

Modélisation statistique des inondations dans les régions de Rayaq-Haouch Hâla, d'Aali en Nahri et d'El Fourzol du bassin versant de la rivière de Hâla

Naji Kehdy*

Résumé

À travers les années, les inondations ont toujours menacé les communautés humaines résidant autour des rivières des bassins versants où les conditions physiques et humaines constituent des facteurs stimulants. Souvent, ces phénomènes catastrophiques provoquent des pertes matérielles et humaines que les États ne peuvent supporter. Par conséquent, les scientifiques ont essayé d'utiliser des méthodes scientifiques telles que les modèles statistiques afin de comprendre et d'expliquer leurs causes. Aussi le bassin versant de la rivière de Hâla, un sous-bassin du bassin versant de la rivière Litani, est-il une zone typique pour une étude adoptant ce type des modèles. Le 13 mars 2020, une inondation a provoqué des pertes matérielles dans les zones adjacentes à l'aval de la rivière de Hâla dont on ne connaît pas les causes. Notre étude porte sur la détermination du moteur principal ayant conduit à cette inondation ainsi que sur la découverte des facteurs ayant affecté le niveau d'eau de la rivière dans notre zone d'étude. Celle-ci comprend notamment des parties de Rayaq-Haouch Hâla, Aali en Nahri et El Fourzol. Ainsi, à travers les modèles statistiques météorologiques, nous avons pu déterminer la température comme principal moteur de cette inondation. De plus, nous avons utilisé le modèle de la régression linéaire simple qui nous a permis d'identifier plusieurs facteurs influençants dont les plus importants sont : la largeur du cours d'eau, les zones urbaines et l'imperméabilité du substratum. La lutte contre les inondations est un travail collectif qui implique toutes les autorités locales et nationales. Elle contribue à protéger les surfaces urbaines et les zones agricoles de ce risque.

Mots-clés : Bassin versant, régression linéaire, analyses de correspondances multiples, crue, inondation.

1. Introduction

Les inondations résultant de la crue définie comme la montée temporaire des eaux dans les différentes parties des cours d'eau (Roche et al, 2012) constituent un grand défi pour les autorités des zones urbaines des bassins versants du monde : il s'agit de protéger ces zones à risque d'inondation et de minimiser, autant que possible, les pertes physiques et humaines qui en résultent. Durant 26 années, depuis 1990 jusqu'à 2016, les inondations ont affecté plus de 2.8 milliards de personnes à travers le monde (Guha-Sapir et al. 2016).

Faire face à une telle crise demande un processus scientifique méticuleux. Ainsi, posée dès le début des années 1980, la modélisation a formé un grand outil d'aide. Parmi les divers types de

* Université Libanaise

modélisation utilisés, on distingue le modèle statistique de régression linéaire qui permet de déterminer le degré d'influence des variables explicatives sur une variable dépendante. On sélectionne, également, les modèles déterminant la similarité des variables et des individus statistiques, comme le modèle de l'Analyse des Composantes Principales (ACP) et celui de l'Analyse de Correspondances Multiples (ACM).

En outre, si les averses ou bien l'augmentation brutale de la température conduisant à la fonte des neiges sont des variables génératrices des crues, d'autres facteurs tels que le mauvais aménagement des cours d'eau, les grandes surfaces urbanisées, les zones vertes limitées et le substratum imperméable pourraient être des variables déclenchant des inondations dans les régions du bassin versant qui présentent une similarité perceptible concernant les valeurs de ces variables.

Notre région d'étude formée de *Rayaq-Haouch Hâla*, d'*Aali en Nahri* et d'une petite partie agricole d'*El Fourzol* fait partie du bassin versant de la rivière de Hâla. Cette région a connu une inondation résultant d'une crue qui s'est produite le 13 mars de l'année hydrologique 2019-2020, sachant qu'aucune averse n'a eu lieu au niveau de toutes les régions de ce bassin versant durant ce jour ou bien au cours des jours qui le précèdent.

Cette situation nous pousse à poser les questions suivantes : Quel est le moteur qui a généré cette crue dans notre région d'étude ? Pourquoi, parmi toutes les autres régions de ce bassin versant, cette crue n'a-t-elle eu lieu que dans cette région ?

En somme, l'objet de notre étude est donc de connaître, en général, le/les facteurs produisant la crue dans le bassin versant de la rivière de Hâla et en particulier, le poids de chacun des facteurs causant l'inondation dans notre région d'étude. Cela pourrait offrir un outil d'aide aux décideurs pour mettre des plans préventifs face aux inondations afin de diminuer, ou encore, de freiner les pertes physiques et humaines probables. Ces plans formeraient également des facteurs commodes pour une bonne gestion de l'eau dans cette région.

2- Région d'étude

Notre région d'étude, constituée d'une partie des zones immobilières contiguës des villages de *Rayaq-Haouch Hâla*, d'*Aali en Nahri* et d'*El Fourzol* (0.32 km²) s'étend sur 14.74 km². Cette région est située vers l'embouchure de la rivière de Hâla qui la traverse sur une étendue de 8 km environ, avant de s'emboucher dans le fleuve du Litani, le célèbre fleuve du Liban

