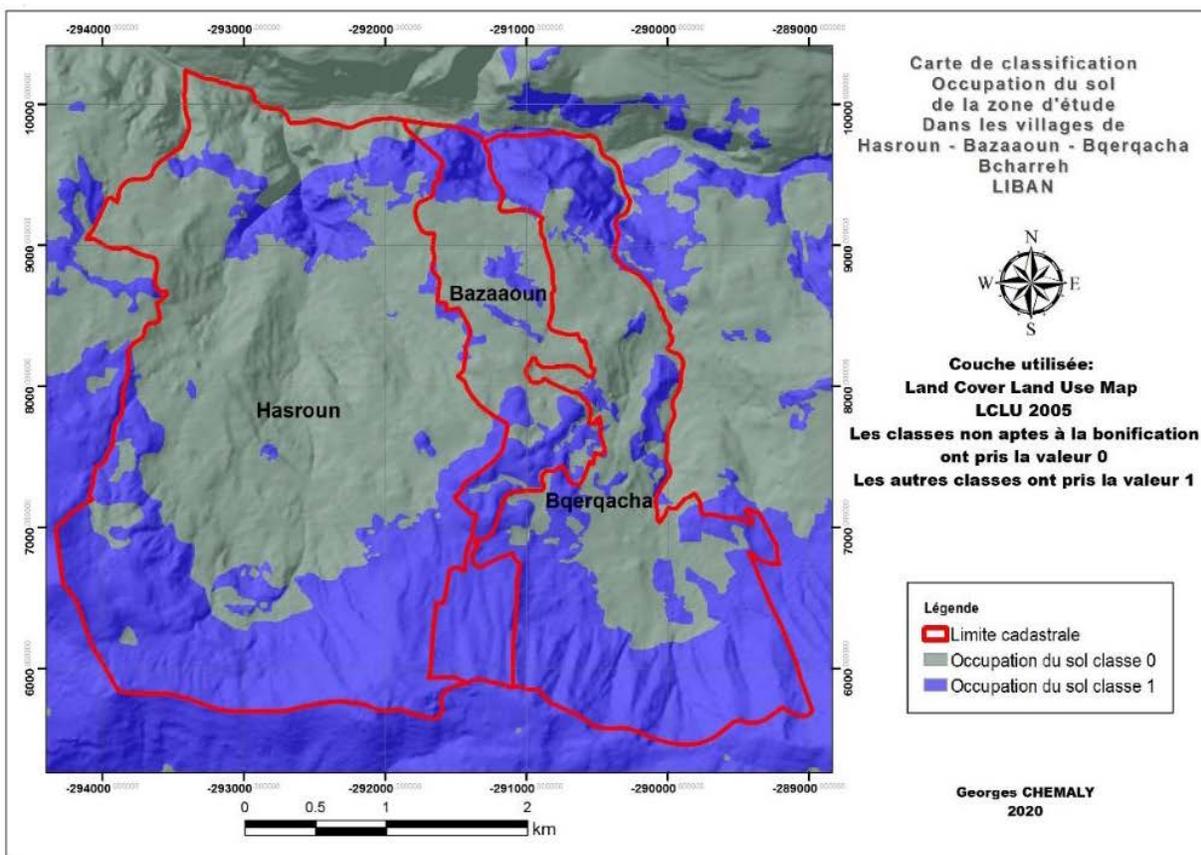


Figure 12 Classification de l'occupation du sol de la zone d'étude.

Le tableau 6 résume la couverture du sol de la zone d'étude avec les codes attribués pour chaque classe. Une nouvelle classe a été ajoutée et nommée classe de bonification.

Tableau 3 Classification concernant le modèle de bonification selon le type d'occupation de sol de la zone d'étude.

