

LE RISQUE D'INONDATION DANS L'OUED KORICHE (MASSIF DE BOUZARÉAH, ALGER OUEST) : ANALYSE SYSTEMIQUE DE L'ALEA ET FACTEURS DE VULNERABILITE

par MENAD Wahiba¹, DOUVINET Johnny², ARNAUD-FASSETTA Gilles³

¹ Université Paris-Diderot, UMR 8586 PRODIG et UMR 8591 LGP-Meudon CNRS, 105 rue de Tolbiac, 75013 PARIS ; menadwahiba@yahoo.fr

² Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, UMR ESPACE 6012 CNRS, Equipe d'Avignon, 74 rue Louis Pasteur, 84009 AVIGNON ; johnny.douvinet@univ-avignon.fr

³ Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne, UMR 8591 LGP-Meudon CNRS, 61 avenue du Général de Gaulle, 94010 CRÉTEIL ; gilles.arnaud-fassetta@univ-paris12.fr

Résumé : A plusieurs reprises, la ville d'Alger et sa couronne périurbaine ont été touchées par des inondations rapides dont certaines ont été catastrophiques. La dernière en date (celle des 9-10 novembre 2001) a affecté la partie ouest du Grand Alger (450.000 habitants), dans le bassin-versant de l'oued Koriche (11 km²). Cette crue torrentielle a causé d'importants dégâts humains (780 morts et 350 disparus) et matériels (environ 3721 immeubles et la plupart des infrastructures détruits ou endommagés), pour un coût financier estimé à plus de 5 milliards de dinars (soit 220 millions d'euros). Dans cet article, l'analyse systémique a permis de mettre en évidence les facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants à l'origine de l'événement, d'origine naturelle ou anthropique. Les caractéristiques du milieu physique associées à la densité des surfaces imperméabilisées ont constitué autant d'éléments favorables aux ruissellements de surface induits par d'importants cumuls de précipitations (261 mm en 36 h). La situation a également été aggravée par l'absence de planification urbaine, le sous calibrage des collecteurs d'eau pluviale et l'insuffisance des zones d'expansion des crues. Ces facteurs anthropiques ont augmenté les coefficients de ruissellement, dans des secteurs où l'exposition des biens et des personnes était elle-même maximale. Une meilleure concertation entre les aménageurs du territoire et la mise en place d'une véritable politique de décentralisation des actions entre services communaux et les services centraux de l'urbanisme sont aujourd'hui nécessaires afin de réduire ce risque d'inondation rapide.

Mots clés : Alger, inondation rapide, risque, systémique.

1. Introduction

Au cours de ces trois dernières décennies, l'Algérie a connu une complète recomposition territoriale marquée par une croissance urbaine accélérée (Côte, 1996 ; Redjimi, 2000). Aujourd'hui, plus de 60 % des algériens vivent en ville, contre 30 % dans les années 1950. Cette croissance urbaine reste liée à quatre grands phénomènes communs dans les pays du Maghreb : l'intense exode rural ayant favorisé la croissance des centres de proximité et des petites agglomérations (années 1990) ; la nette diminution de l'impact des flux migratoires internationaux au profit des migrations transsahariennes et internes ; le polycentrisme autour des agglomérations de plus d'un million d'habitants, associé à une croissance plus faible des villes de taille moyenne ; la transformation de la structure familiale et, en particulier, l'éclatement de la cellule familiale qui accroît les demandes de logement. Ainsi, la population agglomérée (*i.e.*, groupe de 100 constructions non séparées par plus de 200 m) est passée de 61,2 % en 1977 à 84,8 % en 2008, cette tendance à la concentration de la population ayant été très marquée dans les *wilayas* du centre du pays, notamment entre Mostaganem et Alger.

