

ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS BOUEUX, “SAILS”, DANS LA BÉKAA SEPTENTRIONALE EN UTILISANT LE SIG ET LA TÉLÉDÉTECTION – CAS DE OUADI-EL- FAKÉHÉ

M. Chreim, M. Awad¹ et T. Darwish¹

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur, Beyrouth, Liban

¹ Conseil National de la Recherche Scientifique, B. P. 11-8281, Beyrouth, Liban
mawad@cnsr.edu.lb

RÉSUMÉ

Un écoulement boueux, “sail”, est un phénomène naturel typique des oueds secs, situés dans les régions arides et semi-arides. Il résulte des averses orageuses qui se déclenchent à la fin de la saison humide et font fonctionner brusquement les oueds secs affluents de la rivière Assi.

À cause des conséquences catastrophiques sur l'environnement et l'économie des villages, il est indispensable de disposer d'une étude globale sur l'oued sec de Fakéhé pour lequel les données géomorphologiques, hydrologiques, climatiques, ont été dans la mesure du possible analysées et étudiées.

Pour cela on a eu recours aux techniques de la télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG) pour l'étude des caractéristiques hydrologiques telles la nature du réseau hydrologique, l'indice de drainage, la perméabilité des roches, la raideur des pentes.

Tous ces facteurs ont été intégrés dans le (SIG) pour fonder un modèle qui définit les zones les plus dangereuses qui aident au déclenchement des “sails”.

Ensuite des solutions convenables ont été proposées telles le terrassement et le reboisement des pentes raides à Tniyet -el- Fakéhé, l'élargissement et le creusement en U du lit du “sail” pour renfermer les gros flots boueux, puis sa canalisation pour protéger les champs agricoles.

Mots-clés: géomorphologie, télédétection, Système d'Information Géographique, “sail”

ABSTRACT

Flash flood or “sail”, is a typical flow of mud through dry valleys which are located in an arid and semi-arid area. It is the outcome of torrential rain which occurs suddenly during the end of the wet season and covers the dry valley of Assi river. It causes catastrophic consequences on the environment and the economy of some villages in the North Beqaa. It is essential to make a comprehensive study on the dry valley of Fakehe village which includes an analysis of the geo-morphological, hydrological, and climatic factors.

Remote Sensing and Geographic Information System (GIS) are considered as an effective and advanced technological tool to study the hydrological characteristics of Fakehe

valley such as the nature of hydrological network, drainage index, soil permeability, and slope gradient. Then combining together all these factors using a (GIS) model one can identify the weak spots which cause or intensify the flash floods.

After identifying the sensitive areas in Fakehe area many appropriate solutions are proposed to reduce the effects of the "sail" such as terraces and reforestation of steep slopes. Another solution is to widen and deepen the U form of the flash flood bed in order to contain the big muddy waves. Finally, the installation of many pipes is another solution to protect farmlands.

Keywords: geo-morphology, remote sensing, Geographic Information System, "sail"

INTRODUCTION

Le "sail" est un mot d'origine arabe qui signifie un écoulement boueux. Il est typique des oueds secs situés dans les régions arides et semi-arides, comme dans la région semi-aride de la Békaa septentrionale située au nord-est du Liban. Les "sails" résultent des averses tardives printanières qui se déclenchent et font fonctionner les oueds secs, surtout à Fakéhé.

Ces "sails" dévastateurs ont des conséquences catastrophiques sur l'environnement, l'agriculture, et l'économie des villages dans la Békaa septentrionale, comme c'est le cas des "sails" de 2004 et 2007 à Fakéhé.

Pour réaliser une étude approfondie du bassin versant de Ouadi-el-Fakéhé on a besoin de créer une carte de ce bassin dont l'objectif est d'étudier ces caractéristiques physiques, puis de traiter les problèmes résultant des "sails" (problèmes environnementaux, agricoles, et économiques) afin de trouver les solutions convenables.

La Békaa nord est une dépression empruntée par l'Oronte en contre – bas du point le plus haut de la chaîne libanaise et jusqu'au pied de l'Anti-Liban. C'est précisément le compartiment septentrional de l'Anti-Liban qui s'étend de Talaat Moussa (2629 m) au sud-est , jusqu'à Jabal Halimé (2200 m) au nord-est, en passant par le Zembrani (2364 m) (Hakim, 1982).