LEVEL4	Description	Superficie en m ²	Classe bonification
112a	Tissu urbain moyennement dense	356,822	0
112c	Tissu urbain peu dense	48,390	0
211	Culture de plein champ en grande surface	2,614,384	0
212	Culture de plein champ en petites surfaces ou terrasses	673,718	0
220/112c	Mitage urbain sur verger	72,895	0
221	Oliviers	298,358	0
223	Arbres fruitiers à feuilles caduques	4,339,328	0
310/112c	Mitage urbain sur forêt dense	9,842	0
311d	Forêt de sapin dense (Abies ciliica)	677,257	0
312b	Autre type de forêt dense (platane, peuplier, saule)	37,684	0
320/112c	Mitage urbain sur forêt clairsemée	27,229	0
322a	Forêt de chênes clairsemés	1,017,734	0
712	Lac collinaire	34,070	0
722	Réservoirs d'eau	189	0
Sous total		10,207,900	
% du total		60	
131	Extraction de matériaux (carrière)	30,016	1
210/112c	Mitage urbain sur culture de plein champ	27,103	1
213	Terres agricoles abandonnées	71,768	1
331	Végétation arbustive	9,334	1
332	Végétation arbustive (avec arbres dispersés)	384,874	1
410	Végétation herbacée moyennement dense	441,330	1
420	Végétation herbacée clairsemée	135,361	1
610	Roche nue	5,833,196	1
Sous total		6,932,982	
% du total		40	
Total		17,140,882	

6.1.3 Production de la carte relative à la bonification

Les diverses cartes (couches) préparées ont été introduites dans le programme ArcMap (Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator). Chaque cellule des cartes Raster classifiées et utilisées possède un chiffre (qui correspond à un poids) relatif à sa concordance pour la bonification des terrains (étape déjà expliquée). Les couches de cartes utilisées dans le calcul sont :

- La carte de pentes (4 classes : 0, 1, 2, 3 et 4)
- La carte du sol (SWHC) (4 classes :0, 1, 2, 3 et 4)
- La carte LCLU (2 classes : 0 et 1)
- La carte d'altitude pour éliminer les altitudes plus que 2000 m (2 classes :0 et1).

La figure 13 en résume le processus du traitement de la superposition des différentes cartes. Le résultat obtenu est un fichier Raster ayant des cellules qui portent un poids permettant de les

classifier selon leurs aptitudes à la bonification. La taille de chaque cellule est 5m x 5m vue que cette dimension est la même pour tous les fichiers Raster utilisés dans le modèle.

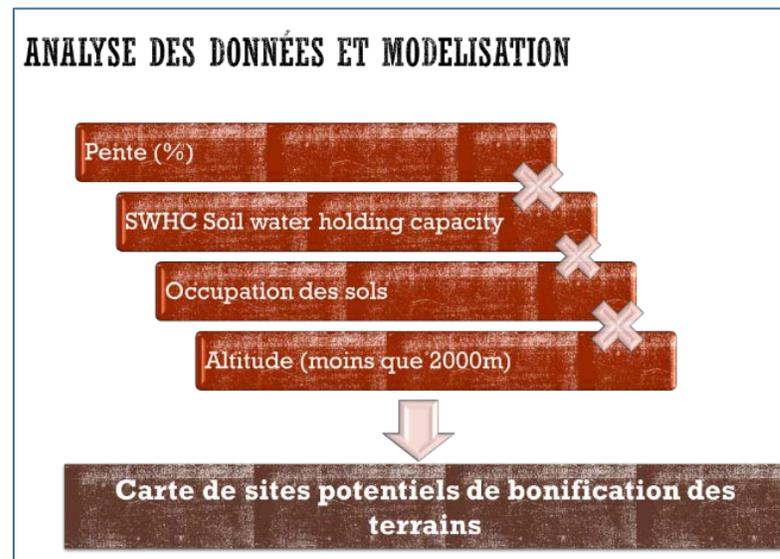


Figure 2 Schéma présentant les étapes de modélisation pour reproduire la carte des sites potentiels à la bonification.

La valeur possible pour chaque cellule sera un chiffre allant de 0 à 16, et leur classification a été faite comme l'illustre le tableau 7.

Tableau 4 Valeur possible pour chaque cellule du fichier Raster pour classier les sites potentiels et disponibles pour la bonification

Valeur	Classes	Pertinence à la bonification
0	0	Non convenable
1	1	Moins convenable
2,3 et 4	2	Convenable
6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 et 16	3	Très convenable

La carte présentée dans la figure 14 montre les zones potentielles et disponibles à la bonification selon les normes du Plan vert. Dans ce qui suit, le modèle de bonification sera appelé Modèle 1 de bonification, car un deuxième modèle sera expliqué ultérieurement.

