



**HAL**  
open science

## Lutte contre l'érosion et aménagement agricole dans la plaine de la Bekaa (Liban)

Hussein El Hage Hassan, Laurent Touchart, Françoise Ardillier-Carras,  
Ghaleb Faour

► **To cite this version:**

Hussein El Hage Hassan, Laurent Touchart, Françoise Ardillier-Carras, Ghaleb Faour. Lutte contre l'érosion et aménagement agricole dans la plaine de la Bekaa (Liban). *M@ppemonde*, 2016, 117. hal-01962924

**HAL Id: hal-01962924**

**<https://hal.science/hal-01962924>**

Submitted on 1 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Lutte contre l'érosion et aménagement agricole dans la plaine de la Bekaa (Liban)

*Hussein El Hage Hassan, Laurent Touchart, Françoise Ardillier-Carras, Ghaleb Faour*

**Résumé.**— L'ouest de la Bekaa libanaise est menacé par l'érosion hydrique. Certaines modifications de l'occupation du sol pourraient permettre d'optimiser les cultures et de limiter le risque érosif. À l'aide d'un SIG et de la carte d'aptitude des sols, un plan d'aménagement du couvert végétal est dressé. Ce dernier est croisé avec la sensibilité du sol et celle de la pente en adoptant une approche qualitative. Le choix des cultures devrait tenir compte de la nécessité de la protection du sol et de la sensibilité potentielle à l'érosion. Nous montrons que les vergers seraient à éviter.

**Aménagement • Bekaa • risque érosif • sol**

**Abstract.**— West Bekaa, Lebanon is threatened by water erosion. Some changes in the mechanism of land use could help optimize crop yield and limit the risk of erosion. Having used GIS-based methods and data from the soil map, a vegetation management plan is proposed. The latter is crossed with soil and slope sensitivity by adapting a qualitative approach. The types of crops proposed correspond to the land's potential sensitivity to erosion. The choice of the crops contributes to the protection of the soil and the dynamism of cultural change. Hence, only orchards would be avoided.

**Management • Bekaa • Erosion risk • Soil**

**Resumen.**— El oeste de la llanura de la Bekaa libanes está amenazada por la erosión hídrica. Algunos cambios en los patrones de ocupación del suelo optimizarían los cultivos y limitarían el riesgo de erosión. Se propone un plan de ordenación de la vegetación apoyándose en los SIG, en los mapas de aptitud del suelo, y en la valoración cualitativa de su fragilidad y pendiente. La elección de los tipos de cultivo, cuestionando la huerta tradicional, deberían de considerar la erosión potencial del suelo y su necesaria protección.

**Ordenación • llanura de la Bekaa • riesgo de erosión • suelos**

### Introduction

La Bekaa ouest est une grande région agricole. Le terrain d'étude, qui se situe au cœur de cette région, est caractérisé par un certain nombre de conditions favorables, des températures modérées et une bonne disponibilité de l'eau. La Bekaa possède plusieurs atouts par rapport à d'autres régions libanaises grâce à une production importante, diversifiée et un milieu qui permet la spécialisation de certaines cultures. Malgré ces avantages, l'agriculture doit faire face au risque d'érosion hydrique qui pose un problème de dégradation du sol, menaçant ainsi l'avenir de l'agriculture dans la plaine de la Bekaa. De même, un autre problème diagnostiqué concerne le choix de types de cultures adaptées. En l'absence d'une politique d'orientation, les agriculteurs mettent en œuvre des pratiques agricoles rentables à court terme. Le couvert du sol, comme dans toute région fortement occupée par l'agriculture, n'est pas uniforme. Cela signifie que l'efficacité du couvert végétal contre l'érosion hydrique n'est pas la même partout (Duchaufour, 1970). On distingue à la fois des secteurs qui

ont un couvert végétal toute l'année, des secteurs où les cultures laissent les sols à nu pendant plusieurs mois et des secteurs où les cultures assurent une protection dense et régulière tout au long de l'année.

Notre but est de fournir un outil d'aide à la décision portant sur l'aménagement agricole afin d'optimiser les cultures et limiter la sensibilité du sol à l'érosion hydrique. Il s'agit de tenter de trouver la meilleure adéquation entre la protection des sols et la rentabilité économique, dans un souci de durabilité d'une agriculture de qualité dont les produits puissent s'écouler sur le marché intérieur. L'outil proposé ici repose sur une cartographie de l'optimisation des cultures. Après une présentation concise du site d'étude, la méthodologie de croisement de différentes données pédologiques et agronomiques par un système d'information géographique sera mise en perspective. Cela devrait permettre de justifier les choix de cultures à opérer, tout en restant dans un cadre pragmatique ne bouleversant pas les habitudes locales, ce qui est un gage de réussite.

## 1. Site d'étude

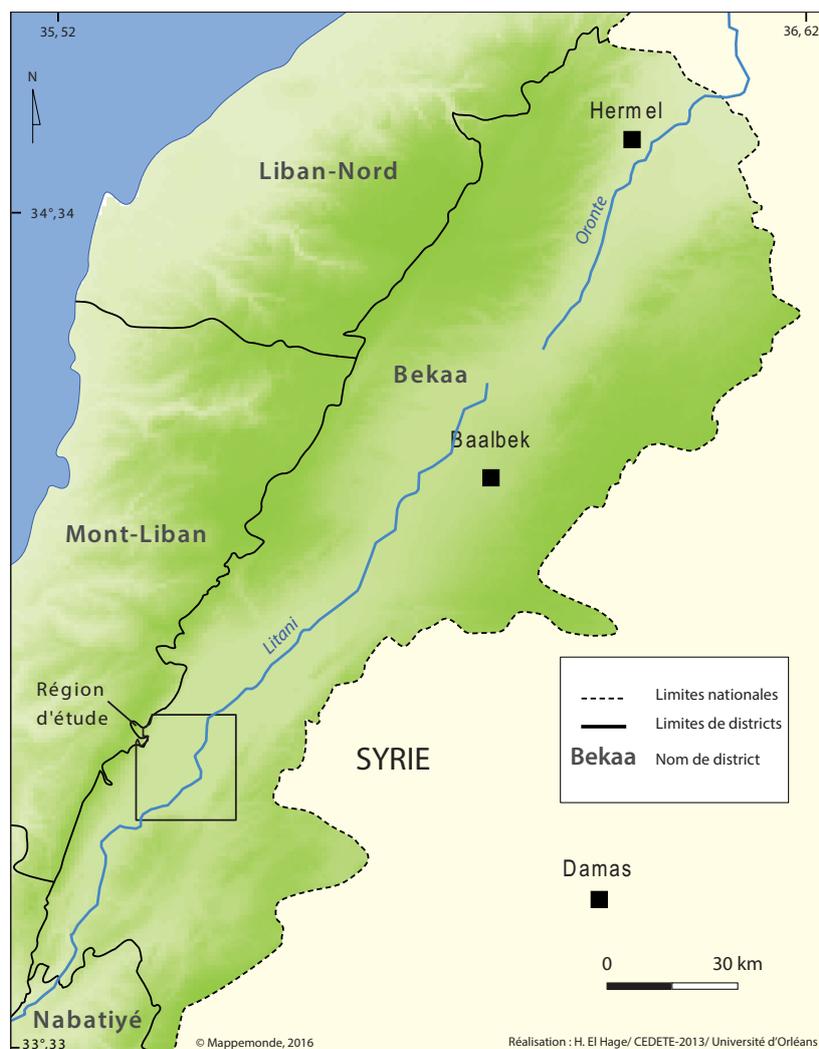
Grâce à la variation d'altitude de la chaîne occidentale, qui s'étend sur une longueur de 180 km du nord-est (3 000 m) au sud-ouest (2 000 m), le vent humide, provenant de l'ouest, pénètre à l'intérieur des terres, en donnant des précipitations plus élevées qu'au centre et au nord de la plaine. La carte de pluviométrie annuelle du Liban au 1/200 000<sup>e</sup> montre que la Bekaa ouest reçoit entre 600 mm et 1 200 mm de précipitations, de l'Ouest vers l'Est. Le site d'étude s'étend sur une surface de 136 km<sup>2</sup>, au sein de la Bekaa ouest, et reçoit entre 600 et 700 mm de précipitations (selon le CNRSL). C'est un secteur intérieur à l'abri de reliefs où l'on peut remarquer des zones de piémont, limitées par les chaînes occidentales et orientales (figure 1), où les risques d'érosion hydrique sont forts. Il s'agit de distinguer l'érosion dans un système « naturel » de montagne et celle d'un agrosystème. Le contraste géomorphologique majeur est celui qui oppose les versants du Mont-Liban et de l'Anti-Liban à forte valeur de pente à la plaine. Il est important de noter que l'érosion forte sur les chenaux de montagne, causée par la torrencialité, couvre le sol de sédiments, faisant peser un risque sur la région d'étude.