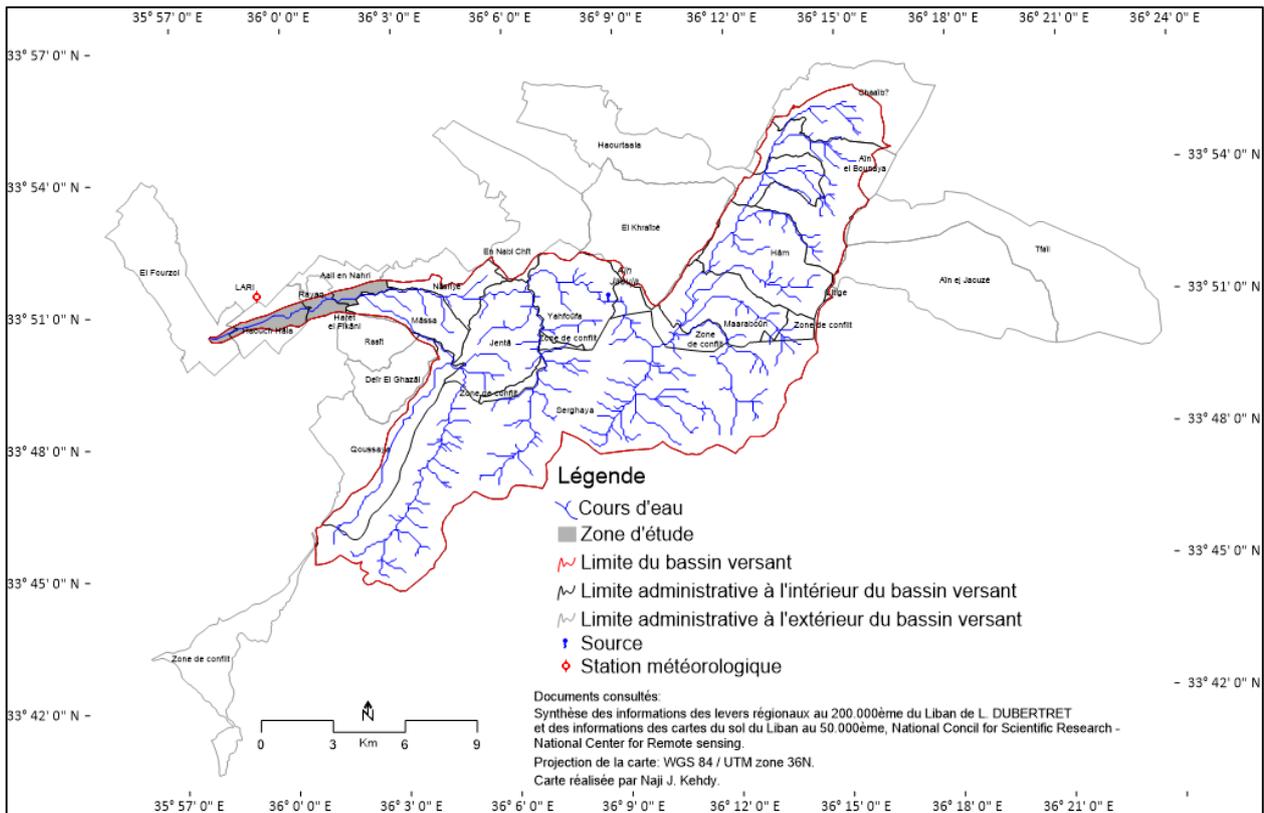


Figure 1 : Carte de la zone d'étude

Cette rivière intermittente s'écoule de la fin de janvier jusqu'à la fin de mai à l'intérieur d'une surface close, celle du bassin versant de Hâla. Ce dernier s'étend sur 197 km² dans les territoires libanais et syriens¹ dont 57% environ (112.18 km²) occupe une partie de la région montagnarde, et une autre, celle de la dépression topographique de Serghaya en Syrie. Quant au reste, qui forme 43% de sa surface totale, il occupe une partie de la région montagnarde, et une autre, à savoir celle de la plaine agricole de la Béqaa centrale au Liban (figure 1).

Ayant la forme du parapluie, ce bassin versant maintient l'écoulement dans la rivière de Hâla à travers deux sources d'alimentation principales. La première, superficielle, est constituée d'un ensemble de cours d'eau intermittents prenant origine dans la partie syrienne du bassin. Tandis que la deuxième, souterraine, elle est formée de la source permanente de Aïn Jaouja. C'est une source d'émergence de l'aquifère cénomano-turonien jaillissant de Yahfoûfa (région de contact entre les deux secteurs supérieur et inférieur du bassin versant) à une altitude de 1230 m et à un débit annuel qui ne dépasse pas les 80 l/s environ (Hakim, 1985).

Notre région d'étude, qui constitue 7.48% (14.7 km²) de la surface totale du bassin de Hâla et dont 4 km² de surfaces urbanisées occupées par une agglomération populaire qui dépasse les 30000 habitants, se repose sur un substratum géologique et pédologique imperméable (*cf. résultats*). Le reste de la surface est cultivé à 70% par des plantes saisonnières, ce qui laisse les terrains agricoles en jachère pour plus de 6 mois par an, tout comme les 30% restant de la surface totale. En effet, les forêts et les bois qui pourraient aider à ralentir l'écoulement superficiel sont absents.

¹ La surface de ce bassin versant est équivalente à la surface du bassin versant côtier d'«El Jaouz».

Cette absence pourrait être expliquée par le contexte climatique caractérisant notre région d'étude qui se localise à la lisière des zones arides internes : un climat méditerranéen ayant quelques caractéristiques du climat semi-continental. Les quantités modérées de précipitations ne dépassant pas les 600 mm par an en moyenne sont accompagnées par des extrémités interannuelles aiguës. Celles-ci sont représentées par des années sèches où la quantité de précipitations ne dépasse pas les 350 mm par an pour l'année hydrologique 2013-2014, et, par des années très humides où la quantité de précipitations dépasse les 1000 mm par an pour les années hydrologiques 2003-2004 et 2018-2019.

Les caractéristiques semi-continentales se manifestent également par la grande amplitude quotidienne et annuelle de la température : elle peut atteindre les 47°C durant une journée chaude en juillet. Par contre, elle peut diminuer jusqu'à -10°C durant une nuit froide en janvier. Cette amplitude est accompagnée par des anomalies de température surtout en mars durant lequel la température peut dépasser le seuil de 25°C. Ces anomalies de température sont expliquées par les masses d'air chaudes venant du Nord d'Afrique, les « Khamasines ». Ces conditions thermales, qui pourraient être représentatives de tout le bassin versant de Hâla, favoriseraient la fonte de neiges accumulées aux sommets du secteur supérieur de ce bassin.