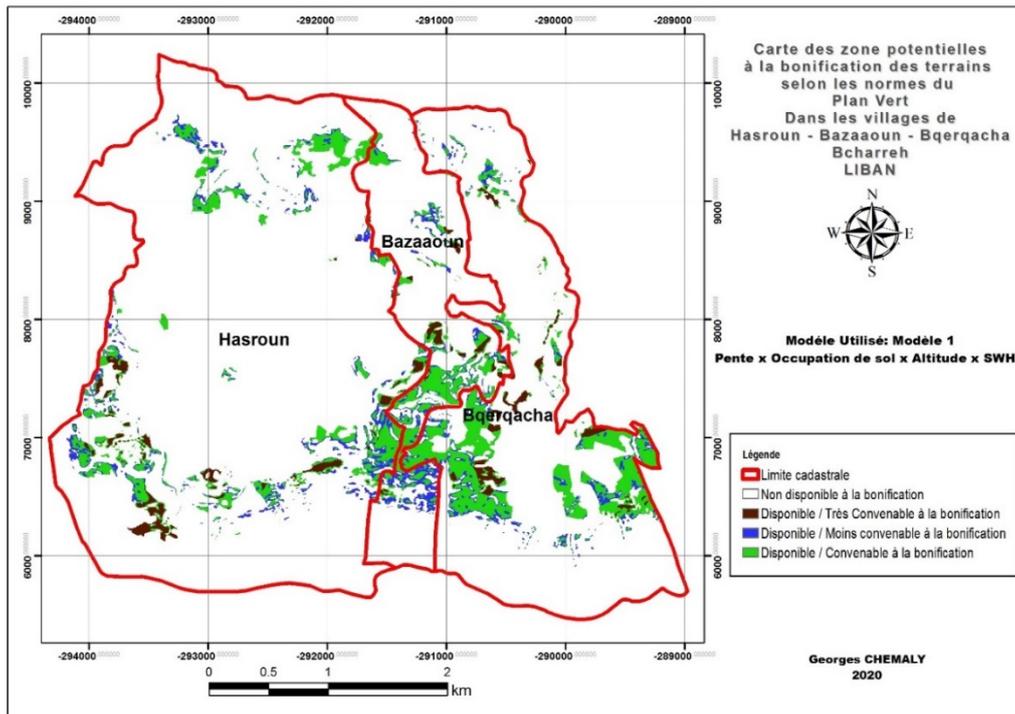


Figure 14 Carte des zones potentielles à la bonification des terrains dans la zone d'étude. Modèle 1

Le tableau 8 expose la superficie potentielle à bonifier, présentée par classe relative au potentiel de bonification du modèle 1.

Tableau 5 Superficie potentielle en Ha pour les activités de bonification des terres selon le modèle 1

Classes (convenables à la bonification des terrains pour une pente moins que 40 %)	Superficie potentielle (Ha)	% de la superficie totale
Non disponible à la bonification	1486	87
Disponible / Moins convenable à la bonification	56	3
Disponible / Convenable à la bonification	145	8
Disponible / Très Convenable à la bonification	27	2
Total disponible à la bonification des terrains	228	13
Total	1714	100

6.2 Elaboration du modèle (modèle 2) pour la bonification des terrains en prenant en considération seulement la classe Falaise de la composante sol

Après avoir testé le modèle 1, un deuxième modèle est proposé (modèle 2) sans prendre en considération la composante « capacité de rétention en eau du sol » (SWHC). Cette décision était prise pour les raisons suivantes :

- On a constaté sur le terrain que la capacité de rétention en eau du sol, n'est pas un facteur limitant à la bonification. Cette composante est primordiale pour planifier ultérieurement la gestion des terrains bonifiés et pour l'élaboration de la carte d'aptitude « Suitability map ».

- La carte du sol disponible, sur l'échelle 1/50000 a besoin d'un travail spécifique sur sa base de données digitales en utilisant des informations tirées de l'ouvrage relatif à cette carte.

Le modèle 2 consiste à utiliser le même concept décrit dans le modèle 1, mais, au lieu d'élaborer la classification de la capacité de rétention en eau du sol (SWHC), la carte du sol 1/50000 a été transformée en raster, puis divisée en deux classes seulement :

- La classe falaise (cliff) a pris la valeur 0
- Les autres classes du sol ont pris la valeur 1

Ceci permettra d'éliminer seulement les affleurements rocheux, et d'utiliser les autres classes du sol. Le fichier Raster obtenu correspond à une dimension 25 m² (5m x5m) pour chaque cellule.