De plus, cette région dispose d'atouts pour l'agriculture : des disponibilités en eau importantes pour l'irrigation, une vaste surface agricole (120 km<sup>2</sup>), que les cultures maraîchères et les céréales couvrent à 70%, et un grand nombre d'exploitations agricoles.

Il s'agit d'une agriculture productive qui nécessite des aides (financières, techniques...) pour se développer tout en assurant la protection des sols et du milieu naturel contre les dégradations. De ce fait, elle représente des enjeux économiques majeurs. C'est aussi une région sur laquelle des travaux de recherche ont déjà été effectués, mais surtout dans une optique pédologique (Darwish *et al.* 2006 ; El Hage Hassan *et al.* 2009, 2011, 2013).

## 2. Méthodologie

Différentes approches ont été conçues pour évaluer le risque d'érosion hydrique. Walter H. Wischmeier et Dwight David Smith (1978) ont été les premiers à proposer l'équation universelle des pertes en sol (USLE). Plusieurs modifications ont été apportées à l'application de cette équation universelle (El-Swaify, Dangler, 1977 ; Auerswald 1987 ; Roose, Sarrailh, 1989 ; Renard *et al.*, 1997). Compte tenu de l'absence de certains paramètres de calibration nécessaires pour l'application de l'équation (USLE) dans la région orientale de la Méditerranée, plusieurs études ont



### 1. Situation de la région d'étude

été menées pour convertir le modèle quantitatif d'USLE en modèle qualitatif, en intégrant les différents facteurs d'érosion dans un SIG (PAP/RAC, 2004). La différence globale entre tous les modèles subsiste dans la pondération des différents facteurs. Au Liban, plusieurs recherches ont été réalisées sur le risque érosif en se basant sur un modèle qualitatif adapté par le CNRS libanais (El Hage Hassan *et al.*, 2015). Cette approche s'appuie sur la méthodologie développée en 1997 par la FAO et l'UNEP dans le cadre du plan d'action pour la Méditerranée. Elle permet d'estimer la probabilité d'arrachement et de transport des particules solides. Un travail de terrain poussé a été effectué par les chercheurs du CNRSL dans deux bassins versants représentatifs. La précision a été estimée à environ 80%.

La présente étude propose un aménagement agricole dans une région semi-aride afin de contrôler l'érosion des sols. Pour ce faire, nous allons employer l'approche qualitative du CNRSL et faire une simulation d'un couvert végétal rentable et protecteur contre l'érosion hydrique.

La méthode du CNRSL combine plusieurs facteurs à des poids différents, tels que les facteurs intrinsèques au sol (érosivité des sols, l'infiltrabilité des roches), et les facteurs extrinsèques (pente, occupation des sols...) :

$$(\text{sol} * 35 + \text{pente} * 35 + \text{lithologie} * 10 + \text{précipitation} * 20) * 50 + (\text{couverture du sol}) * 50$$

En 2013 a été réalisée une cartographie de la sensibilité du sol à l'érosion dans la Bekaa Ouest (El Hage Hassan *et al.*, 2013). Pour ce faire, il a fallu ajuster ce modèle aux caractéristiques de la région d'étude : un sol profond, des roches nues affleurant sur une surface qui ne dépasse pas une dizaine d'hectares et l'absence de variations climatiques. Cela a conduit au modèle suivant :

**(Classes de la sensibilité du sol \*50 + classes de la favorisation de la pente \*50)\*50 + (classes de la favorisation du couvert du sol)\*50.**

Ces facteurs et leurs pondérations sont choisis à partir de plusieurs expériences effectuées dans la région d'étude (G. Faour, T. Darwish, A. Shaban, M. Khawlie) et font référence à des études précédentes (Morgan, 1986 ; Luken et Krone, 1989). Pour chacun de ces paramètres, une reclassification des données a été réalisée sous forme d'un indicateur de sensibilité ou de favorisation à l'érosion afin d'attribuer une valeur chiffrée pour chaque classe : très faible = 1, faible = 2, moyenne = 3, forte = et très forte = 5. Cela a permis de produire les diverses cartes thématiques qui correspondent à la sensibilité avec le rôle de chaque facteur dans l'érosion hydrique. À partir de la combinaison de ces cartes, les chercheurs ont obtenu la carte de la sensibilité potentielle à l'érosion hydrique en faisant référence à d'autres études (Le Bissonnais *et al.* 1998 ; Bou Kheir *et al.*, 2001 ; Le Bissonnais *et al.*, 2002).

La présente étude a pour but de faire le point sur l'aptitude des sols pour les différentes formations végétales en fonction des caractéristiques des sols et de présenter l'importance du taux de couverture végétale dans la lutte contre l'érosion hydrique. La cartographie de l'optimisation des cultures et de la limitation du risque érosif sera élaborée en plusieurs temps :

- établir la carte d'aptitudes pédologiques en fonction des caractéristiques des sols qui couvrent la région d'étude, ce qui permet de choisir les cultures qui conviennent aux différents types de sols ;
- réaliser la carte d'optimisation des cultures (scénario d'aménagement du couvert végétal), à partir de la carte d'aptitude des sols et en fonction des secteurs géographiques ;
- dresser la carte de la sensibilité potentielle du scénario proposé en croisant la sensibilité du substrat (sol, pente), avec la carte des nouvelles pratiques culturales.

### **3. Traitement des données**

L'érosion mécanique dépend des changements du couvert végétal (Veyret et Vigneau, 2002) qui joue un rôle fondamental dans la protection du sol : il réduit la force vive des eaux et favorise l'infiltration (Duchaufour, 1970). Pour la meilleure gestion des terres agricoles, et pour proposer un aménagement agricole qui convienne à la région étudiée, nous avons consulté les données suivantes :

- la carte de la sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique au 1/50 000<sup>e</sup> réalisée par El Hage Hassan *et al.* en 2013 ;
- le sol, à partir de la carte des sols de Rachaya au 1/50 000<sup>e</sup> publiée par le CNRS libanais, d'autres études faites par le FAO en 1969, et Lamouroux (1967, 1972) ;
- la carte des pentes dressée à partir des cartes topographiques de 10 m à 1/20 000<sup>e</sup> publiée en format raster par la Direction des affaires géographiques de l'armée libanaise ;

- le mode d'occupation du sol à partir d'une image satellite Ikonos prise en août 2005 à l'échelle du 1/20 000<sup>e</sup>.