3- Méthodologie

Pour atteindre nos objectifs dans cette étude, nous nous sommes basés sur l'analyse des données météorologiques simulées concernant le bassin versant de Hâla, d'une part, et, sur la modélisation statistique représentée par l'analyse de la régression linéaire simple, d'autre part.

3-1- Données météorologiques simulées

Téléchargées du site web « *meteoblue* », les données météorologiques simulées comprennent la quantité de précipitations, la température², l'humidité, la vitesse du vent et les heures d'ensoleillement.

Ces données, couvrant toute la superficie de notre bassin versant incluant la région de Serghaya à son amont, servent à la détermination du moteur qui a déclenché l'inondation dans notre région d'étude. Néanmoins, nous avons été obligés d'utiliser ce type de données à la place des relevés directs des stations météorologiques parce qu'aucune station n'est installée dans notre bassin versant :

Cependant, une seule station, celle de l'institution libanaise des recherches agricoles (LARI), borde la région de *Haouch Hâla* : elle est située à l'extérieur du bassin versant (figure 1). Par la suite, ces données qui ne couvrent comme périmètre que quelques centaines de mètres, ne peuvent représenter toute la superficie de notre bassin versant, en l'occurrence, celle de son amont se trouvant à environ 15 km de cette station et la séparant par des reliefs allant à plus de 1400 m d'altitude.

Une comparaison spatiale et temporelle concernant ces données est donc nécessaire. Celle-là avait pour but de décrire les conditions météorologiques régnant à Serghaya et dans notre zone d'étude durant l'inondation tandis que la temporelle, qui a été effectuée entre mars 2020 (mois durant lequel l'inondation a eu lieu) et mars 2019³, visait à magnifier la particularité de l'anomalie des

² Selon « *meteoblue* », Les données de température sont calculées en prenant en compte l'altitude moyenne de la région (cellule de la grille). Par conséquent, les températures des zones de montagnes (celles de la zone de Serghaya) pourraient être légèrement différentes des conditions réelles.

³ Nous étions limités à la comparaison entre ces deux années, parce qu'elles étaient les seules années modélisées valables sur ce site web.

données météorologiques apparue durant la période de l'inondation par rapport à celles de l'année précédente.

3-2- Modélisation statistique

La modélisation statistique a pour but de montrer les variables quantitatives et qualitatives signalant la particularité de notre région d'étude et influençant, à des poids différents, le niveau de l'eau dans le lit de la rivière de Hâla.

La particularité a été observée à travers l'analyse des correspondances multiples (ACM). L'ACM est une des méthodes d'analyses factorielles ayant pour objectif de mettre en évidence la structure de proximité sous-jacente des unités spatiales suivant des structures mathématiques (Cauvin, 2008).

En outre, le poids d'influence a été déterminé à travers la régression linéaire simple. Il s'agit d'une méthode statistique qui consiste à modéliser la covariance entre une variable dépendante à expliquer et une autre variable indépendante explicative (Feuillet, 2019).

Dans notre étude, nous avons choisi le niveau de l'eau dans la rivière de Hâla comme variable quantitative absolue dépendante. Cette variable, mesurée manuellement dans chacune des zones immobilières du bassin versant de Hâla, pourrait être considérée comme un indicateur d'une crue, et, par la suite, d'une inondation.

De plus, nous avons choisi 4 variables explicatives :

La première est la surface des forêts et des bois, c'est une variable quantitative absolue qui a été chiffrée en calculant l'indice SAVI (Baghdadi et al, 2018) des photos satellites Landsat 8 daté du 21-01-2020 (figure 2). La déficience de ces surfaces vertes au niveau de notre bassin versant pourrait augmenter la quantité de l'eau s'écoulant dans la rivière de Hâla et favoriser les crues ;

La deuxième a été représentée par la surface des zones urbanisées, c'est une variable quantitative absolue extraite et calculée à partir des mêmes photos satellites après l'avoir vérifiée sur le terrain, en utilisant l'SCP du logiciel QGIS (figure 3). Cette variable pourrait jouer un rôle mixte en

augmentant, d'une part, la quantité des matières solides rejetées dans le lit de la rivière par les habitants qui ont urbanisé la surface et, d'autre part, en aggravant l'imperméabilité du sol. Cela pourrait favoriser les crues, et, déclencher, ultérieurement, des inondations ;

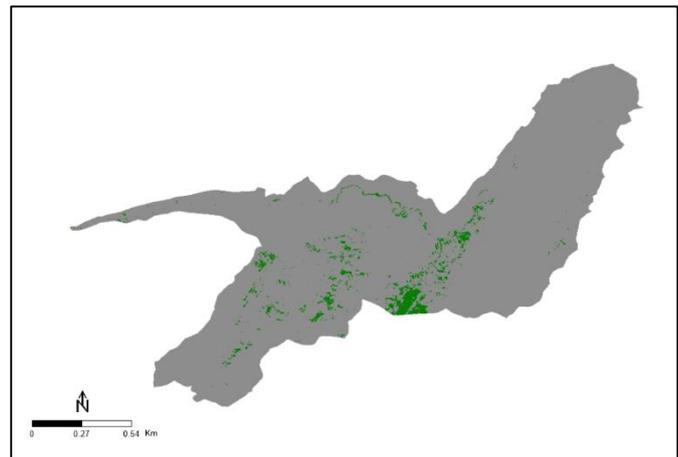


Figure 2 : Indice SAVI. Les surfaces des bois et des forêts sont représentées par la couleur verte.