Dans ce contexte, la gestion des risques hydroclimatiques constitue une entreprise « moderne » dont il reste beaucoup à expérimenter, tant au niveau des techniques d'évaluation que de leur mise en pratique. Si les inondations sont fréquentes et dramatiques dans certaines régions, le risque qui en résulte est dévalué et difficile à prendre en compte, l'urbanisation restant un processus difficilement maîtrisable. L'article focalise ici sur la partie ouest du Grand Alger qui, à plusieurs reprises, a été touchée par des aléas hydroclimatiques de premier ordre (11-12 novembre 1935, été 1953, décembre 1957, mars 1974), le plus récent étant celui des 9-10 novembre 2001. Plusieurs travaux de recherche sur les inondations ont été menés dans ce secteur ; le plus appliqué, l'expertise du groupement ISL-BRGM (2006), avait pour objectif la réduction de la vulnérabilité du Massif de Bouzaréah face aux catastrophes naturelles. Dans ce secteur, la croissance urbaine n'a pourtant pas cessé d'augmenter : la densité urbaine

est aujourd'hui estimée à 155 hab/km² et 61 % de la surface totale du bassin-versant de l'oued Koriche sont occupés par de l'habitat dense ou dispersé.

En adoptant une démarche systémique (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009 ; Douvinet et Delahaye, 2010), cette étude complète les travaux conduits jusqu'à présent (Bousbara, 2008 ; Aroua et Berezowska-Azzag, 2009). Elle doit permettre d'identifier et de hiérarchiser les variables (*i.e.*, facteurs prédisposants, déclenchants et aggravants), naturelles ou anthropiques, qui permettent d'expliquer la catastrophe de 2001. S'inscrivant dans un cadre interdisciplinaire, ce travail s'intéresse à l'aléa et à la vulnérabilité des espaces périurbains denses, en prenant ici l'exemple de la vallée de l'oued Koriche. On souhaite proposer une méthode d'analyse spécifique au risque d'inondation en « contexte urbain non maîtrisé » dans ses multiples aspects. Cette démarche constitue aussi un des préalables nécessaires à la mise en place d'une politique de prévention efficace contre les inondations, non seulement dans la ville concernée mais aussi sur son territoire environnant. Dès lors, l'approche pourrait être transposable à d'autres sites urbains méditerranéens tout aussi sensibles comme le sont ceux de Constantine, d'Annaba, de Marseille, de Nice, de Menton et de Barcelone.

2. Cinématique et emprise spatiale de l'aléa hydroclimatique des 9-10 novembre 2001

2.1. Cinématique

Au préalable, il convient de brièvement rappeler les faits marquants ayant conduit à la catastrophe des 9-10 novembre 2001 (Bousbara, 2008). Durant toute la nuit, des pluies diluviennes associées à des vents violents se sont abattus sur la métropole algérienne et sur les contreforts du Massif de Bouzaréah. Au petit matin, heure à laquelle de nombreux travailleurs se rendaient sur le lieu de leur travail et le réseau routier était dense, les pluies ont redoublé d'intensité, déclenchant de conséquents phénomènes de ruissellement, notamment sur l'autoroute du Frais Vallon qui se métamorphosa en un véritable torrent. Cette structure routière étant d'ordinaire déjà saturée, bon nombre de personnes se sont retrouvées piégées dans leur propre véhicule, d'autant que les flots de crue étaient fortement chargés en sédiments mélangés à des débris en tout genre (arbres, tôles, poteaux de signalisation, véhicules...).