### 3.1. La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique

Une étude précédente (El Hage Hassan *et al.*, 2013), fondée sur le modèle du CNRSL, a estimé la sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique pour la région en question. Le modèle adopté est composé de deux parties, avec un poids identique : une partie regroupe le sol et la pente ; une autre partie correspond à la couverture du sol :

- la sensibilité du sol a été divisée en trois classes : faible, moyenne et forte. Plusieurs paramètres ont été indispensables pour estimer l'érodibilité et la sensibilité du sol à la formation des croûtes de battance. Pour l'érodibilité, les caractéristiques retenues sont les suivantes : la texture (40%), la teneur en matières organiques (40%) et la profondeur (20%) ; la texture (50%) et la teneur en matière organique (50%) pour la battance ;
- la carte des pentes, extraite du modèle numérique de terrain d'une précision de 10 m, est basée sur les cartes topographiques qui couvrent la région d'étude, au 1/20 000<sup>e</sup>. Ces cartes ont été établies par la Direction des affaires géographiques de l'armée libanaise en 2004. La carte des pentes nous a permis d'avoir une bonne précision. Il est vrai que lorsque l'on fait des observations précises sur le terrain, on peut noter localement des plages affectées par de l'érosion aréolaire. Le rôle de la pente, dans la favorisation du risque érosif, a été classifié en cinq classes, de faible à très forte ;
- le mode d'occupation du sol a été établi à partir d'une image Ikonos au 1/20 000<sup>e</sup> de 2005. Quatre classes ont été distinguées, faible, moyenne, forte et très forte, en fonction de leur sensibilité à l'érosion hydrique, selon différents critères physiologiques (écartement des plants...), phénologiques (durée de la pousse), et agronomiques (type de labours...).

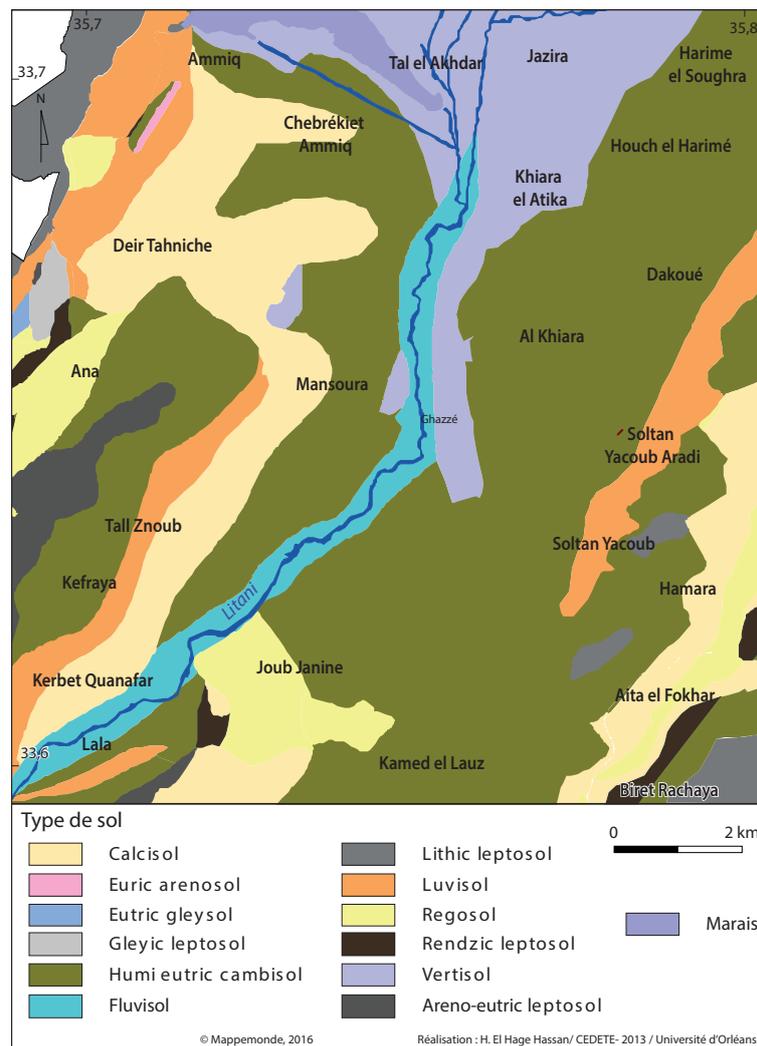
Ce modèle, qui a permis de localiser les secteurs menacés par l'érosion, nous apparaît comme un outil d'aide à la décision. Il contribue à la simulation de l'impact du changement des modes d'occupation des sols. Malheureusement, les données utilisées ne sont pas à la même échelle, certaines informations ont été dégradées pour obtenir une carte au 1/50 000<sup>e</sup>.

### 3.2. L'aptitude des sols pour les divers couverts végétaux

Les qualités et les caractéristiques des divers types de sols agissent sur leurs aptitudes, qui doivent remplir les conditions pédologiques requises pour un usage donné (FAO, 1989). Les caractères pédologiques (texture et teneur en matières organiques...) ont été définis à la suite de prélèvements et d'analyses d'échantillons sur des sites choisis en rapport avec la carte des sols de Rachaya au 1/50 000<sup>e</sup>. Pour la suite, nous avons effectué un travail bibliographique (FAO, 1983), relatif à l'adaptation des types de cultures aux différents types de sols de la région étudiée. Parmi les principales caractéristiques pédologiques retenues pour l'évaluation des pratiques culturales, il faut tenir compte :

- des conditions d'enracinement : profondeur et texture (Toussou *et al.*, 2006) ;
- de la disponibilité en éléments nutritifs (FAO, 1989, 1998) : pH et teneur en matières organiques ;
- de la sensibilité aux éléments toxiques comme la salinité du sol ;
- de la disponibilité en oxygène : drainage du sol.

La teneur du sol en matières organiques conditionne sa fertilité : plus il contient de matières organiques plus il est favorable à l'agriculture, ce qui joue un rôle important sur la productivité. L'apport de matières organiques améliore les propriétés physiques et chimiques : sur le plan physique, cela augmente la capacité du sol à retenir l'eau. La matière organique augmente la résistance du sol à l'érosion (Roose, 1994 ; Barthès *et al.*, 1998), et réduit la perte des éléments fertilisants causée par le lessivage. Sur le plan chimique, elle tamponne le pH du sol et augmente la teneur en différents éléments fertilisants. Il est évidemment indispensable de tenir compte des exigences liées aux besoins des cultures (températures adéquates, disponibilité en eau pour l'irrigation...). Ces besoins se combinent parfois pour déterminer la période végétative. Après avoir déterminé les caractéristiques des sols, il convient de les comparer avec les exigences liées aux besoins des cultures. À partir de ces caractéristiques, nous avons proposé, pour chaque type de sol de la région d'étude (figure 2) la végétation qui peut lui être adaptée.



## 2. Les sols de la région d'étude

Le **regosol** est le tout début d'un sol, peu profond (70 cm), très difficile à cultiver. Il peut convenir aux oliviers et est favorable aux forêts. Il est le plus souvent couvert par une végétation herbacée clairsemée, qui sert de terrain de parcours pour le bétail.

Le **leptosol** est le début d'un sol un peu plus évolué et cultivable que le regosol, mais moins profond (50 cm). Il contient un pourcentage élevé de roches. Il peut être cultivé en oliviers. Il est aussi favorable aux forêts. Il est, en général, un peu plus dense que le sol précédent. Dans la région d'étude, ce type de sol présente quatre catégories

différentes qui, en raison de leurs propriétés physiques et chimiques, influencent les types de cultures. Certains sont très graveleux et caillouteux, sableux, non calciques (*areno-eutric leptosol*) : ils ne conviennent pas aux cultures et ne portent que peu de surfaces boisées. D'autres sont contrôlés par la nappe phréatique et possèdent un horizon à Gley (*gleyic leptosol*), ce qui permet des boisements plus denses. D'autres encore sont riches en graviers et cailloutis, moins profonds (20 cm) (*lithic leptosol*), ne permettent aucune culture et n'admettent qu'une maigre végétation herbacée ou forestière. Enfin, certains sont rendziniformes (*rendzic leptosol*), ce qui, en dépit de leur sécheresse, convient à la vigne et aux céréales (blé, orge).

L'**eutric arenosol** est peu évolué, sableux, profond et faiblement drainé. Il peut être cultivé en oliviers et est favorable aux forêts.