- **Elaboration du modèle 2**

Afin de produire les cartes des sites potentiels à la bonification, en utilisant le modèle 2 qui est prévu être plus simple, les diverses couches préparées ont été introduites dans le programme ArcMap (Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator). Chaque cellule, des cartes Raster classifiées et utilisées, possède un chiffre relatif à sa convenance pour la bonification du sol (étape déjà expliquée). La superposition des cartes utilisées dans le calcul se fait comme suit :

- La carte des pentes (4 classes : 0, 1, 2, 3 et 4) déjà élaborée pour le modèle 1
- La carte des falaises rocheuses « Cliff » élaborée de la carte du sol :(2 classes : 0 et 1). La carte présentée dans la figure 15 présente le fichier Raster des falaises qui a été utilisé dans le modèle.
- La carte LCLU (2 classes : 0 et1) déjà élaborée pour le modèle 1.
- De même La carte d'altitude pour éliminer les altitudes plus que 2000 m (2 classes : 0 et 1) est déjà élaborée pour le modèle 1.

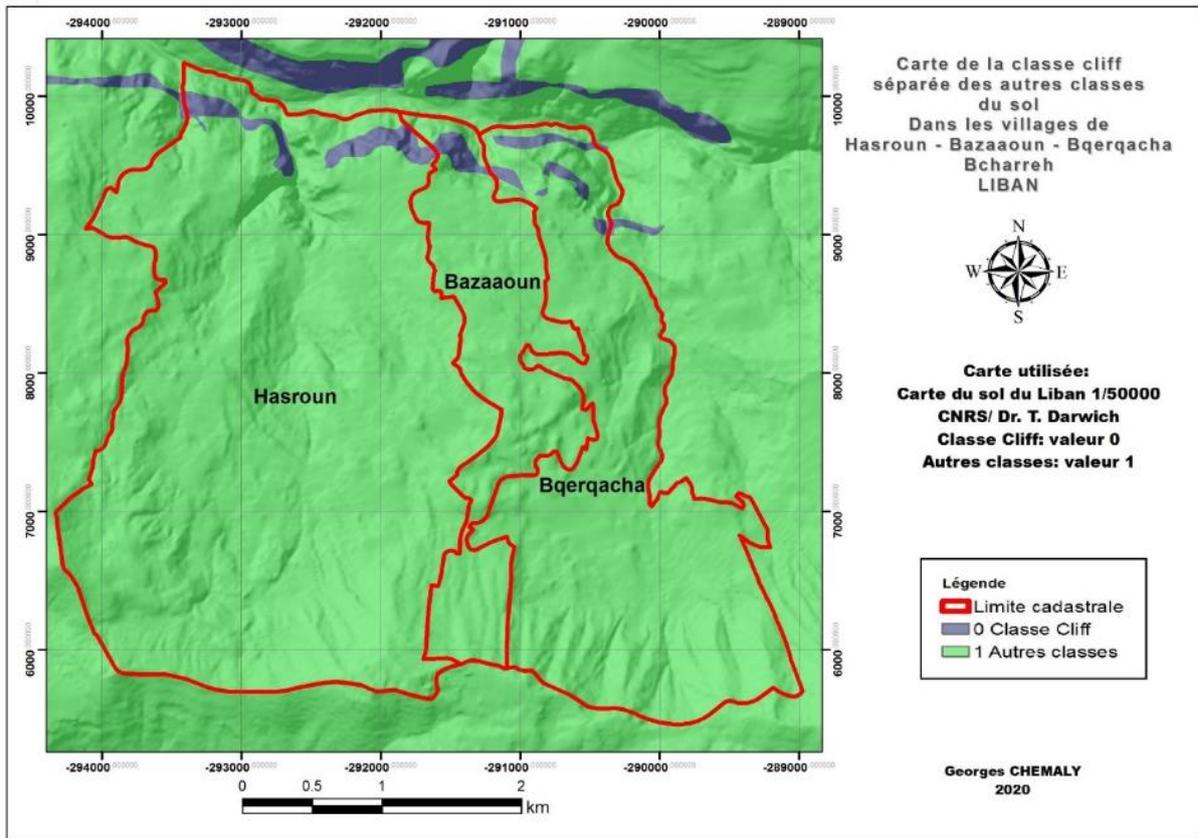


Figure 15 Carte de classe falaise (Cliff) séparée des autres classes du sol

La figure 16 résume le principe de l'analyse des données et de la modélisation.