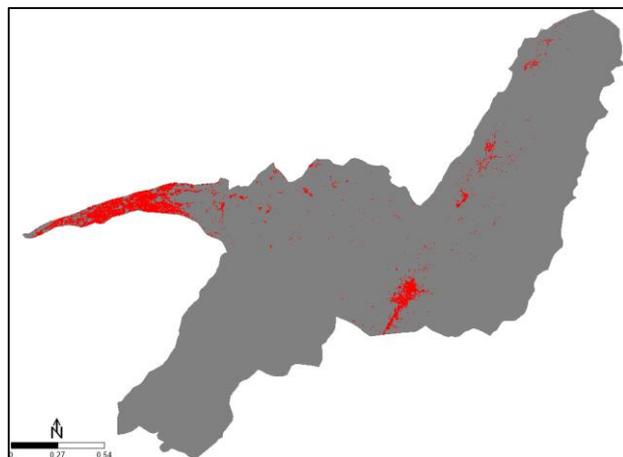


Figure 3 : Zones urbanisées représentées par la couleur rouge.

La troisième variable porte sur la surface de la perméabilité de chacune des zones immobilières du bassin versant étudié. Ainsi, une surface imperméable a pour conséquence de favoriser la circulation superficielle et, postérieurement, les crues et les inondations. C'est une variable quantitative relative constituée de trois composantes : perméable, semi-perméable et imperméable. Elle a été calculée par le biais d'une carte de synthèse, comprenant la carte géologique 50.000^{ème} et celle pédologique 20.000^{ème} de notre bassin versant. Puisque nous avons besoin de montrer la composante « imperméable », nous avons généralisé et cartographié les zones immobilières en utilisant la méthode du graphe triangulaire structuré selon les pourcentages et les secteurs dominants basés sur les déciles (Cauvin, 2008). La cartographie comprend 7 classes (figure 4) :

- Zones à perméabilité mixte : imperméable, semi-perméable et perméable,
- Zones à dominance perméable,
- Zones à forte dominance perméable,
- Zones à dominance semi-perméable,
- Zones à forte dominance semi-perméable,
- Zones à dominance imperméable,
- Zones à forte dominance imperméable ;

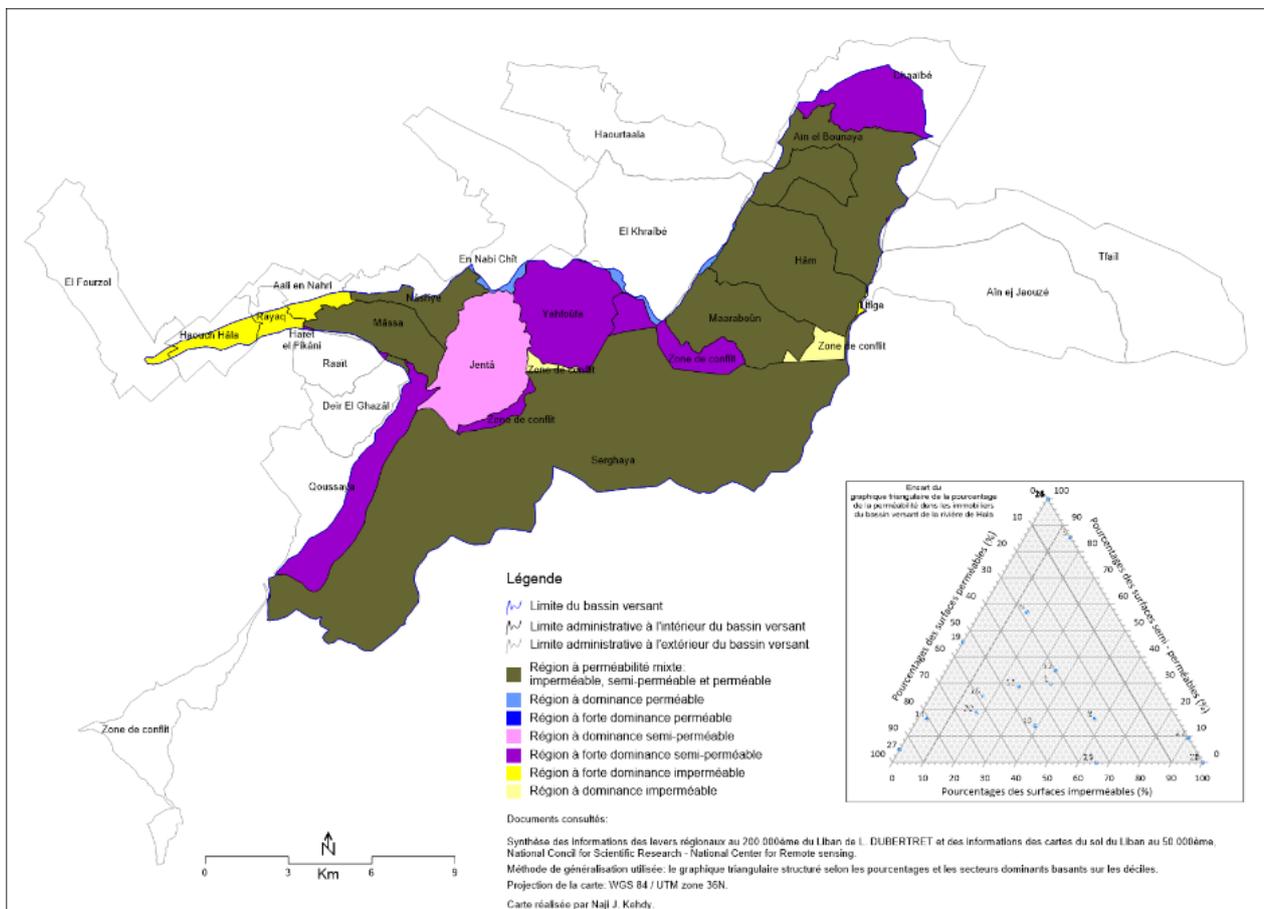


Figure 4 : Perméabilité du sol

La quatrième et dernière variable est la largeur du cours d'eau principal. C'est une variable qualitative ordinale mesurée depuis Yahfoûfa jusqu'à l'exutoire. Au-dessus de Yahfoûfa, le réseau hydrographique est un ensemble de cours d'eau primaires dont la largeur n'est pas significative.