Le **cambisol**, le **luvisol** et le **fluvisol** : ces sols sont profonds et bien drainés et ils sont favorables aux céréales, cultures maraîchères, vignobles, oliviers.

Le sol calcique (**calcisol**) est moyennement drainé, profond et caractérisé par des dépôts de nodules de carbonate de calcium dans l'horizon B, en raison d'une saison sèche marquée. Il est convenable pour les céréales, mais a besoin d'irrigation.

Le **gleysol**, conditionné par l'existence d'un horizon complètement saturé en eau (Gley), ou alternativement saturé et sec (pseudo gley), ne convient pas aux cultures, mais la végétation qui y pousse naturellement permet le pâturage.

Le **vertisol** est un sol profond, faiblement drainé, très riche en argile, tantôt très sec, dur et compact, tantôt gras et très difficile à cultiver. Cependant il est adapté à la culture des céréales : maïs, orge et blé.

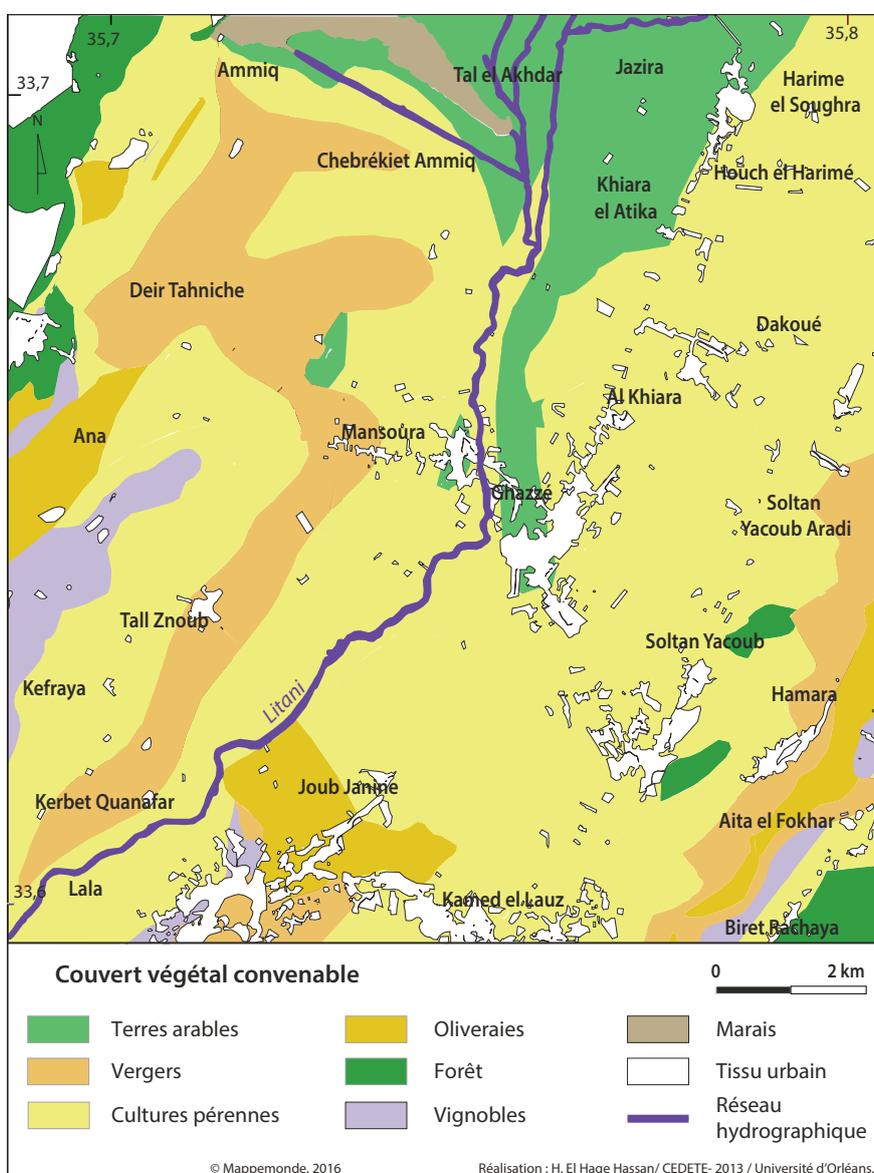
L'**anthrasol** est un sol artificialisé par l'agriculture dont les qualités varient selon les traitements qu'il a subis.

Pour renforcer les choix de cultures exposés, il a été essentiel de poursuivre deux démarches :

- d'une part, soumettre les aptitudes agronomiques à une vérification sur le terrain en enquêtant auprès des exploitants agricoles et des agronomes pour connaître leurs avis, compte tenu de leur expérience. Cette démarche est importante lors du traitement des données, surtout si les interactions de certains facteurs, climatiques, entre autres, n'ont pas été prises en considération. Pour conduire cette enquête, un formulaire destiné aux exploitants agricoles a été établi afin de vérifier nos choix de cultures sur la totalité de la région d'étude. Les entretiens avec les exploitants ont débuté en 2007, dans le cadre du travail de thèse (El Hage Hassan, 2011). Le suivi de l'enquête sur plusieurs années a permis d'accroître le nombre des exploitants interrogés. Compte tenu des flux migratoires syriens, nous étions dans l'obligation de mettre à jour nos données et d'étudier leur effet sur la région d'étude. Cependant, les enquêtes ont été maintenues jusqu'en 2013. Une vérification rigoureuse des résultats des questionnaires nécessitait un suivi. C'est pourquoi les réponses d'une trentaine d'exploitants ont fait l'objet d'une étude attentive par des agronomes du CNRSL et de l'Institut national de la recherche agronomique libanais ;
- d'autre part, évoquer l'historique du couvert végétal dans la région d'étude, en se référant à trois images satellites prises à des dates différents : image Landsat au 1/50 000<sup>e</sup> de 1987, image Landsat au 1/20 000<sup>e</sup> saisie en 1998, image Ikonos au 1/20 000<sup>e</sup> de 2005. Malgré la différence d'échelle, les images donnent une idée de la végétation qui a occupé cette région. Cette démarche a montré que les cultures proposées sont indigènes.

À la suite de ces démarches, et en fonction des particularités de chaque type de sol, nous avons conçu la carte d'aptitude des sols (figure 3), qui apporte des interprétations sur les orientations culturales possibles. Elle indique que 95% de la région d'étude est apte à l'agriculture. 63% de cette surface est polyvalente, convient aussi bien aux céréales, cultures maraîchères et cultures pérennes (vergers, vignobles, oliviers), compte tenu des sols et du climat favorable. 14% sont compatibles avec la culture des arbres fruitiers, 12% avec les céréales et 6% avec les oliviers.

La carte d'aptitude montre d'une façon générale le couvert végétal (cultures et forêt) dans la région d'étude, mais elle ne prend pas en compte les secteurs géographiques et le tissu urbain. À l'échelle du 1/50 000<sup>e</sup>, cette carte donne une vue de l'ensemble des relations pédologiques dans la région d'étude. Cela nous a permis de distinguer les surfaces des sols fertiles (le fluvisol) et celles à utilisation limitée (le régosol). L'objectif est de proposer un aménagement agricole protecteur et productif.



3. Carte d'aptitude de sol

#### 4. Proposition d'un aménagement du couvert végétal

De nombreux facteurs économiques interviennent dans la répartition et le choix des cultures. Parmi ces facteurs, nous pouvons évoquer : la demande du marché national et international, le régime foncier, le coût de la main-d'œuvre. À la suite de crises de marché, les exploitants ont souvent tendance à changer de type de culture afin de limiter les pertes financières. Prenons par exemple le raisin de table : suite à plusieurs crises, causées par les prix compétitifs des pays voisins, certains exploitants avaient remplacé les vignobles par les céréales. Néanmoins, la concurrence de la Syrie a été affaiblie par les événements politiques récents dans ce pays.