La Békaa nord est une région semi-aride du fait de sa situation à l'abri du Mont-Liban obstacle à la pénétration des influences maritimes. C'est une région sèche ne recevant que 200 à 400 mm/an de précipitations selon la carte climatique de Besançon (1972) (voir Figure 1). Mais elle est caractérisée par des averses orageuses printanières liées à des gouttes froides situées à haute altitude causant des "sails" dévastateurs (Blanchet, 1976).

Une goutte froide c'est l'aspect que prend une invasion d'air polaire ou arctique. Lorsqu'elle parvient à des latitudes plus ou moins méridionales, elle cesse d'être rattachée à sa source. Les isobares qui la matérialisent au niveau des 500 hpa présentent une forme circulaire et cette invasion polaire coïncide le plus souvent avec une dépression (Traboulsi, 2004). Une goutte froide a des effets directs sur le temps au Liban, car de sa position au dessus du Proche-Orient à haute altitude dépend le risque de précipitations, surtout quand cette dépression s'isole au dessus du Liban ou à sa proximité immédiate.

Le rôle pluviométrique des gouttes froides est particulièrement marqué au printemps. Les mois de mars, d'avril, de mai et parfois de juin sont les plus affectées, surtout dans la région intérieure du nord de la Békaa (Baalbeck, Fakéché, Ras Baalbeck, Qaa, Hermel) où la part des précipitations par le régime des gouttes froides est de 45% à Hermel (Blanchet, 1993).

Les oueds secs sont une caractéristique dominante de l'Anti-Liban septentrional. Ce sont des gorges étroites traversant des terrains calcaires et dénudés, pour arriver à leur confluence avec l'Oronte. Le fonctionnement de ces oueds est brutal et leur effet est dévastateur.

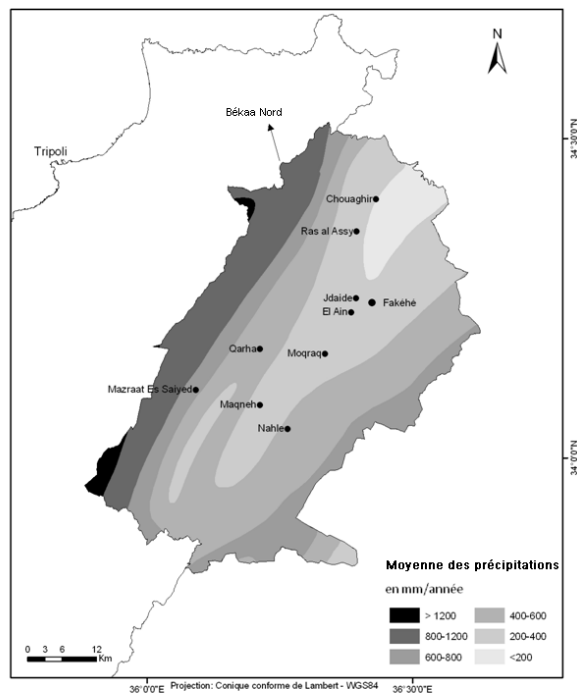


Figure 1. Carte de pluviométrie moyenne annuelle dans la Békaa Nord.

Un intérêt particulier est mis sur le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéché, surtout après les "sails" de 2004-2007, qui ont laissé derrière eux des nuisances économiques très graves. Les Figures 2a et 2b montrent les dégâts causés au réseau routier dans cette région.

Les "sails" dans le nord de la Békaa n'ont fait l'objet d'aucune étude. Une étude du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéché a été effectuée par le bureau d'ingénierie Khatib et Alami en 1994.

En 2007, le Centre Arabe d'Études sur les Régions Arides et Sèches (ACSAD) en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture a entrepris une étude du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé. Dans cette étude on va analyser les caractéristiques physiques du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé et donner des exemples des nuisances causées par les "sails". Les moyens suivis dans l'utilisation du (SIG) et de la télédétection seront expliqués. Finalement, des solutions convenables seront suggérées pour remédier à ce problème.



Figure 2. Les nuisances économiques des "sails". Réseau routier (a) avant, (b) après le "sail".

CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE ET MATÉRIELS

Le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé est situé dans le compartiment septentrional de l'Anti-Liban au pied de Jabal Halimé (2200 m) –Zemrani (2364 m) (Figures 3 et 4). Ce bassin versant est orienté du sud-est au nord-ouest sur une superficie de 85.2 km², un périmètre P=66.4 km, une longueur L=30.56 km, et une largeur l=2.79 km.