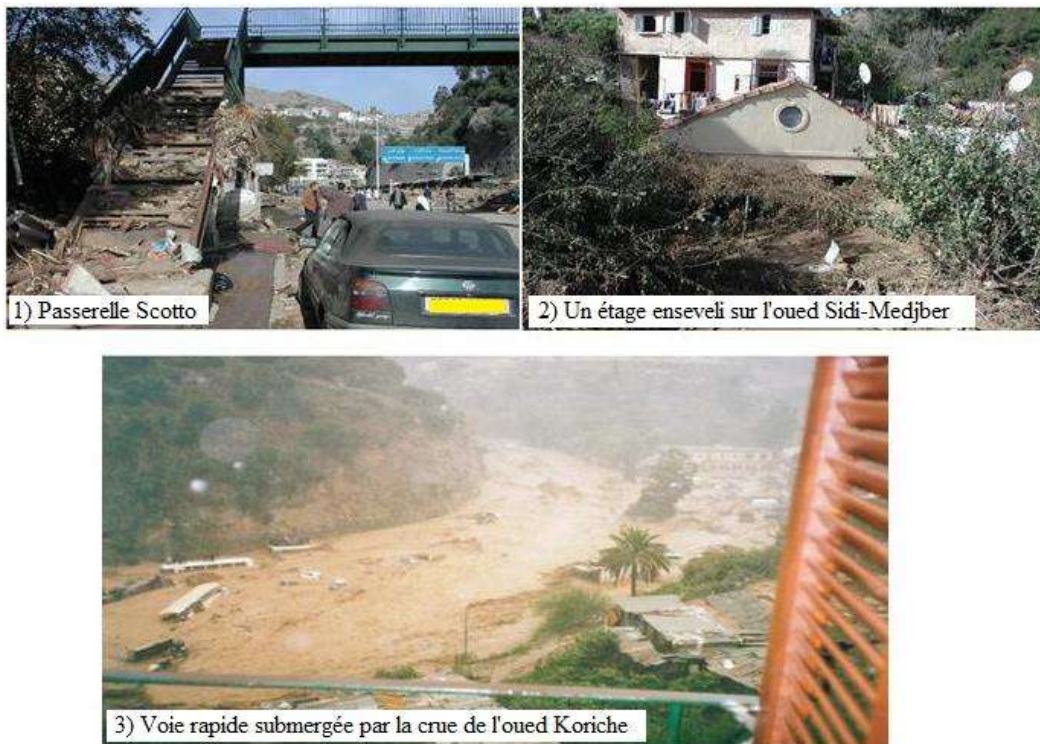
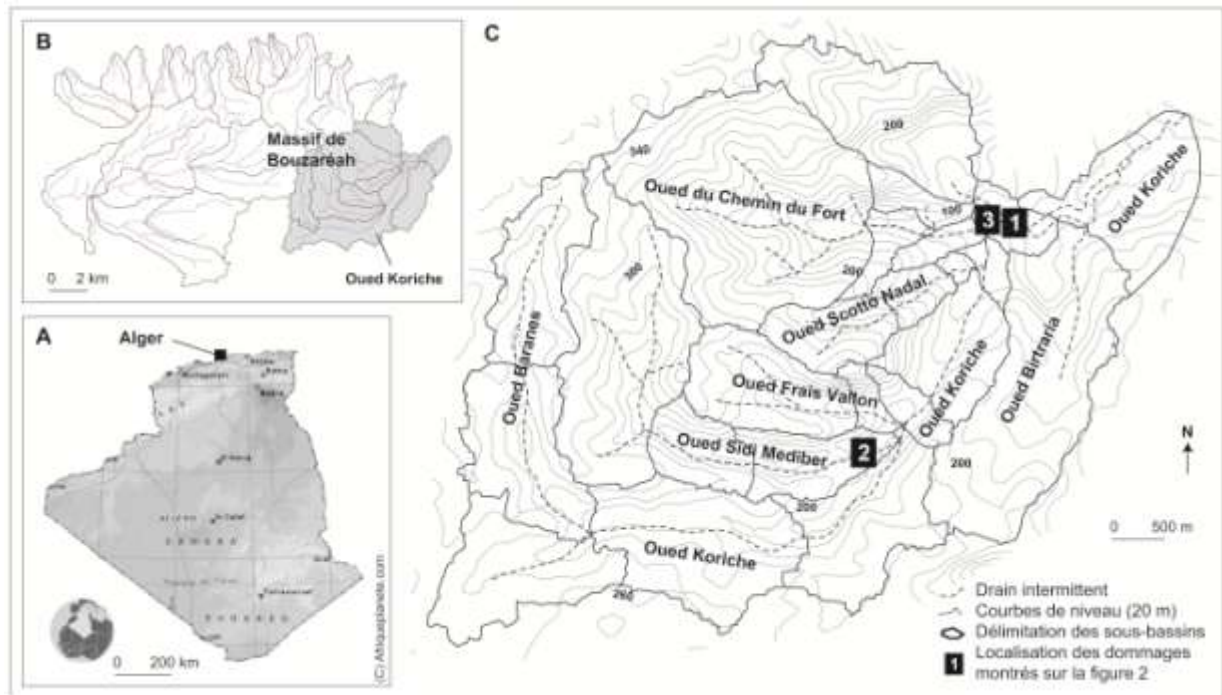
Lors du passage des écoulements en contrebas du carrefour Triolet, là où un marché populaire était organisé comme, du reste, tous les samedis, les dégâts ont pris une ampleur catastrophique. Une couche de boue de 3 m d'épaisseur y sera observée, celle-là même qui a enseveli plus d'une centaine de personnes. En déferlant ensuite sur Bab El Oued, le flot torrentiel s'est heurté aux immeubles, créant par effet de compaction plusieurs vagues boueuses qui ont atteint à certains endroits près de 4 m de hauteur, selon plusieurs témoins oculaires. A 10h30, la pluie a cessé et Bab El Oued s'est retrouvée terrée sous près de 2 m de boue. A 12h, le plan ORSEC était déclenché et à 16h30, l'armée était réquisitionnée pour entamer le déblaiement des décombres et les premières recherches de victimes.