De même, il existe des différences d'appréciation entre propriétaires exploitants et locataires exploitants. Les locataires exploitants, qui sont plutôt libanais, ont tendance à être flexibles, à court terme, dans les changements du couvert végétal. Compte tenu d'un bail annuel, ces locataires cultivent annuellement pour récolter dès les mois suivants afin d'amortir au maximum le coût de cette location. Par ailleurs, parfois, ces derniers choisissent le maraîchage et la céréaliculture, avec deux types de cultures par an, en rotation, sur la même parcelle, afin d'optimiser le rendement, ce qui pose aussi la question de la capacité des sols.

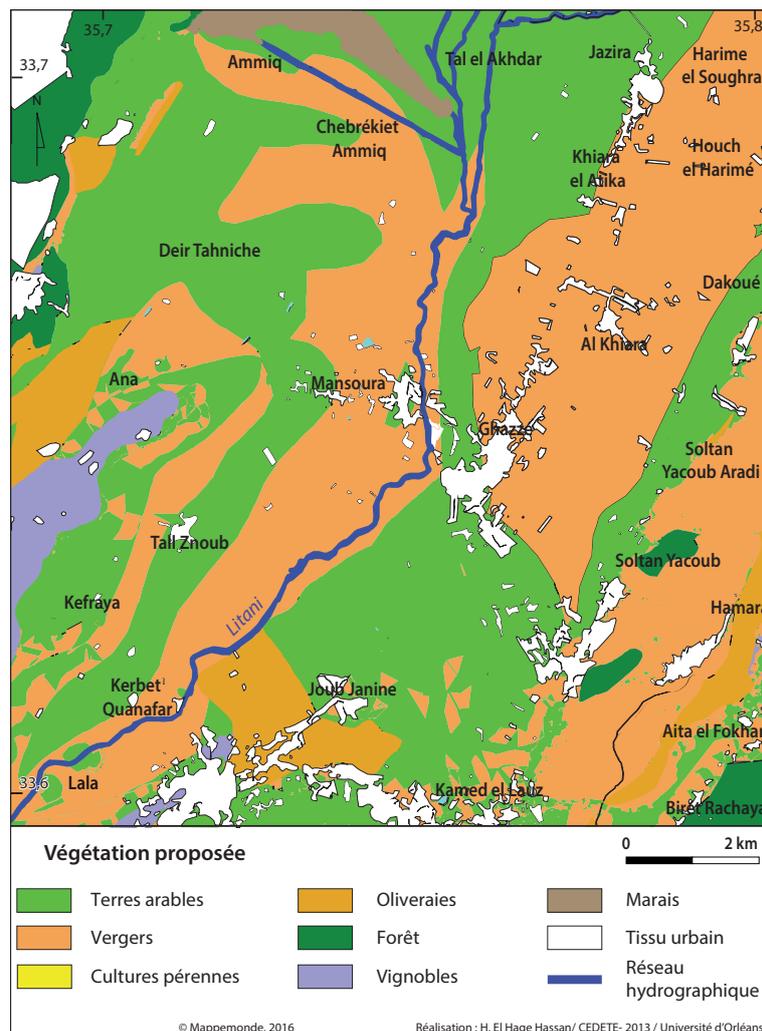
En revanche les propriétaires exploitants réagissent selon leurs projets : soit ils modifient leurs types de cultures selon la demande du marché, soit ils poursuivent les mêmes cultures si la demande du marché existe toujours, comme le raisin de cuve pour la fabrication du vin. Le plus souvent, les propriétaires ont tendance à privilégier les productions horticoles (pêche, poire), et les vignobles, qui produisent plusieurs années suivant la plantation. L'implantation du château Kefraya, pour la production de vin, a joué un rôle dans le maintien de la surface cultivée en vignobles (raisin de cuve).

Les changements dans l'agriculture confirment l'évolution rapide des besoins du marché et l'ouverture aux échanges vers l'extérieur. Le contexte interne, propre à la situation économique et politique du Liban, intervient aussi dans ce sens. Le processus lié à la production agricole et à l'emprise de l'agriculture sur l'espace rural nous conduit à proposer un aménagement pour optimiser le potentiel agricole.

L'image Ikonos qui couvre le lieu d'étude et les travaux de terrain montrent que le couvert végétal n'est pas homogène. L'efficacité d'une averse (Neboit, 1991) dépend du degré de protection que le couvert végétal peut assurer pour protéger le sol. En fonction des secteurs géographiques, et à partir de la carte d'aptitude agronomique, compte tenu des aspects sociaux et économiques, voire politiques (volonté d'aménagement du territoire), nous avons établi un scénario d'aménagement du couvert végétal (carte d'optimisation des cultures) (figure 4), afin d'envisager une meilleure productivité agricole et assurer un couvert végétal protecteur.

Certains sols conviennent à l'agriculture des céréales et à des cultures maraîchères, ce qui peut aider à diminuer la sensibilité à l'érosion. Mais la morphologie de la surface à certains endroits (pente raide...), ne permet pas le développement de ces cultures comme pour Kamed El Lauz, pour cette raison nous avons proposé de les remplacer par des vergers ou des vignobles qui forment un couvert du sol moins efficace, ce qui engendre une sensibilité à l'érosion plus élevée. À certains endroits, le sol ne permet pas de diversifier les cultures : il convient davantage aux pâturages et aux forêts. Dans les villages de Khiara el Atika et Jazira, nous constatons que le sol convient plus au blé et à l'orge, voire à des cultures maraîchères. Dans les villages de Deir Tahniche et Tall Znoub, le sol convient plus

aux vergers. Quant à Kefraya, il serait bien valorisé par des vignobles. Pour certains sols, comme le régosol, très difficiles à cultiver, nous avons proposé des oliviers. Les sols très peu profonds, comme à Hamara, là où la pente est raide, conviendraient davantage aux forêts ou aux terrains de parcours pour le bétail. Faire des propositions de cultures est difficile sur les calcisols qui se localisent sur de fortes pentes, pour lesquelles nous suggérons des oliviers ou du réengazonnement. Avoir des oliviers qui remplacent des terres en jachère permet de diminuer la sensibilité à l'érosion, mais c'est insuffisant. Pour mieux protéger ces sols contre l'érosion hydrique, la solution la plus efficace est de reboiser ces zones (pins, chênes), pour permettre une meilleure protection.



#### 4. Carte d'optimisation des cultures

Les aménagements ainsi exposés associent les vergers, les céréales et les cultures maraîchères. Nous avons ensuite classé le couvert végétal en fonction de sa sensibilité à l'érosion. Quatre classes ont été distinguées, en fonction des critères physiologiques, phénologiques et à la suite des observations de terrain et de la consultation de plusieurs études bibliographiques (Rey *et al.*, 2004 ; Poesen et Hooke, 1997 ; Bou Kheir 2002). L'impact de la couverture végétale sur l'érosion hydrique a pu être mis en évidence par comparaison entre des terrains différemment végétalisés.

La première classe à faible sensibilité à l'érosion correspond aux forêts de forte densité de plantations qui assurent en permanence un couvert végétal protecteur. En revanche, la présence de forêts peu denses (2<sup>e</sup> classe) correspondant à une couverture de l'ordre de 65 à 90% (pins peu denses, chênes clairsemés) constitue une protection moyenne pour le sol. Nous avons ajouté à cette classe les terres arables (blé, orge), et les cultures maraîchères qui jouent un rôle majeur dans la protection du sol, mais seulement durant une certaine période. Les observations de terrain ont montré que le sol reste à nu pendant l'hiver et que les agriculteurs ne pratiquent pas souvent la rotation agricole. Souvent, dans cette région, quand les précipitations dépassent un certain seuil et en l'absence d'un couvert végétal protecteur, les parcelles agricoles sont inondées avec formation de croûtes de battance. La rotation agricole saisonnière permet une meilleure protection du sol, à condition que l'ensemencement en céréales soit fait en automne, et soit suivi d'une culture maraîchère, ce qui permet de couvrir le sol pour une durée plus longue et ainsi de le protéger.