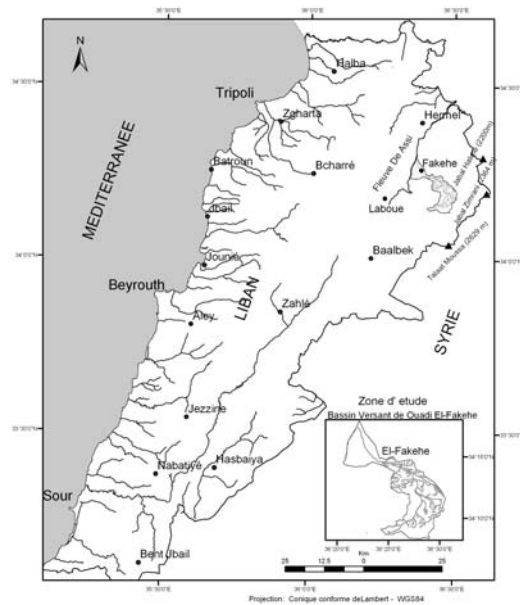


Figure 3. Zone d'étude.

La carte topographique (DAG, 1961) du bassin-versant (Fig. 4) montre qu'il est formé d'un bassin de réception totalement montagneux, constitué de quatre principaux ravins qui sont: Sahlet Quamouq-el-Quaïquab, Ouadi Hmaid, Ouadi-ez-Zaarour, et Ouadi Fakhoun. Ces quatre principaux ravins du bassin de réception s'unissent en un seul lit à Chooabet-el-Khatib qui est l'amont du canal d'écoulement ou Tniyet-el-Fakéhé. C'est une longue gorge de forme serpentine, qui s'étend de Chooabet-el-Khatib jusqu'à Rouss-el-Aïn (Chreim, 2009).

Tniyet-el-Fakéhé est caractérisé par une vallée aux pentes abruptes. Ces dernières sont formées de collines rocheuses, finement déchiquetées.

Le cône de Ouadi-el-Fakéhé est situé au débouché du Tniyet-el-Fakéhé à l'ouest du village. C'est une grande surface plane de forme triangulaire dont la pointe est orientée vers Rouss-el-Aïn. La base est située sur la rive de l'Oronte. Ce cône est faiblement incliné et assez uni à pente douce inférieure à 10°. Il occupe tout l'espace entre l'escarpement bordier et le drain axial. C'est un grand cône d'ablation à emboîtement net qui passe vers l'aval à un glacis d'accumulation (Besançon, 1993).

Le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé est un oued sec caractérisé par un régime d'écoulement temporaire et discontinu. Son réseau organisé est caractérisé par la multiplicité des ravins de caractères intermittents, du fait de la concentration du ruissellement durant les averses tardives et orageuses (Chreim, 2009).

Selon la carte d'occupation de la terre (Figure 5) (CNRS, 2005) le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé est presque dénudé du fait de l'aridité de la région. La surface verte couvre seulement 15% de la superficie du bassin-versant, 73% sont presque dénudés sauf quelques assemblages de la végétation herbacée très clairsemée, 9% de la surface sont occupés par des carrières et sol nu, 3% sont occupés par l'habitat de l'homme. Cette absence de la couverture végétale rend le sol sec et nu ce qui accélère l'impact des gouttes de pluie cela renforce le ruissellement surtout sur les pentes fortes entraînant le déclenchement des "saïls" dévastateurs.

Selon la carte du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé (Darwich *et al.*, 2006) on remarque que les sols imperméables (Figure 6) couvrent 42.5 km² de la surface du bassin-versant (85.2km²) et les sols semi-perméables couvrent 31.1 km², tandis que les sols perméables couvrent seulement 11.6 km².

Cette grande surface occupée par les sols imperméables et semi-perméables (42.5+31.1=73.6 km²), c.à.d. 86.5 % de la superficie du bassin-versant, gêne la vitesse de l'infiltration des eaux de précipitations qui est parfois inférieure à la pluviométrie (I=50mm/j).