2.2. Emprise spatiale

L'aléa hydroclimatique a affecté le Massif de Bouzaréah (58 km²) qui regroupait, en 2005, près de 450.000 habitants. Particulièrement sensible aux inondations rapides tout comme peut l'être aussi la cité marseillaise (Douguedroit, 2008), ce massif est situé à l'ouest de la métropole d'Alger, en bordure de la Mer Méditerranée. Trois unités hydrographiques le composent : les bassins côtiers, associés au bassin-versant de Beni Messous et à celui de l'oued Kouriche (figure 1B), ce dernier ayant été le plus touché par les pluies diluviennes de novembre 2001. Culminant à une altitude de 407 m, le Massif de Bouzaréah est un relief collinaire vigoureux associé à l'Atlas Tellien. Il est limité au sud par le plateau mollassique d'El Biar et de Ben Aknoum, à l'ouest et au nord par la crête de Bouzaréah. Il est entaillé par de nombreux ravins, profonds et aux versants abrupts, qui dissocient des contreforts étroits et tabulaires, aux flancs bien singuliers, tantôt verdoyants, tantôt dénudés (Bousbara, 2008).

Le régime hydrologique des cours d'eau est contrasté, de type « oued », à l'image du drain principal qui traverse le massif d'ouest en est, l'oued Koriche. L'encaissement du réseau hydrographique est progressivement marqué vers l'exutoire (là où s'est étalée la ville de Bab El Oued) ; le dénivelé est de près de 200 m au carrefour Triolet. Par endroits, la pente des versants peut dépasser plus de 25 % et le niveau de raccordement entre les parties élevées et le talweg se fait sur des distances très courtes (< 30

m par endroits). De plus, la vallée de l'oued Koriche présente une forte dissymétrie de versants (figure 1C). La rive droite est régulière et moins pentue que la rive gauche qui est incisée par quatre oueds affluents (Scotto, Sidi Medjebar, Frais Vallon, Chemin du fort). La forte proximité spatiale des vallons explique l'allure déchirée de cette partie septentrionale du Massif de Bouzaréah.



(Source : Behlouli, 2001)

Figure 2. Photographies montrant l'ampleur de la crue des 9-10 novembre 2001 dans le bassin de l'oued Koriche

Lorsque des pluies de forte intensité tombent sur le bassin, comme en 2001, l'oued Koriche collecte une très grande part des apports hydrosédimentaires issus des vallons latéraux. Une fois concentrés, les écoulements deviennent rapides, turbides et violents. Ces derniers ont suffisamment d'énergie pour provoquer des incisions majeures et atteindre Bab El Oued en quelques dizaines de minutes seulement, prenant alors au dépourvu les populations implantées dans ce quartier ouest d'Alger.