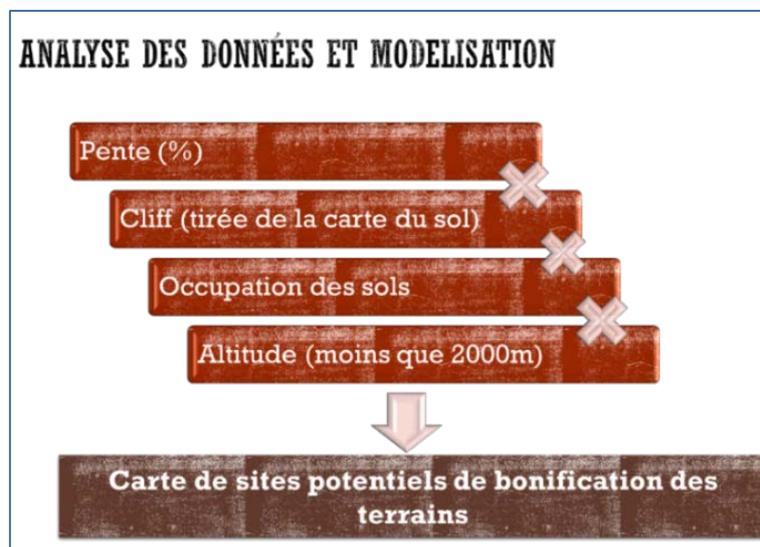


Figure 16 Modèle 2 pour la détermination des zones potentielles à la bonification.

Vue que le calcul fait pour les quatre cartes, les valeurs des cellules varient comme expliqué ci-dessus. Le tableau 9 montre les valeurs des cellules variant entre 0 et 4.

Tableau 6 Valeurs du fichier raster pour classer les sites disponibles à la bonification - modèle 2

Valeurs possible pour chaque cellule	Classes	% Pente	Classes (Pertinence à la bonification des terrains pour une pente inférieure 40 %)
0	0	Plus grand que	Non disponible à la bonification
1	1	Entre 31 et 40	Disponible / Moins convenable à la bonification
2	2	Entre 21 et 30	Disponible / Moyennement convenable à la bonification
3	3	Entre 11 et 20	Disponible / Convenable à la bonification
4	4	Entre 0 et 10	Disponible / Très convenable à la bonification

La carte présentée dans la figure 17 montre les sites potentiels à la bonification selon le modèle 2 simplifié.