Selon la carte des pentes (Figure 7) du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé (CNRS, 2004), la raideur des pentes joue un rôle capital dans le ruissellement du fait du caractère orageux des précipitations. Les pentes sont classifiées en six classes:

-La pente forte (60-30 degrés) à Dahr Safa-el-Lezzabé et tout au long de Ouadi-at-Tniyet couvre 11% de la superficie du bassin-versant

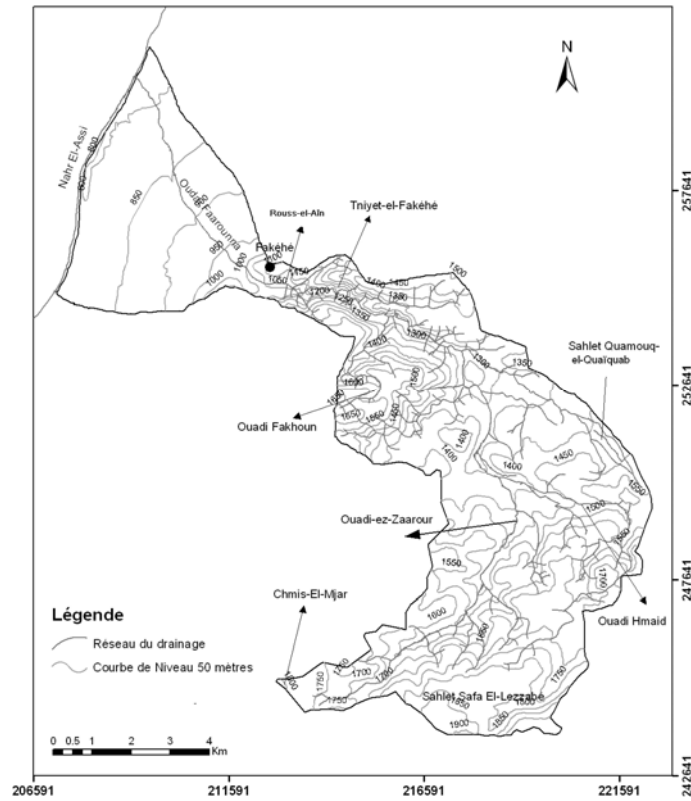


Figure 4. Carte topographique du bassin versant de Ouadi-el-Fakéhé.

- la pente inclinée (30-15 degrés) couvre plus du tiers (31%) et se trouve sur les versants de Ouadi-ez-Zaarour, Ouadi Hmaid et Ouadi Fakhoun
- La pente roulée (15-8 degrés) se trouve en bas des versants à Ouadi Hmaid, Ouadi-ez-Zaarour et dans la région de Rouss-el-Aïn couvre 19% de la superficie du bassin-versant
- La pente onduleuse (8-5 degrés) occupe la majorité du glacis d'ablation et couvre 17% de la superficie du bassin-versant
- La pente douce onduleuse (5-2 degrés) couvre la partie basse du glacis d'ablation située sur la rive de l'Oronte et constitue 16% de la superficie du bassin-versant
- La pente assez plane (2-0 degrés) couvre l'extrême nord-ouest du glacis d'ablation située sur la rive de l'Oronte et couvre seulement 6% de la superficie du bassin-versant.

On remarque que la pente forte et inclinée couvre presque la moitié de la superficie du bassin-versant (11+31=42%) surtout à Dahr Safa-el-Lezzabé et à Tniyet-el-Fakéhé. Cette raideur de la pente accélère la concentration du ruissellement durant les averses orageuses par suite de sa vitesse et la rapidité d'écoulement vers le lit de l'oued.

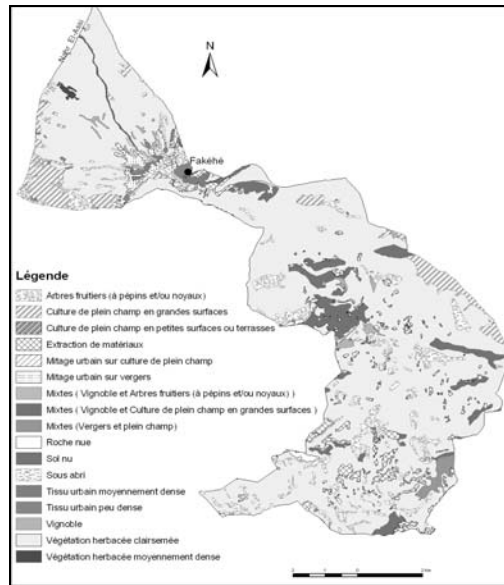


Figure 5. Carte d'occupation de la terre.