L'arboriculture et les vignobles (3<sup>e</sup> classe) n'assurent qu'une faible couverture protectrice et favorisent fortement l'érosion hydrique. L'effet des plantations arbustives seules est parfois limité pour réduire l'érosion. L'ordre de protection peut s'accroître si la végétation arbustive est mélangée à une couverture herbacée, qui constituera alors un écran protecteur contre l'impact de pluies fortes. La quatrième classe, à très forte sensibilité à l'érosion, concerne les sols nus et la végétation herbacée clairsemée, l'érosion hydrique atteint son maximum dans ces secteurs. Cette végétation ne pousse qu'à partir du mois d'avril jusqu'au début de l'automne. Le sol reste sans protection pendant les mois les plus pluvieux de l'année.

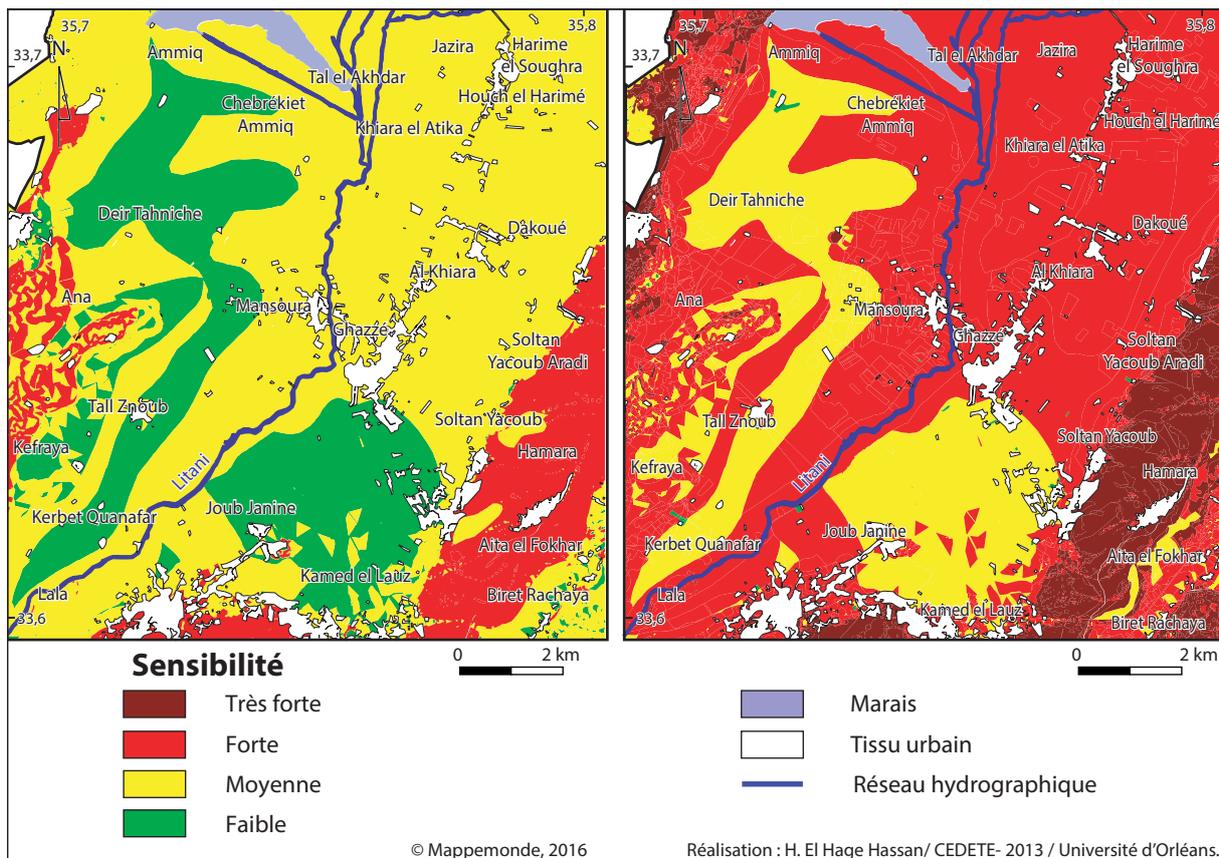
Pour les sols considérés comme moins sensibles à l'érosion hydrique, nous avons proposé des vergers et des vignobles. En revanche, pour les sols fragiles, nous avons proposé un couvert forestier, plus dense (Roose *et al.*, 1994). À l'aide d'un Système d'Information Géographique, nous avons estimé la sensibilité potentielle du sol à l'érosion, en croisant les cartes de sensibilité des sols et des pentes à la carte de sensibilité de l'aménagement proposé. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur le modèle du CNRSL, adapté aux particularités locales.

La sensibilité du sol à l'érosion hydrique dépend de la nature des formations végétales ou de l'utilisation du sol. La différence de sensibilité à l'érosion entre le scénario proposé et la carte basée sur le couvert végétal de 2005 est remarquable (figure 5). Le scénario de cultures associées (céréales, vergers) dénote la présence d'une surface à faible sensibilité avoisinant 21% de la surface totale. Par contre, cette surface à sensibilité moyenne est inexistante selon le mode d'occupation du sol en 2005. De plus, la sensibilité moyenne gagne 40%, pour atteindre 64% de la surface générale. Quant à la zone de forte sensibilité, qui couvrait 60% en 2005, elle a diminué de 47% pour atteindre 13% de la surface générale.

L'aménagement exposé protège mieux le sol par rapport au couvert végétal de 2005. Il est important de signaler que la prédominance des vergers reste déconseillée. Si nous examinons d'une manière précise les résultats de l'analyse de la sensibilité moyenne, nous découvrons que les vergers assurent moins de protection que la rotation agricole entre les céréales et les cultures maraîchères. Les céréales prennent des valeurs proches de la faible sensibilité, en revanche les vergers mènent à une forte sensibilité.

## La sensibilité potentielle provoquée par l'aménagement agricole

## La sensibilité potentielle à l'érosion (couvert végétal 2005)



### 5. L'intérêt de la carte d'optimisation de culture

Le problème que l'on peut rencontrer dans certains secteurs est la faible épaisseur du sol, qui repose sur un horizon rocheux ou calcaire. Prenons l'exemple de Deir Tahniche, là où l'érosion aréolaire a causé la dégradation, l'affaiblissement de l'épaisseur du sol et l'apparition de la roche nue : ici, des mesures de protection sont à prendre en compte pour sauver le sol contre le décapage et l'entraînement des particules engendrés par l'énergie des eaux de pluie. Selon Duchaufour (1970), il est possible de boiser ces endroits en brisant ces horizons pour qu'ils soient pénétrables par les racines. Toutefois, l'aménagement d'un couvert végétal sur des terrains érodés doit faire appel à des techniques de génie biologique (Rey *et al.* 2004). Pour les pentes raides comme à Deir Tahniche, parmi les solutions envisagées, nous suggérons de construire des terrasses agricoles, pour permettre de diminuer la rigidité de la pente et le développement de cultures convenant bien au sol comme les vergers et les oliviers. Cette pratique empêche la concentration du ruissellement et favorise l'infiltration (Neboit, 1991). La technique des terrasses agricoles a réussi dans certains villages comme à Aita el Fokhar où les agriculteurs ont cultivé des vergers sur ces terrasses. Cette pratique, qui permet de diminuer l'impact de la pente sur l'érosion et de fixer les sols, peut être pratiquée dans d'autres villages, ce qui peut contribuer à diminuer le risque d'érosion.