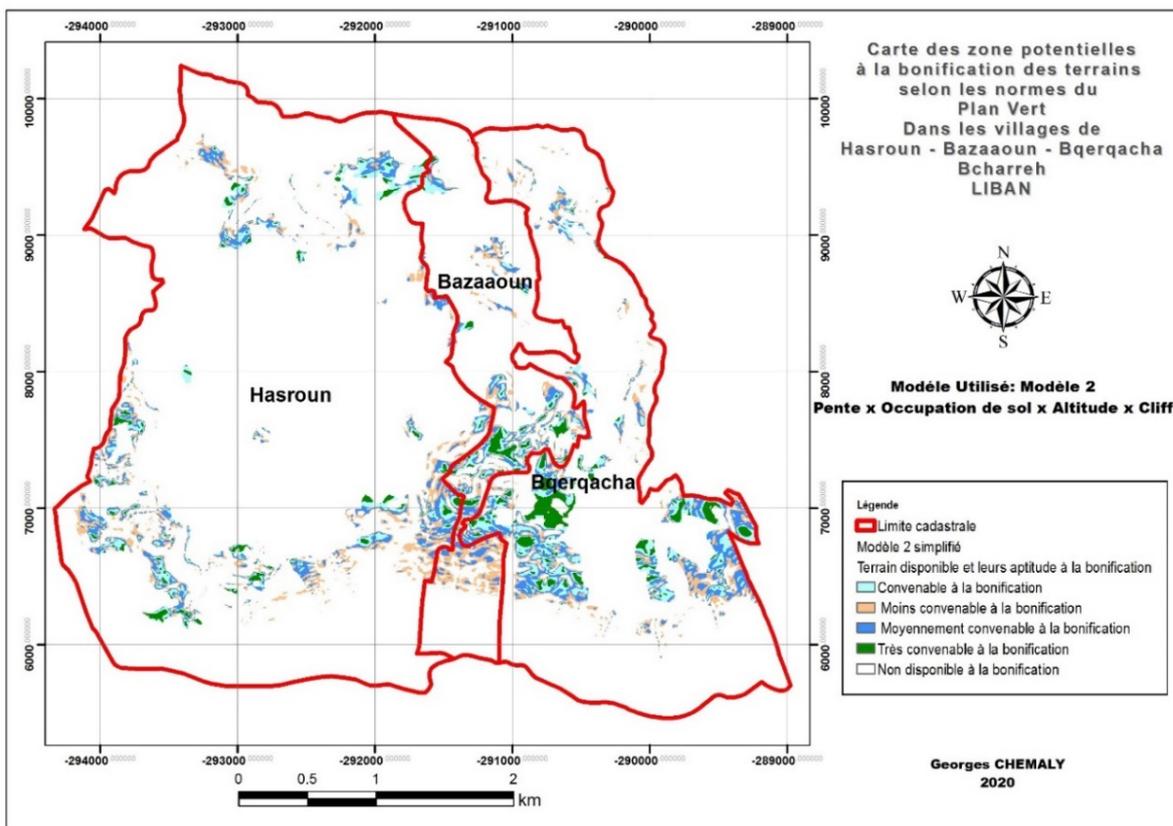


Figure 17 Zones potentielles à la bonification des terrains selon les normes du Plan Vert - modèle 2

Le tableau 10 présente la superficie potentielle à bonifier, présenté par classe relative au potentiel de bonification donné par le modèle 2.

Tableau 7 Superficie potentielle et disponible à la bonification selon le modèle 2

Classes (Pertinence à la bonification des terres selon le modèle 2)	Superficie (Ha) (modèle)	% de la superficie	% de la superficie
Non disponible à la bonification	1486	87	87
Disponible / Moins convenable à la bonification	72	4	3
Disponible / Moyennement Convenable à la	74	4	/
Disponible / Convenable à la bonification	55	2	8
Disponible / Très Convenable à la bonification	27	3	2
Total disponible à la bonification des terrains	228	13	13
Total	1714	100	100

Le résultat final de la superficie apte à la bonification (13 %) selon le modèle 2 est le même de celui obtenu avec le modèle 1 malgré la différence dévoilée entre les classes. L'utilisation de l'un des deux modèles donne le même résultat sur le terrain en fin de compte mais l'application du modèle 2 reste plus aisée. Les deux modèles offrent un outil (basé sur les données accessibles au bureau) de décision rapide et vraisemblable pour toute livraison de subvention.

7 Recommandations

Sur la base des résultats des différentes interprétations, nous exprimons dans cette section une série de recommandations pour :

- Le bon fonctionnement des modèles.
- Améliorer les modèles.
- Pistes de recherches complémentaires.

Nous exposons plusieurs conseils :

- a. Effectuer des études pour déterminer les régions où l'application des banquettes est utile pour les activités de reboisement ou bien pour l'installation des vergers. De même étudier la possibilité de bonifier des forêts - maquis pour aménager un « Landscape Restoration » tout en appliquant l'agriculture dans des régions ayant une couverture végétale peu dense et apte à l'agriculture.
- b. S'il est voulu de classifier les terrains potentiels à la bonification en prenant en considération le taux de la couverture rocheuse, il serait nécessaire d'utiliser les images satellitaires avec la technique du « Normalized Difference Vegetation Index » NDVI ou SAVI ou FVC ou d'autres selon différentes dates. La carte de types de sol 1/50000 et la carte LCLU ne permettent pas de déterminer le taux des roches.
- c. Le modèle élaboré sert à étudier la capabilité des terrains pour la bonification, il est important de produire une carte de pertinence de culture (*Suitability Map* ou bien carte d'aptitude agricole), pour bien orienter les services de vulgarisation agricole et les services de planification.
- d. Le besoin de préciser l'emplacement des terres communales, afin de leur créer un fichier dont les utilisations seront :
 - Elimination ces terrains des sites potentiels pour la bonification, jusqu'à l'élaboration d'un mécanisme juridique clair qui permet à l'État libanais de louer des terres pour la bonification agricole par le secteur privé.