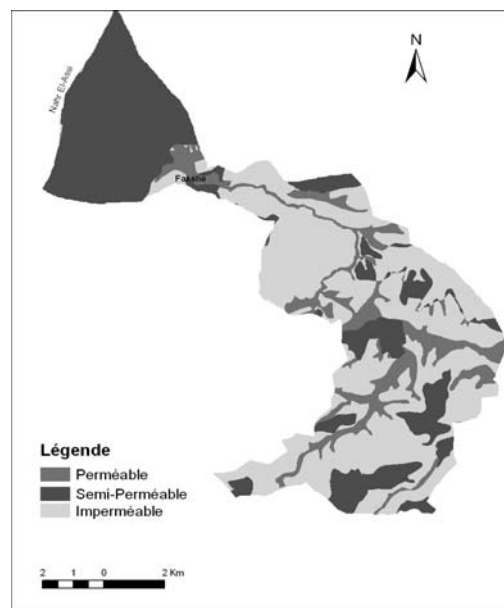


Figure 6. Carte de la perméabilité.

L'absence de couverture végétale, l'imperméabilité du sol, la raideur des pentes, en plus de l'intensité pluviométrique, sont les principaux facteurs déclencheurs du "sail". Mais quand ces facteurs se trouvent ensemble dans une même région du bassin-versant, il se forme ce qu'on appelle les zones dangereuses au moment des orages, ou des zones à hauts risques qui interviennent directement dans le déclenchement du "sail".

Ces zones dangereuses ont été définies en utilisant les techniques de télédétection et le Système d'Information Géographique (SIG).

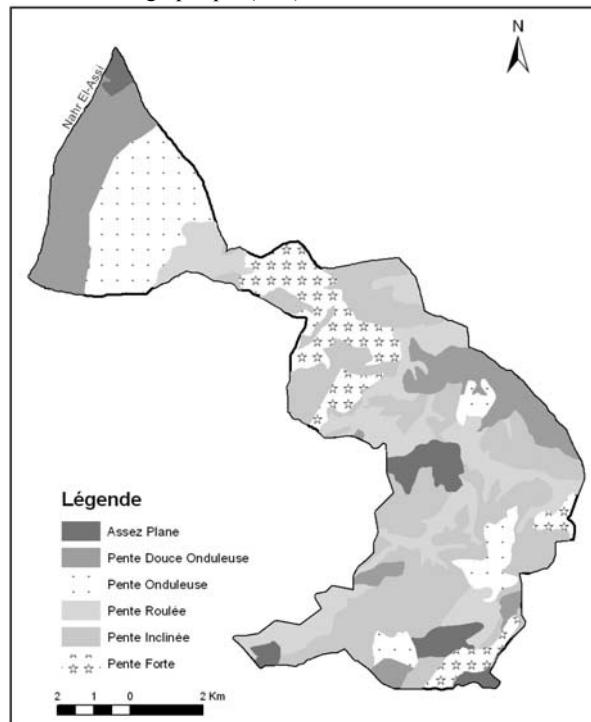


Figure 7. Carte des pentes.

NUISANCES DES "SAILS"

Le "sail" est une véritable catastrophe naturelle de la Békaa Nord. C'est un grand problème climato-socio-économique.

L'année 1987 a été l'année des "sails" à Fakéhi (DFO, 2003), car il y a eu déclenchement de sept "sails" laissant derrière eux des dégradations très graves dans tous les domaines. La vallée de Rouss-el-Aïn a été la première endommagée car elle est située au débouché de l'oued où le lit du "sail" passe à Ouadi Faarounna vers l'Oronte. L'eau boueuse a ravagé tous les arbres fruitiers à Rouss-el-Aïn. Les champs situés de part et d'autre du lit du "sail" ont été complètement détruits. Le sol a été couvert par une épaisse couche de boue

colloïde et pâteuse. Les “sails” de 1987 ont obstrué complètement la source de Nabaa-el-Fakéhé par une épaisse couche de boue et ont dévasté quelques maisons situées près du lit du “sail”.

L'eau boueuse a traversé les champs de Rouss-el-Aïn vers Jdaïdet-el-Fakéhé et a détruit complètement le pont routier qui joint Fakéhé à Jdaïdet avant de se déverser finalement dans la gorge sèche de l'Oronte.

Après les deux “sails” de 1994, le ministère des ressources hydro-électriques, avec la collaboration du bureau d'ingénierie Khatib et Alami, a exécuté le projet de la protection des terres agricoles des nuisances des “sails” à Fakéhé.