Le risque d'érosion menace, par débordement torrentiel, le couvert végétal, les cultures et les constructions. Ce phénomène est le résultat de plusieurs facteurs associés : en plus du facteur climatique qui favorise ce risque (Requillard *et al.*, 1997), il y a des facteurs humains comme le surpâturage et le déboisement de la montagne. Cela nécessite de réfléchir à la façon de traiter ce risque d'érosion en amont, par une politique

de RTM., restauration des terrains de montagnes (Muxart et Cosandey, 1990 ; Roose *et al.*, 1988). Une intervention rapide de l'État, pour la mise en place d'ouvrages de stabilisation des chenaux torrentiels, est primordiale. Avec cela, il est indispensable de mettre en place, en parallèle, une restauration des forêts en choisissant des espèces adaptées au contexte physique local. Cette solution n'est pas simple à appliquer compte tenu des réactions de la population résidente qui, pour des raisons socio-économiques, a besoin des pâturages d'altitude, aujourd'hui indispensables à la survie d'une pratique d'élevage. Si nous devons contrôler le pastoralisme d'altitude, il faudrait envisager des mesures de substitution, par exemple, augmenter la production fourragère en plaine. Pour contrôler le ruissellement superficiel, nous proposons le reboisement et le réensemencement des pâturages d'altitude. Cette solution est la plus efficace pour limiter l'érosion (Veyret *et al.*, 1998), notamment dans les secteurs où le taux de déboisement a été élevé et où prédominent des facteurs favorisant l'érosion hydrique : pentes fortes, faible capacité de rétention en eau et cohésion réduite des éléments pédologiques.

Sur le plan économique, l'aménagement proposé permet d'affronter la concurrence pour certaines productions agricoles, tout simplement, en ce qui concerne les terres arables, en modifiant les cultures d'une année à l'autre. Dans les années caractérisées par une diminution des précipitations, les exploitants agricoles se dirigent vers les cultures moins consommatrices d'eau : cela concerne les céréales. En revanche, la culture des vergers rend le changement moins dynamique. Cela peut s'observer lors des moments de crises économiques et lors des variations des marchés nationaux et internationaux. 70% des exploitants agricoles de la région d'étude sont des locataires, qui font des cultures de courte durée (annuelle). En revanche, les propriétaires ont tendance à exploiter des vergers ou des vignobles. Nous avons donc laissé le choix, pour certains sols, entre les terres arables et les cultures pérennes. Toutes ces cultures sont déjà pratiquées dans la plaine de la Bekaa. Notre proposition concerne le réaménagement de ces cultures, d'une part, pour les rendre compatibles avec les sols en place et les types de milieux géographiques et, d'autre part, pour réduire la sensibilité à l'érosion hydrique, ce qui permet à la fois de limiter la dégradation des sols et d'avoir une agriculture rentable et productive.

Il est clair que, dans ces conditions pédoclimatiques du secteur d'étude, la disparition de la végétation sur des sols particulièrement instables serait à l'origine de l'érosion. Cela a été clairement confirmé à partir d'observations de terrain. Sur les versants dénudés, qui délimitent cette partie de la plaine de la Bekaa, le déboisement a entraîné l'apparition du processus d'érosion, du fait de l'élimination d'une partie de la biomasse protectrice jointe à l'impact des pratiques d'exploitation. En revanche, dans le même secteur, là où le couvert végétal est maintenu, nous avons remarqué l'absence d'érosion. Dans la plaine, l'insuffisance de rotation agricole sur les sols limoneux a mené à la désagrégation des particules des sols et à la formation de croûtes de battance sur les sols labourés, il suffit d'une simple averse pour repérer un colmatage du sol. De nombreux travaux scientifiques cités dans cette étude soulignent le rôle du couvert végétal pour lutter contre l'érosion.

## Conclusion

Ce travail propose un outil d'aide à la décision, fondé sur les systèmes d'information géographique, pour l'aménagement agricole dans une région semi-aride, topographiquement mouvementée. Grâce à la mise en évidence des potentialités, en particulier agronomiques, du territoire étudié à l'intérieur de la Bekaa, nous proposons d'optimiser les cultures et de limiter la sensibilité à l'érosion dans le cadre d'une agriculture moderne. Pour ce faire, nous avons assimilé des cultures déjà existantes à une carte d'aménagement. Notre proposition n'est qu'un réaménagement des pratiques agricoles, d'une part pour qu'elles soient compatibles avec le sol et les secteurs géographiques et, d'autre part, pour limiter la sensibilité à l'érosion hydrique : ce qui permet à la fois de limiter la dégradation des sols et d'avoir une agriculture rentable et productive. Les vergers, en monoculture ou très prédominants, ne protègent pas assez le sol de l'érosion, posant ainsi un problème essentiel. Même en associant les vergers avec les céréales et les cultures maraîchères, le sol est moins bien couvert et le risque est plus grand que dans le cas des deux dernières.

Cette proposition a fait l'objet de discussions avec des agriculteurs, des agronomes et des chercheurs. Cependant, un plan d'aménagement fondé sur une association de plusieurs cultures, selon les types d'espaces, la pente, la qualité pédologique et l'intérêt pour le marché, quoiqu'un peu moins pertinent en terme de protection des sols, aurait l'avantage d'avoir la faveur non seulement des exploitants locataires, mais aussi d'une grande part des propriétaires et d'être, en quelque sorte, plus consensuel. Cette proposition sera mise à la disposition du centre de recherches agricoles libanais et des collectivités locales afin de sensibiliser les exploitants en matière de protection de l'environnement. Les avantages de cette proposition doivent être présentés sur place aux exploitants, mais ils constituent aussi une réflexion plus large, sinon généralisable, du moins utile à adapter aux régions semi-arides en particulier dans celles où la situation politique rend le travail de terrain difficile.

Les récents développements géopolitiques, par la situation de conflit en Syrie, pays limitrophe du Liban, ont ici des conséquences majeures à plusieurs échelles. Le Liban tout entier a été touché par les flux migratoires syriens en lien avec la guerre. Ainsi, le Haut Commissariat des Nations unies pour les réfugiés a recensé, en 2015, dans la plaine de la Bekaa, 24 079 familles installées dans des tentes, dont le nombre est estimé à 2 268 dans la région d'étude, avec une moyenne de six personnes par ménage. Ces habitats précaires prennent certes place généralement en périphérie des zones urbanisées, mais aussi certains secteurs agricoles de la plaine de la Bekaa en particulier. En conséquence, on observe actuellement une demande alimentaire accrue. Notons aussi que ces populations constituent aussi un potentiel de main-d'œuvre, bon marché, pour l'activité agricole. En effet, nombre de ces réfugiés s'emploient – souvent saisonnièrement — dans des exploitations agricoles, ce qui conduit à une réduction des coûts de production pour l'exploitant. Il est prématuré de tirer des conclusions sur cette évolution, mais on peut s'interroger sur les effets de cette main-d'œuvre à bas coût sur la rentabilisation de certaines productions et sur l'élargissement des espaces cultivés.