3. Méthode d'analyse : une approche hydromorphologique hybride associant l'aléa et la vulnérabilité

L'évaluation du risque hydroclimatique nécessite une approche interdisciplinaire afin de mesurer le poids de chaque composante (aléa et vulnérabilité) dans leur globalité et avec un niveau de précision le plus acceptable possible. Les approches séparées, dites « aléa-centrée » ou « vulnérabilité-centrée » (Gaillard *et al.*, 2007 ; Texier, 2009), peuvent être combinées pour une meilleure appréhension de la complexité des phénomènes étudiés. L'identification du rôle joué par chacune des variables est une première étape vers ce type d'approche. Elle doit reposer sur des analyses d'autant plus pertinentes que des outils d'aide à la décision seront proposés à partir des résultats scientifiques obtenus. Pour ce faire, l'exploitation des ressources bibliographiques et deux missions de terrain en 2009 ont permis de faire le point sur un certain nombre d'informations associées à quatre domaines : 1) les caractéristiques physiographiques (paramètres morphologique et hydrodynamique du bassin ; qualités géotechniques des sols ; coefficients de ruissellement et de perméabilité) ; 2) les caractéristiques climatiques [contexte climatique général ; situation synoptique observée les 9-10 novembre 2001 ; construction d'une base de données climatiques à partir des relevés de plusieurs stations sur une période de plus de 100 ans ; analyses statistiques complétées par différentes données météorologiques (précipitations, températures, évapotranspiration, vent) renseignées à des unités de temps plus fines (de quelques minutes à quelques heures)] ; 3) les caractéristiques d'anthropisation du milieu [cartographie diachronique de l'occupation des sols ; nature des surfaces bâties (dense, lâche) ; localisation des réseaux routiers et autres infrastructures linéaires] ; 4) l'aménagement du territoire [enquêtes de terrain (confrontation des informations existantes, validation ou négation des résultats) ; localisation des réseaux d'évacuation des eaux pluviales].

Une fois ces informations réunies, l'objectif était de souligner les liens existant entre l'organisation morphologique des bassins versants, leur efficacité structurelle, l'intensité des pluies, l'exposition des personnes, les réseaux routiers, etc., autrement dit faire interagir les variables physiques et humaines propres à chaque bassin-versant, perçu alors comme un véritable « système spatial complexe ». Dans un premier temps, l'approche par les SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) a été privilégiée pour croiser différentes couches d'informations (King *et al.*, 1991 ; Lardon, 1992). Toutefois, cette démarche ne tient compte que des relations verticales, négligeant les relations horizontales entre les objets. Dans un second temps, on a souhaité mesurer les effets des interactions entre les variables étudiées en faisant interagir l'ensemble dans de nouvelles simulations plus proches de la réalité, en se basant à nouveau sur l'utilisation de l'automate cellulaire *RuiCells*. On a voulu aussi confronter les variables explicatives au contrôle morphologique, ce dernier ayant un rôle déterminant sur la dynamique des inondations rapides, notamment celles qui sont alimentées par des ruissellements érosifs de surface (Delahaye, 2002 ; Douvinet, 2008). Soulignons que ce travail s'inscrit dans une démarche expérimentale, les données étant encore en nombre insuffisant pour permettre de valider les résultats des simulations numériques.

4. Mise à jour des facteurs de contrôle

En ayant recours à l'analyse systémique (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009 ; Douvinet et Delahaye, 2010), il a été possible de hiérarchiser plusieurs variables explicatives de l'aléa hydroclimatique et de ses impacts, en caractérisant les facteurs (naturels ou anthropiques) de prédisposition, de déclenchement et d'aggravation du phénomène.

4.1. Les facteurs de prédisposition

Subdivisé en plusieurs sous-bassins, le Massif de Bouzaréah présente une prédisposition naturelle à l'aléa hydroclimatique de deux ordres, morphostructurel et climatique.