Les entrepreneurs ont construit, à partir de Bab-at-Tniyet à Rouss-el-Aïn, avec une inclinaison de 5% suivant la pente, deux murs de béton armé sur les deux flancs du lit du “sail” de 6 m de hauteur (3 m sont souterrains), sur une longueur de 1000 m sur le flanc est et 300 m sur le flanc ouest. L'épaisseur de chaque mur est de 40 cm.

Ces deux murs construits sur les deux flancs du lit du “sail” paraissent utiles car ils canalisent l'eau boueuse à Rouss-el-Aïn et contribuent à protéger la source de Nabaa-el-Fakéhé (100 l/s) et les champs situés de part et d'autre du lit du “sail” à Rouss-el-Aïn.

Mais cette solution paraît temporaire et ne résoud pas le problème, car on se trouve en présence d'un régime hydrologique d'oued temporaire et imprévisible qui peut varier en débit, durée de ruissellement, et volume des matériaux transportés. Ces murs de béton armé peuvent être sérieusement endommagés par les grosses roches transportées par l'eau boueuse après chaque nouveau “sail”. En 2004, un grand “sail” a été déclenché à Fakéhé. En mai 2007, des “sails” dévastateurs ont été déclenchés à Fakéhé laissant derrière eux des nuisances très graves, et jusqu'à présent le problème du “sail” n'a pas été résolu.

MÉTHODE UTILISÉE ET RÉSULTATS

Dans cette étude du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé on a eu recours aux techniques de télédétection et au SIG pour étudier et analyser les caractéristiques physiques du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé. La méthode utilisée est basée sur le multicritère SIG. Plusieurs propriétés des critères sont extraites de plusieurs couches qui représentent les caractéristiques géographiques de la zone d'étude. SIG permet au décideur d'identifier une liste répondant à un ensemble prédéfini de critères avec le processus de recouvrement (Heywood *et al.*, 1993), et l'analyse de décisions multicritères dans les SIG peut être utilisée pour développer et évaluer des plans alternatifs qui peuvent faciliter un compromis entre les parties intéressées (Malczewski, 1996). Les facteurs déclencheurs du “sail”, comme la moyenne pluviométrique annuelle, les dimensions du bassin-versant, les pentes, l'utilisation des terres, le type du sol et l'imperméabilité, ont été pris en compte dans le modèle multicritère SIG (Henderson *et al.*, 1996).

Cette méthode utilisée consiste à extraire toutes les informations des cartes (utilisation du sol, sol, pente, climat, *etc.*) et les renouveler à travers le travail sur le terrain avec l'aide des images satellitaires à haute résolution [Ikonos-2 – 2005].

Les cartes anciennes, comme la carte topographique, la carte de la couverture végétale, *etc...*, sont analysées et renouvelées à travers les techniques de télédétection et du (SIG).

Pour déterminer les zones dangereuses (zones qui aident au déclenchement des "saïls") on a inventé un modèle basé sur le multicritère SIG (Tableau 1). Ce modèle peut créer des cartes thématiques à partir de cartes principales du bassin-versant. Il est le résultat d'une intégration de ces cartes thématiques avec une analyse du résultat de cette intégration à travers les paramètres suivants (occupation du sol, degré de pente, perméabilité du sol).

Les résultats du modèle multicritère SIG sont montrés dans la Figure 8. Les éléments les plus importants de ces résultats sont les zones à hauts risques (forte influence):

- La haute région de Dahr Safa-el-Lezzabé
- Le versant est de Ouadi Hmaid
- Les bas versants de Ouadi- ez-Zaarour
- La région de Hqab-es-Saoura
- Les deux versants de Ouadi-at-Tniyet

Afin de vérifier les résultats du modèle on a choisi plus de 150 points géographiques qui sont sélectionnés de la carte de risque. Un système de positionnement global (GPS) avec une grande précision (moins de 2 mètres) est utilisé dans le processus de vérification. La plupart des zones à haut risque ont été accessibles pendant le travail de terrain et les résultats montrent que la précision du modèle est $> 90\%$.