Ces variables ont été sélectionnées parmi des dizaines d'autres parce que leurs variations d'une zone immobilière à une autre à l'intérieur du bassin de Hâla sont bien claires et significatives.

De ce fait, nous avons éliminé d'autres variables telles que la densité hydrographique, dont les variations sont faibles et non remarquable, ce qui pourrait rendre le modèle insignifiant.

4- Résultats

Les résultats obtenus nous permettent de déterminer le moteur déclencheur de la crue dans le bassin versant de Hâla ainsi que le degré d'influence de chacune des variables explicatives sur le niveau de l'eau dans le lit de la rivière de Hâla dans notre région d'étude. Cette dernière a présenté une similarité particulière concernant ces variables conduisant à l'inondation du 13 mars 2020.

4-1- Moteur déclencheur de l'inondation

L'observation des données météorologiques simulées de la région de Serghaya (l'amont du bassin versant de Hâla), durant mars (figure 5) a montré que la température, accompagnée d'une grande vitesse de vent est le facteur moteur qui a causé la crue à l'aval du bassin versant de Hâla.

Le premier graphe de la figure 5 représente, en orange, l'évolution des températures maximales, minimales et moyennes. Il représente également en bleu, l'évolution de l'humidité relative ;

Le deuxième graphe représente en bleu la quantité de précipitation cumulée, les jours nuageux en gris et ceux à ciel clair en jaune ;

Le dernier graphe représente la vitesse du vent par une ligne grise et sa direction par des points bleus.

L'observation du premier graphe montre une anomalie concernant les températures maximales durant le 13 mars. Cette anomalie est représentée par des températures maximales plus élevées que la moyenne au cours du mois d'environ 7°C, alors que la moyenne de la température maximale est égale à 15°C environ. Durant la période de crue, la température était 22°C. Cette augmentation a été accompagnée d'une baisse remarquable de l'humidité relative enregistrant 36%. Cela semble relativement peu élevé pour une région montagnarde spécialement durant un hiver hydrologique. En outre, le deuxième graphe indique que la quantité de précipitation durant cette période n'a pas dépassé les 12mm lors des jours ensoleillés. Quant au dernier graphe, on remarque que la vitesse du vent a atteint le seuil de 64 km/h.

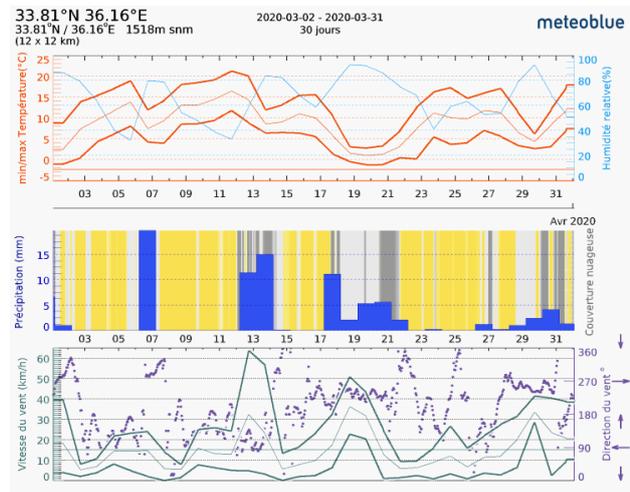


Figure 5 : Données météorologiques simulées de la région de Serghaya en mars 2020.

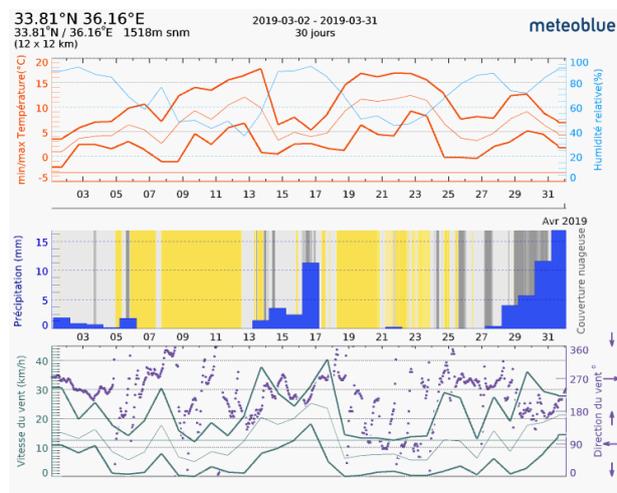


Figure 6 : Données météorologiques simulées de la région de Serghaya en mars 2019.

Une comparaison avec l'année 2019 montre que les conditions de température et de la vitesse du vent durant la période de crue étaient complètement différentes : la température n'a pas dépassé le seuil de 17°C, une vitesse de vent maximale de 30 km/h, l'humidité reste relativement basse (40%) et la quantité de précipitation faible (5mm) (figure 6). Une autre comparaison avec la région d'étude en mars 2020 montre que les conditions météorologiques ont été significativement pareilles : la température simulée durant l'été était de 25°C, la vitesse du vent a dépassé le seuil de 60 km/h et l'humidité relative n'a pas atteint les 32%. Il en est de même en ce qui concerne la quantité de précipitation qui n'a pas franchi le seuil de 7mm.