Au niveau géologique, les trois bassins sont caractérisés par la présence de terrains métamorphiques relativement imperméables, favorisant ainsi les écoulements de type hortonien (Benseddik et Djabri, 2003). Le relief est compact [indice de compacité (K^2) de Gravelius estimé à 1,6], les aires d'extension réduites (0,3-8 km²) et les pentes moyennes fortes (0,02-0,19 %). Les caractéristiques morphométriques et structurales favorisent des temps de réponse hydrologique courts (inférieurs à 1 h) et des débits de pointe importants (730 m³/s en 2001 ; Behlouli, 2001). Dérivée des phénomènes hydriques, l'abondante fourniture sédimentaire a contribué à augmenter considérablement la densité des flots de crue.

En utilisant l'automate cellulaire *RuiCells* (Delahaye, 2002 ; Douvinet, 2008), la structuration interne du réseau hydrographique latent (absent en période normal) ressort aisément. Cet outil d'analyse permet de matérialiser l'emboîtement des sous-bassins versants et leur distance par rapport à l'exutoire terminal (Douvinet *et al.*, 2008). Ainsi, la cartographie des surfaces amont passées dans chaque cellule (figure 3) montre l'évolution progressive de la réponse hydrologique théorique de surface. Ici, les écoulements sont rapidement alimentés par les quatre sous-bassins situés en aval, auxquels s'associent les apports de la partie amont arrivant *de facto* plus tardivement à l'exutoire. Les sous-bassins sont rectilignes et leur contribution est désorganisée et plus chaotique que dans la partie aval. Dans ce bassin, la partie aval est donc très réactive tandis que l'amont sert simplement de « corps d'accompagnement » des écoulements.