TABLEAU 1

Catégories des Risques du "Saïl" qui Sont Obtenues par le Multicritère SIG

Les critères	Forte Influence	Influence Modérée	Faible Influence	Pas d'Influence
<i>Occupation des sols</i>	Végétation herbacée clairsemée Et/ou Sol nu	Vignoble	Tissu urbain	Arbres fruitiers
<i>Pentes</i>	Forte $p \geq 30$	Roulée $8 \leq p < 15$	Onduleuse $5 \leq p < 8$	Assez plane $p < 5$
<i>Sols</i>	Imperméable	Semi perméable	Perméable	Haute perméabilité

Selon les caractéristiques géographiques de ces zones dangereuses qui sont obtenues dans ce modèle, on a proposé les solutions convenables, qui sont au nombre de quatre:

1) Le terrassement des zones à pentes fortes comme la haute région de Dahr Safa-el-Lezzabé, le versant est de Ouadi Hmaid, et les deux versants de Tniyet-el-Faké. Ce

terrassement sert à diminuer l'inclinaison forte de la pente, en vue de diminuer la rapidité du ruissellement direct durant les averses orageuses.

2) Le reboisement des terrasses diminue l'érosion hydrique. Les racines des arbres préservent la cohérence du sol et favorisent la perméabilité. Cela aide l'eau des averses à s'infiltrer dans le sol des terrasses. Cela réduit le volume d'eau ruisselée dans le lit de l'oued durant l'averse.

3) La troisième solution indispensable est l'élargissement du lit du "sail" à 20 m et le creusement jusqu'à une profondeur de 10 m en vue de contenir les gros flots boueux des "sails" parfois successifs (3 "sails" durant 24 h à Fakéh le 17 Mai 2007). La canalisation de ce lit sur les deux flancs depuis Bab-at-Tniyet à Rouss-el-Aïn jusqu'à Ouadi-Om-Houssein, point de confluence du lit du "sail" avec la gorge de l'Oronte, a pour but d'organiser le ruissellement de l'eau boueuse à Rouss-el-Aïn. Elle sert à protéger la source de Naba-el-Fakéh et les champs agricoles situés de part et d'autre du lit du "sail" à Rouss-el-Aïn.

4) Le creusement des lacs artificiels en bas des versants, au lieu des flaques d'eau boueuse qui se concentrent de part et d'autre du lit du "sail" durant les averses, surtout à Ouadi-ez-Zaarour.

Ces lacs artificiels dispersés recueillent l'eau des averses ainsi que l'eau boueuse des "sails". Cela diminue le volume du flot boueux. Ces lacs artificiels aident encore dans l'irrigation des terres agricoles.

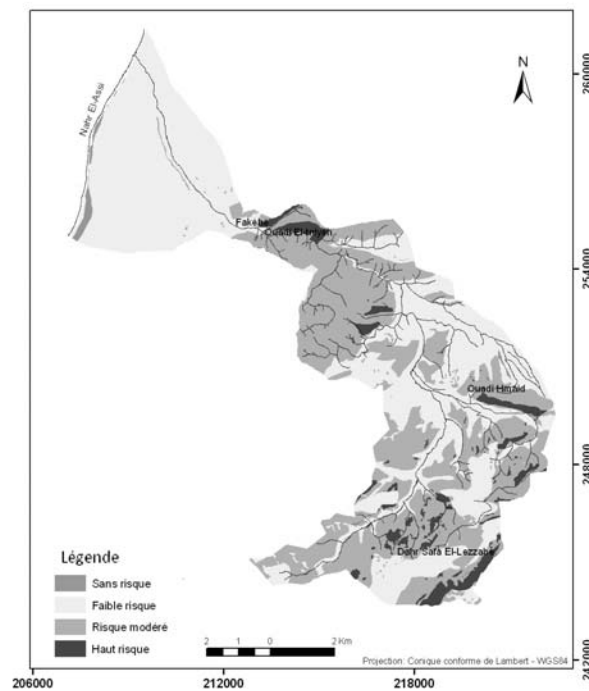


Figure 8. Carte des zones à risques de "sail" (coulée boueuse).

CONCLUSION

Le "sail" est un grand problème naturel dans la région de la Békaa septentrionale qui fait fonctionner les oueds secs à Fakéhé, Ras Baalbeck et Qaa. C'est le résultat des averses orageuses tardives qui se déclenchent à la fin de la saison humide. Ces "sails" ont des conséquences très graves sur l'économie et l'environnement à Fakéhé et les autres villages environnants.