4-2- Particularité de notre région d'étude

Le modèle de l'analyse de correspondances multiples (ACM) a montré que notre région d'étude constitue un groupe figurant une grande similarité (figure 7) concernant certains facteurs tels la largeur du lit du cours d'eau, les surfaces urbanisées, l'imperméabilité du substratum et les surfaces des forêts et des bois. Cela paraît clairement dans la figure 6 à travers les codes numériques regroupés au-dessus de la courbe en couleur rouge.

Le modèle de la régression linéaire simple montre que chacun de ces facteurs a un degré d'influence relatif sur le niveau de l'eau dans le lit de la rivière de Hâla. Cela peut être observé dans les modèles représentés dans les figures 8, 9, 10 et 11. Dans ces modèles, les zones situées entre la ligne droite noire et la ligne gris foncé sont des zones de bonne estimation. Tandis que les zones se situant au-dessus et au-dessous de la ligne noire sont successivement des zones de sous-estimation et de surestimation.

4-2-1- Largeur du lit

La largeur du lit du cours est le facteur qui a le plus grand degré d'influence avec une r^2 supérieure à 0.901 (figure 8). La largeur du lit de la rivière dans notre région d'étude ne dépasse pas les 10 mètres et elle se resserre à la moitié à la lisière de certaines places de bâtiments. Depuis 2000, les bords du lit ne sont plus naturels. Les travaux mal planifiés de réaménagement menés par les autorités municipales locales successives ont causé son rétrécissement de 17m jusqu'à 10m. Ces travaux représentés par la construction de murs en béton de part et d'autre des rives du cours d'eau ont été exécutés sans qu'il n'y ait d'études préalables sur les variations interannuelles de son débit dans le but de savoir sa largeur optimale. L'artificialisation du lit a empêché la rivière de dissiper son énergie ce qui a accéléré son écoulement.

4-2-2-Surface urbanisée

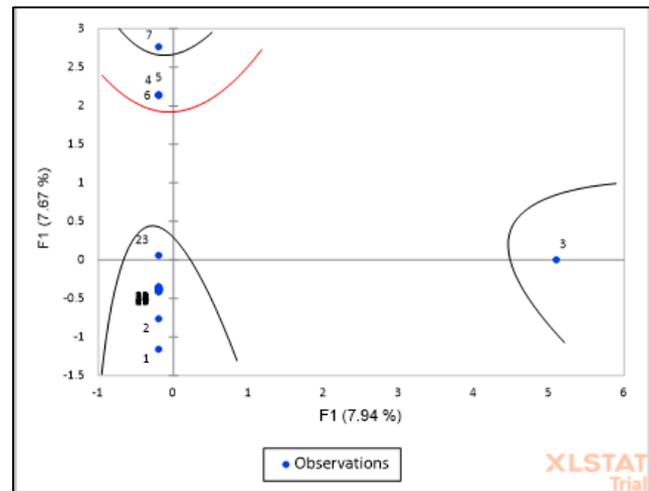


Figure 7 : Analyse de correspondances multiples ACM Les codes numériques apparaissant dans le graphe représentent les surfaces immobilières de notre région d'étude.

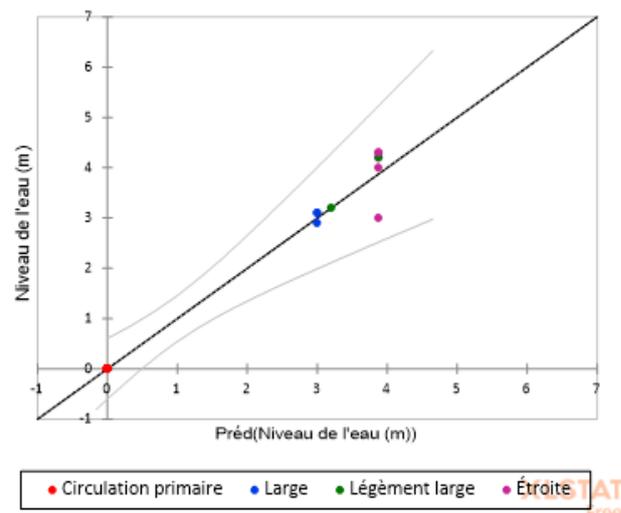


Figure 8 : Modélisation de la régression linéaire simple en fonction de la largeur du lit du cours d'eau.

C'est le facteur qui occupe le deuxième rang concernant son influence avec une r^2 qui est égale à 0.171 (figure 9). Le problème est que la grande densité de ces surfaces se trouve à la lisière des rives de la rivière. Cette surface a augmenté de 28% en comparaison avec l'an 2000. La surface urbanisée pourrait augmenter la quantité de matières solides polluantes et rejetées qui embouchent le lit et contribuent par la suite à l'inondation. Et ce, en absence de tout genre d'application de lois qui empêchent ce type de violations.

4-2-3-Imperméabilité du sol

Elle occupe le troisième rang avec une r^2 qui est égale à 0.152 (figure 10). La répartition de la perméabilité du sol dans le bassin hydrographique étudié montre que la zone d'étude est imperméable parce qu'elle est couverte par une couche de terres arables constituées de plus de 60% d'argile poreux et imperméable. Cela a freiné l'infiltration de l'eau et a favorisé l'écoulement superficiel.

En comparaison avec le bassin supérieur de Hâla, celui-ci paraît plus perméable avec une dominance de roches calcaires et dolomitiques.

La dernière variable concerne les surfaces vertes. Son influence sur le phénomène étudié est quasi-absente vu que la valeur de son r^2 ne dépasse pas le 0.009 (figure 11). Peut-être le déboisement abusif dans le bassin supérieur et le remplacement des arbres naturels par des agricultures dans le bassin inférieur ont-ils causé la diminution de la surface des forêts qui n'occupe pas plus de 5% de la surface totale du bassin.