## Bibliographie

- AUERSWALD K. (1987). « Sensivitat erosions bestimmender Faktoren ». *Wasser und Boden*, vol. 39, n°1, p.34-38
- BARTHES B., DE NONI G., ROOSE E., ASSELINE J., ALBRECHT A., VIENNOT M. (1988). « Pratiques culturales et érodibilité du sol dans les Rougiers de Camarès (Aveyron) ». *Étude et gestion des sols*, vol. 5, n°3, p. 157-170.
- BOU KHEIR R. (2002). *Étude des risques d'érosion hydrique des sols par télédétection et SIG. Application à une région représentative du Liban*. Paris : Institut national agronomique Paris-Grignon, thèse de doctorat en sciences biologiques fondamentales et appliquées, 262 p.
- BOU KHEIR R., GIRARD M. C., SHABAN A., KHAWLIE M., FAOUR G., DARWISH T. (2001). « Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban ». *Télédétection*, vol. 2, n°2, p. 79-90. En ligne : <http://www.teledetection.net/upload/TELEDETECTION/pdf/20030107144618.pdf>
- DARWISH T., KHAWLIE M., JOMAA I., ABOU DAHER M., AWAD M., MASRI T., SHABAN A., FAOUR G., BOU KHEIR R., ABDALLAH C., HADDAD T. (2006). *Soil map of Lebanon 1/50000*. Beyrouth (Liban) : Conseil national de la recherche scientifique (CNRS), coll. « Monographies », n°4, 367 p.
- DUCHAUFOUR P. (1970). *Précis de pédologie*. Paris : Masson, 481 p.
- EL HAGE HASSAN H., VALADAS B., FAOUR G. (2009). « Apports d'une méthode SIG et de la télédétection pour l'étude de la limitation du risque érosif des terres agricoles ». Actes du congrès « Geotunis », Tunis, 16-20 décembre 2009.
- EL HAGE HASSAN H. (2011). *Les Apports d'un SIG dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Bekaa (Liban). Exemple d'un secteur du Bekaa el Gharbi*. Orléans : Université d'Orléans, thèse de doctorat en géographie, 381 p.
- EL HAGE HASSAN H., TOUCHART L., FAOUR G. (2013). « La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban ». *Mappemonde*, n°109-1, 17 p. En ligne : <http://mappemonde.mgm.fr/num37/articles/art13104.html>
- EL HAGE HASSAN H., CHARBEL L. et TOUCHART L. (2015). « Cartographie des conditions de l'érosion hydrique des sols au Mont-Liban : exemple de la région d'El Aaqouïra ». *Physio-Géo*, vol. 9, p. 141-156. En ligne : <https://physio-geo.revues.org/4572>
- EL-SWAIFY S.A., DANGLER E.W. (1977). « Erodibility of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters ». In FOSTER G.R., dir., *Soil Erosion : Prediction and Control*. Proceedings of the National Conference on Soil Erosion, mai 1976, West Lafayette, Indiana. Ankeny (Iowa) : Soil Conservation Society of America, n°21, 393 p.
- FAO. (1969). *Enquête pédologique et programmes d'irrigation connexes*. Liban, rapport final, vol. 2, pédologie, partie 2, les séries des sols inventoriés. Rome, 375 p.
- FAO. (1988). « Évaluation des Terres pour l'Agriculture pluviale ». *Bulletin pédologique de la FAO*, n°52. ISBN : 92520145
- FAO. (1989). « Évaluation des Terres pour l'Agriculture irriguée ». *FAO Soils Bulletin*, n°55. ISBN : 92520224
- LAMOUREUX M. (1967). « Contribution à l'étude de la pédogenèse en sols rouges méditerranéens », mission Orston Rayak Liban, *Science du Sol*, n°2, p. 55-85.

- LAMOUREUX M. (1972). *Étude de sols formés sur roches carbonatées : pédogenèse fersiallitique au Liban*. Paris : Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, coll. « Mémoires Orstom », 266 p.
- LE BISSONNAIS Y., MONTIER C., DAROUSSIN J., KING D. (1998). *Cartographie de l'aléa Érosion des sols en France*. INRA/IFEN, 77 p. ISBN : 2-911089-17-0.
- LE BISSONNAIS Y., THORETTE J., BARDET C., DAROUSSIN J. (2002). *L'érosion hydrique des sols en France*. Rapport IFEN/INRA, 106 p.
- LUKEN H., KRONE F. (1989). « Calcareous soils of Cyprus: five years erosion measurements (1981-1986) ». *Pedology, hydrochemistry and non metallic mineral resources*, vol. 5, 17 p.
- MORGAN R. (1986). *Soil erosion and conservation*. Harlow : Longman Scientific & Technical, 298 p. ISBN : 0-582-30158-0
- MUXART T., COSANDEY C. ET BILLARD A. (1990). *L'érosion sur les hautes terres du Lingas un processus naturel, une production sociale*. Paris : Éditions du CNRS. 146 p. ISBN : 978-2-222-04380-5
- NEBOIT R. (1991). *L'homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde*. Clermont-Ferrand : Presses universitaires Blaise Pascal, 269 p. ISBN : 2-84516-062-3
- PAP/RAC-FAO (2007). *Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-Induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas*. Split (Croatie) : Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO, xii+70 p. ISBN : 953-6429-08-X
- PAP/RAC (2004). *Improving Coastal Land Degradation Monitoring in Lebanon and Country Report: Syria*. Split (Croatie) : Priority Actions Programme, 165 p. ISBN 953-6429-52-7. En ligne : <http://www.pap-thecoastcentre.org/pdfs/CoLD%20SYRIA%20-%20Country%20Report.pdf>
- POESEN J.W.A., HOOKE J.M. (1997). « Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of Southern Europe ». *Progress in Physical Geography*, vol. 21, n°2, p. 157-199.
- REQUILLARD J.-P., HESPEL F., SEGEL V. (1997). « Évolution de la politique de protection contre les torrents au cours de ces deux derniers siècles ». *Risques Infos*, n°8, 5 p. En ligne : [http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques\\_infos/N08/article05.pdf](http://www.irma-grenoble.com/PDF/risques_infos/N08/article05.pdf)
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. (1997). « Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) ». Département de l'Agriculture des États-Unis, *Agriculture Handbook*, n°703. En ligne : [http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH\\_703.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf)
- REY F., BALLAIS J.-L., MARRE A, ROVÉRA G. (2004). « Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface ». *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 336, n°11, p. 991-998. En ligne : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071304001506>
- ROOSE E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Rome : FAO, coll. « Bulletin pédologique de la FAO », n°70, 420 p. ISBN 92-5-203451-X
- ROOSE E, ARABI M. (1994). *Intensification de l'agriculture sans dégradation en montagne méditerranéenne*. Rome : FAO, coll. « Bulletin pédologique de la FAO », n°70, p. 363-370.

- ROOSE E., DE NONI G. (1988). Apport de la recherche à la lutte antiérosive. Bilan mitigé et nouvelle approche. *Étude et Gestion des Sols*, vol. 5, n°3, p. 181-194.
- ROOSE E., Sarrailh J.-M. (1989). « Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles ». *Cahiers ORSTOM*, série Pédologie, vol. 25, n°1-2, p. 7-30. En ligne : [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/cahiers/PTP/30456.PDF](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/30456.PDF)
- TOUSSOU R.C., VODOUHE S.D., FANOU J.A., BABADANKPODJI P.A., KOUEVI A.T., AHOLOUKPE H. (2006). « Caractéristiques physico-chimiques et aptitudes culturales de sols de la conurbation Abomey-Bohicon, Bénin ». Université d'Abomey-Calavi, Faculté des sciences agronomiques, *Écociété* série « documents de travail », n°9. En ligne : <http://www.ecocite.org>, 23 p.
- VEYRET Y., dir. (1998). *L'Érosion entre nature et société*. Paris : SEDES, coll. « DIEM Dossiers des images économiques du monde », 344 p. ISBN : 2-7181-9189-9
- VEYRET Y., VIGNEAU J.-P, dir. (2002). *Géographie physique. Milieux et environnement dans le système terre*. Paris : Armand Colin, coll. « U-Série Géographie », 368 p. ISBN : 2-200-25236-6
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978). « Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning ». Département de l'Agriculture des États-Unis, *Agriculture Handbook*, n°537, 58 p.

## **Adresses des auteurs**

Hussein El Hage Hassan, Université Libanaise. Laboratoire de rattachement, CEDETE (EA 1210), Université d'Orléans. Courriel : [hussein.el-hage-hassan@univ-orleans.fr](mailto:hussein.el-hage-hassan@univ-orleans.fr)

Laurent Touchart, laboratoire de recherche, CEDETE (EA 1210), Université d'Orléans. Courriel : [laurent.touchart@univ-orleans.fr](mailto:laurent.touchart@univ-orleans.fr)

Françoise Ardillier Carras, laboratoire de recherche, CEDETE (EA 1210), Université d'Orléans. Courriel : [francoise.ardillier@univ-orleans.fr](mailto:francoise.ardillier@univ-orleans.fr)

Ghaleb Faour, Centre national de télédétection, CNRS Liban. Courriel : [gfaour@cnrs.edu.lb](mailto:gfaour@cnrs.edu.lb)