Un intérêt particulier pour l'étude du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé est indispensable, surtout après les "sails" dévastateurs de 2007 qui ont laissé derrière eux des nuisances catastrophiques dans tous les domaines.

Dans cette étude on a eu recours aux techniques de télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG), pour étudier et analyser toutes les informations des cartes pédologiques, couverture végétale et pentes, du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé. Puis on a fait intégrer ensemble toutes ces informations dans le Système d'Information Géographique (SIG), pour fonder un modèle qui définit les zones dangereuses (forte pente, haute imperméabilité, occupation du sol) du bassin-versant qui aident au déclenchement des "sails", et selon la situation de ces zones dangereuses on a proposé des solutions convenables qui peuvent éviter ou au moins diminuer les nuisances des "sails".

Ces solutions sont les suivantes:

- Le terrassement des zones dangereuses à pentes fortes; comme la haute région de Dahr Safa-el-Lezzabé, le versant est de Ouadi Hmaid, et les deux versants de Tniyet-el-Fakéhé. Ce terrassement sert à diminuer l'inclinaison des pentes, et par suite, à diminuer le ruissellement
- Le reboisement des terrasses dans ces trois zones dangereuses pour préserver la cohérence du sol et favoriser la perméabilité
- L'élargissement du lit du "sail" pour qu'il puisse renfermer les gros flots boueux
- Le creusement des lacs artificiels au bas des versants surtout à Ouadi-ez-Zaarour. Ces lacs récoltent l'eau des averses et retiennent l'eau boueuse du "sail" surtout après les averses.

REMERCIEMENTS

Mon grand merci pour les chercheurs dans le Conseil National de la Recherche Scientifique (CNRS) et le Centre National de Télédétection (CNT).

RÉFÉRENCES

- Besançon, J. 1993. Note sur l'hydrologie du Liban intérieur. *Revue de Géographie Libanaise (Hannon)*, 22: 27-34.
- Besançon, J. 1972. Carte pluviométrique 1:200000 du Liban.
- Blanchet, G. 1993. Circulation atmosphérique et précipitations au Liban. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 6: 325-332.
- Blanchet, G. 1976. *Le temps au Liban. Approche d'une climatologie synoptique*. Thèse de 3ème cycle, Lyon 2, 2 tomes, 447 et 366 pages.
- Chreim, M. 2009. *Etude du "sail" dans la Békaa septentrionale*. Thèse de géographie, publications de l'Université Libanaise, Beyrouth.
- CNRS 2004. Carte 1:50000 de la couverture végétale du Liban.

- CNRS 2005. Carte 1:20000 des pentes du Liban.
- Darwich, T., Khawlie, M., Jomaa, I., Abou Daher, M., Awad, M., Shaban, A., Faour, G., Bou Kheir, R., Abdallah, C., Haddad, T. 2006. Soil map of Lebanon scale 1/50000. *Monograph series*, no. 4, CNRS, Lebanon.
- Dartmouth Flood Observatory (DFO) 2003. *Global active archive of large flood events*. <http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/index.html>. Accessed September 2011.
- Direction des Affaires Géographiques (DAG) de l'Armée Libanaise 1961. Carte topographique 1 :20000 du bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé: assemblage des trois cartes topographiques de Aarsal, Halimé, Atneine.
- Hakim, B. 1982. *Recherches hydrologiques et hydrochimiques de quelques karsts méditerranéens Liban-Syrie-Maroc*. Thèse de doctorat d'état (géographie physique – hydrogéologie karstique), Aix Marseille, France.
- Henderson, J.A., Molacek, R.W., Buzard, C.F. and Carlton, D.K. 1996. GIS and the floodplain management planning process in Washington State. *ESRI, User Conferences Proceedings '96*.
- Heywood, D.I., Oliver, J.S. and Tomlinson, S.J. 1994. Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support. *In: P. Fisher, editor, Innovations in GIS*, Taylor & Francis, London, pp. 127- 137.
- Khatib et Alami 1994. *Rapport d'étude sur le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé*. 50 p.
- Malczewski, J. 1996. A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8): 955-971.
- Ministère de l'Agriculture 2007. *Rapport d'étude sur le bassin-versant de Ouadi-el-Fakéhé*. pp. 65.
- Traboulsi, M. 2004. *Les précipitations au Proche-Orient : variabilité spatio-temporelle et relation avec la dynamique de l'atmosphère (1960-61/1989-90)*. Thèse de géographie, Université de Bourgogne, 233 p.