5- Discussion

Dès leur arrivée au Liban, les « Khamasine » empêchent momentanément l'influence des masses d'air occidentales relativement froides et humides. Cela entraîne un piégeage de la pluie, et un climat semi-estival régnant dans la région pour une période ne dépassant pas les 3 jours successifs. C'est ce qui s'est produit durant la période de l'inondation, dans le bassin versant de la rivière de Hâla qui se situe à l'intérieur du périmètre d'influence des masses d'air chaudes.

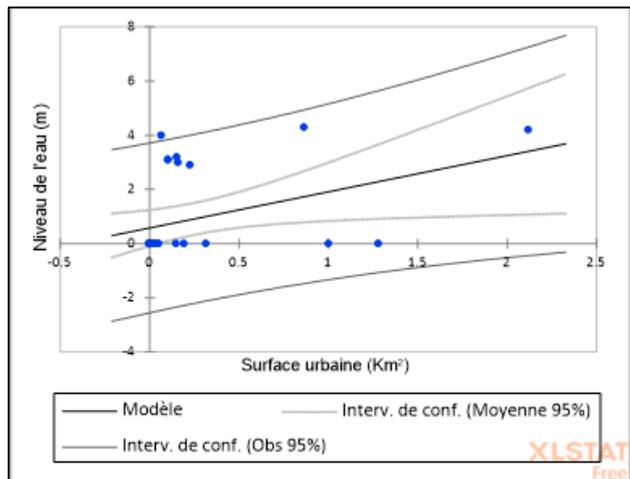


Figure 9 : Modélisation de la régression linéaire simple en fonction de la surface urbanisée.

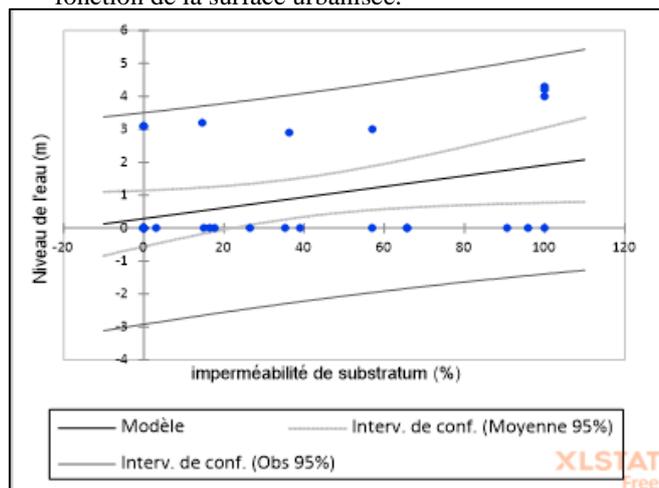


Figure 10 : Modélisation de la régression linéaire simple en fonction de l'imperméabilité du sol.

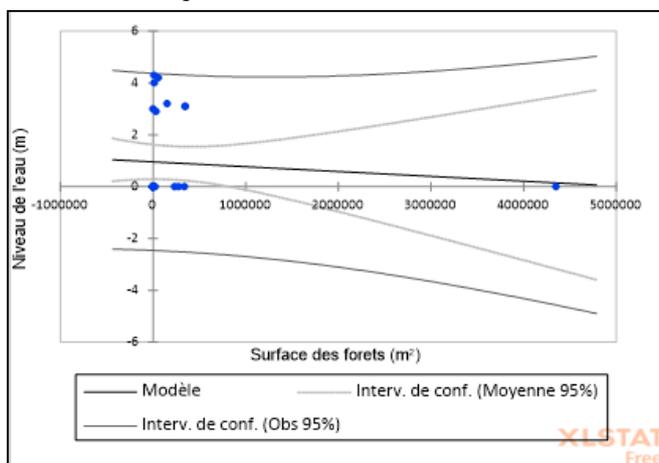


Figure 11 : Modélisation de la régression linéaire simple en fonction de la surface des forêts et des bois.

Ces conditions météorologiques ont entraîné la fonte de la neige qui s'est accumulée sur les zones montagnardes de Serghaya, et sur les autres régions du bassin versant supérieur de la rivière de Hâla (Hâm, Maarboûn, ...), pendant l'hiver hydrologique. La fonte des neiges a alimenté les cours d'eau primaires abondants dans ces régions (figure 1). A leur tour, ces derniers ont alimenté le cours d'eau principal de la rivière de Hâla, à partir de la région de Yahfoûfa.

Il est probable que cette fonte de neige ait été rapide et qu'elle ait produit une grande quantité d'eau, durant une période ne dépassant pas les deux jours. Cela apparaît sur le graphique de la figure 5 qui montre que les conditions climatiques appropriées pour cette fonte que nous avons mentionnée ci-dessus s'étaient étalées deux jours avant l'inondation. Cette grande quantité de neige fondue, accompagnée de la pente relativement raide du cours d'eau (plus de 8%) s'est traduite par une vitesse de ruissellement de surface supérieure à celle de l'infiltration. Et cela, malgré la favorisation de l'infiltration par le substratum de ces régions, vu la présence des roches perméables (calcaires) et semi-perméables (calcaires-marneux) (figure 4). Avant d'arriver à notre région d'étude, la rivière de Hâla n'a subi aucune inondation. Cela peut être dû à certaines raisons dont la plus importante est l'absence de la combinaison des variables influençantes et étudiées dans le modèle de régression linéaire simple. Par exemple, dans la région de Massa, et malgré le fait que le lit de la rivière ne dépasse pas les 10 mètres de large, cette zone n'est pas occupée par de grandes surfaces urbanisées, en comparaison avec notre zone d'étude (la superficie urbanisée à Massa ne constitue pas plus de 25% de celles de notre région d'étude). De même, le substratum de Massa a contribué, avec la pente du cours d'eau relativement douce (3.6%), au ralentissement de la vitesse du courant d'eau, vu la perméabilité mixte du substratum représentée par la présence des roches perméables (calcaires), imperméables (marnes) et semi-perméables (calcaires-marneux). Cela a favorisé l'infiltration au détriment de l'écoulement superficiel.