- Proposer un plan intégré de gestion pour ces terres : pâturages, forêts, lacs collinaires et agriculture.
- e. Travailler sur la « Land Degradation Neutrality LDN » concept et montrer par les cartes et les statistiques le rôle du Plan Vert dans la LDN
 - f. Elaborer des conventions de coopération entre le Plan Vert et les universités au Liban pour lancer des études appliquées sur les divers axes comme :
 - Tester les nouvelles méthodes de bonification et leur potentialité, comme la technique de la bonification par trous séparés.
 - Elaborer des fichiers techniques liés à la bonification et l'installation des vergers.
 - g. Etudier l'impact des interventions du Plan vert au niveau national et au niveau de certaines communautés.
 - h. Il est nécessaire d'établir une base de données sur le besoin du marché des produits agricoles afin de lancer une politique d'exploitation durable dans les terrains exploités.
 - i. Faire une réflexion juridique pour élaborer des projets de décrets qui organisent les activités de bonification au niveau national : indiquer les normes, les responsabilités, les autorités compétentes avec leurs devoirs et leurs rôles.

Conclusion

Le développement des travaux de recherche s'est déroulé sur plusieurs mois. Cette étude avait pour ambition de mettre à la disposition des acteurs d'aménagement du territoire, un outil fiable de travail et de décision.

Comme démontré dans les chapitres précédents, les modèles conçus en utilisant le SIG comme outil d'identification des sites potentiels pour la bonification des terrains sont des modèles valides, utiles et facilement utilisables.

Concernant le modèle relatif à la bonification des terrains, l'obtention des résultats selon le modèle 2 est rapide, fiable et non couteuse ; il suffit d'avoir des données digitales pour l'exécuter, ce qui fait que son application peut être généralisée sur tout le pays. Du point de vue Plan Vert, l'utilisation du modèle 2 dans l'avenir apparaît comme étant une opération aisée et sûre. La justification s'appuie sur l'utilisation du système de pondération qui donne une importance à un critère par rapport à un autre.

L'application du modèle est capable de mettre le point sur les terrains qui peuvent être aménagés, elle englobe les facteurs majeurs (roche, pente et sol) influençant ainsi la technique

de bonification. Les agriculteurs et les propriétaires des terrains sont dirigés vers une exploitation subventionnée.

La carte LCLU 2005 est toujours utile, elle donne des résultats fiables à 88 % et se base sur les images Geoeye 2012. La mise à jour de l'occupation du sol selon la carte LCLU d'une région donnée peut être faite en optant de nouvelles images satellitaires ou même les images issues de Google Earth qui sont disponibles sans aucune charge.

Références

- Darwich T. et al., (2006). *Soil map of Lebanon 1:50000*. CNRS Liban.
- 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.
- Green Plan, MOA: FAO. (2019). Green Plan impact assessment.
- Hakim, B., (1985). *Recherches hydrologiques et hydrochimiques sur quelques karsts méditerranéens Liban, Syrie et Maroc*. Publications de l'Université Libanaise, Beyrouth Liban. 701 p.
- IKONOS Satellite Sensor, (2005). Photos satellitaires du Liban.
- Institut de Recherches Agronomiques – Liban, (2017) ; données climatiques à Fnaidiq.
- Ministère de l'agriculture – Liban, F.A.O. et C.N.R.S., (2001). *Carte du Mode d'occupation du sol*.
- Ministère de l'agriculture – Liban, F.A.O. et le C.N.R.S., (2010). *Carte du Mode d'occupation du sol*.
- Direction des Affaires Géographiues, Beyrouth, Liban, (1965). *Cartes topographiques du Liban 1/20000, O7 et O8*. Armée Libanaise, Liban.

Traboulsi M., (2010). La pluviométrie moyenne annuelle au Liban. Interpolation et cartographie automatique. *Lebanese Science Journal*, Vol. 11, No. 2, 2010- 11. Pp 11-25

المصادر والمراجع العربية

- الجمهورية اللبنانية، وزارة الزراعة، المشروع الاخضر (2019): تقرير موجز عن اعمال المشروع الاخضر من العام 2010 حتى العام 2019. تقرير داخلي ، صادر عن المصلحة الفنية في المشروع الاخضر .

- الجمهورية اللبنانية، وزارة الزراعة، المشروع الاخضر (2006) . الدليل في قواعد العمل. تقرير

داخلي، صادر عن المصلحة الفنية في المشروع الاخضر.

- الجمهورية اللبنانية، وزارة الزراعة، المشروع الاخضر (1995). قرار توزيع المساعدات في

المشروع الاخضر بحسب طبيعة الأعمال.