Figure 12 : inondation de la rivière de Hâla le 13 mars 2020.

Quand le courant d'eau atteint notre zone d'étude qui, selon les modèles statistiques réalisés, comprend les conditions favorables conduisant à l'augmentation du niveau de l'eau dans la rivière, l'eau sort du lit, et inonde les zones urbaines adjacentes (figure 12) qui forment plus de 60% de la zone totale urbanisée de notre région d'étude.

Bien que cette inondation n'ait pas causé de pertes entre les habitants, selon certains spécialistes qui ont examiné les dommages résultants, elle a provoqué des pertes matérielles importantes dans les magasins, les logements et les voitures, estimées à plus de 100 000 \$.

Il est répréhensible que les habitants ne soient pas victimes cette fois-ci, mais probablement, certains ont commis un acte « criminel » : ils n'ont jamais nettoyé le lit de la rivière à côté de leur bâtiment, au contraire, ils ont augmenté la quantité des rejets solides déversés dans ce lit. Ces derniers ont formé un obstacle empêchant une circulation douce d'eau. Ainsi, et au lieu de transformer l'eau de la rivière en « eaux bleues » accessibles aux usages domestiques et agricoles (Roche, 2012), ces habitants irresponsables l'ont transformées en eaux « noires catastrophiques ».

6- Conclusion

Une température au-delà des normales avec un vent ayant une grande vitesse, accompagnés de facteurs favorisant la circulation superficielle, s'ajoute à cela, le cas où se rencontraient dans la même région des bords étroits, une imperméabilité totale du substratum et une surface urbanisée qui ne cesse de s'étendre constitueraient des facteurs convenables pour qu'une inondation se déclenche.

Excepté l'imperméabilité du substratum, facteur incontrôlable, l'augmentation aléatoire des surfaces urbanisées doit être contrôlée, et les travaux d'aménagement dans le lit du cours d'eau doivent être bien planifiés.

Dans cette étude, nous avons démontré comment les modèles statistiques pourraient aider à démontrer le facteur le plus influençant sur le niveau de l'eau d'une rivière et qui pourrait aggraver une inondation. Cela pourrait aider les autorités locales et nationales à concentrer leurs efforts à résoudre les problèmes concernant en particulier ce facteur, sans perdre le temps et l'argent à étudier les problèmes d'autres facteurs.

Une approche opérationnelle qui consiste à gérer un probable risque ultérieur d'une inondation dans notre région d'étude demeure indispensable. Cette approche devrait prendre en considération trois composantes complémentaires et interconnectées :

La première composante est la prévention à travers la réduction de la vulnérabilité du terrain à ce risque.

La deuxième est la préparation qui commence par l'installation des appareils de mesure du débit et des facteurs climatiques et se termine par l'installation des systèmes d'alertes se basant sur l'analyse des relevés météorologiques et hydrologiques mesurées au niveau de notre bassin versant.

La dernière composante est le renforcement de la culture du risque par l'amélioration de la sensibilisation des habitants. Cela pourrait former une étape évolutionnaire, vu l'absence de l'application des lois qui protègent les cours d'eau et empêchent les irrégularités⁴. Cette amélioration pourrait être réalisée en encourageant les citoyens, d'après des conférences, à ne pas jeter des matières solides dans le lit de la rivière pour éviter l'embouchement de ce lit et par la suite les inondations. L'application de cette approche demande une collaboration entre les décideurs administratifs et les spécialistes en hydrologie, ce qui est malheureusement absent.

Ces résultats ouvrent la porte à des problématiques très larges concernant les travaux d'aménagement des cours d'eau et la distribution des stations météorologiques qui doit être faite sur l'échelle des limites du bassin versant et non pas sur l'échelle des limites administratives.

⁴ Sixième point du premier article de la loi de l'eau 221 publié le 29-05-2000 qui prévoit des travaux pour protéger les ressources en eau des déchets et de la pollution en établissant des textes et en prenant les mesures et procédures nécessaires pour prévenir leur pollution et rendre leur qualité naturelle.

Références

- Anctil F., Rousselle J., Lauzon N. (2012). Hydrologie, cheminements de l'eau. Presses internationales polytechnique. 391 pages.
- Baghdadi N., Mallet N., Mehrez Z. (2018). QGIS et applications en eau et risques (volume 4). ISTE editions. 319 pages.
- Cauvin C., Escobar F., Aziz S. (2008). Cartographie thématique 3, méthodes quantitatives et transformations attributaires. Lavoisier, Paris. 278 pages.
- Feuillet T., Cossart E., Hadrien C. (2019). Manuel de géographie quantitatives. Armand Colin. 237 pages.
- Guha-Sapir D., Hoyois P., Wallemacq P., Bellow R. (2016). Annual Disaster Statistical Review 2016, The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Institute of Health and Society (IRSS) Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium. 80 pages.
- Hakim B. (1985). RECHERCHES HYDROLOGIQUES ET HYDROCHIMIQUES SUR QUELQUES KARSTS MÉDDITERRANÉENS LIBAN, SYRIE ET MAROC. Publication de l'Université Libanaise section des études géographiques, Beyrouth. 701 pages.
- Meteoblue (2020). Archive météo,
<https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/weatherarchive/33.813N36.159E?fcstlength=1y&year=2019&month=3>. Dernière mise à jour 5-14-2020.
- Roche P.A., Miquel J., Gaume E. (2012). HYDROLOGIE QUANTITATIVE, processus, modèles et aide à la décision. Springler, Paris. 590 pages.