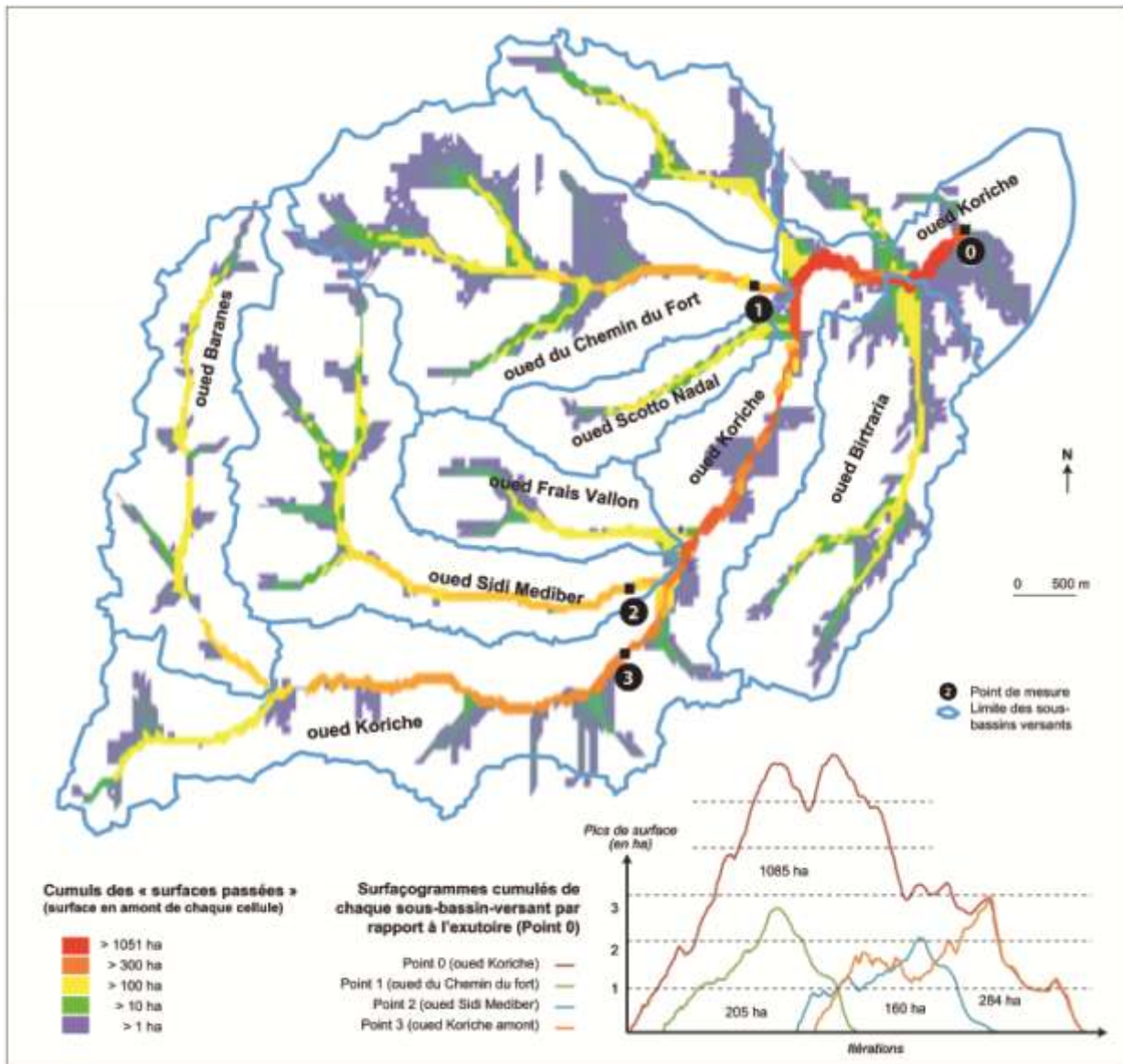


Figure 3. Structuration interne de l'oued Koriche et cartographie de la réponse théorique de surface en utilisant l'automate cellulaire *RuiCells*. Le graphique (surfaçogramme) présente le cumul des « surfaces passées » à chaque itération au Point 0 (situé à l'exutoire) et la contribution des différents sous-bassins.

Du point de vue climatique, la région d'Alger présente aussi une forte sensibilité car elle est soumise à un climat de type méditerranéen, avec un cumul pluviométrique annuel de l'ordre de 675 mm. Les pluies de forte intensité y sont récurrentes et variables dans le temps et dans l'espace. Quelques chiffres traduisent cette réalité : 134 mm le 31/10/1911 ; 135,2 mm le 02/02/1954 ; 115 mm le 09/10/1984 ; 145 mm le 10/11/2001. Les épisodes pluvieux sont occasionnés par des configurations pluvieuses de type BFHM (basse fréquence/haute magnitude). Les pluies intenses surviennent souvent à la suite de longues périodes de dessiccation favorables à la désagrégation granulaire (Papy et Boiffin, 1988 ; Larue, 2005). Désorganisé en surface, le matériel en place est alors soumis à une intense érosion par ruissellement.

4.2. Les facteurs de déclenchement

Les pluies diluviennes des 9-10 novembre 2001 ont découlé d'une configuration synoptique étendue du nord de l'Europe à l'ouest algérien (figure 4), avec un talweg étroit marqué en altitude. Très creusée en surface (995 hPa), une dépression située sur le Groenland (indiquée par de bas géopotentiels, en B sur les cartes ; figure 4) a rattrapé un précédent centre dépressionnaire positionné au nord de la Norvège, ce qui a contribué à renforcer le potentiel d'instabilité en avant de cette masse d'air. Cette configuration a donné naissance à une goutte froide qui s'est progressivement fait piéger entre deux anticyclones. Corrélativement, GF s'est étalée, allant ainsi jusqu'au nord de l'Afrique durant la nuit. Cette situation est restée stationnaire durant plusieurs heures (Office National de la Météorologie, 2002). Sur le plan de la dynamique atmosphérique, l'apparition de ces fortes pluies a donc résulté de l'influence de deux principaux facteurs : la proximité d'un air tropical chaud et humide, alimenté en surface dans un flux de sud par l'Anticyclone des Açores (H pour hauts géopotentiels), et la présence d'un air froid en altitude, poussé par la Dépression d'Islande (décalée à l'est de la Norvège) dans un flux de nord/nord-ouest.

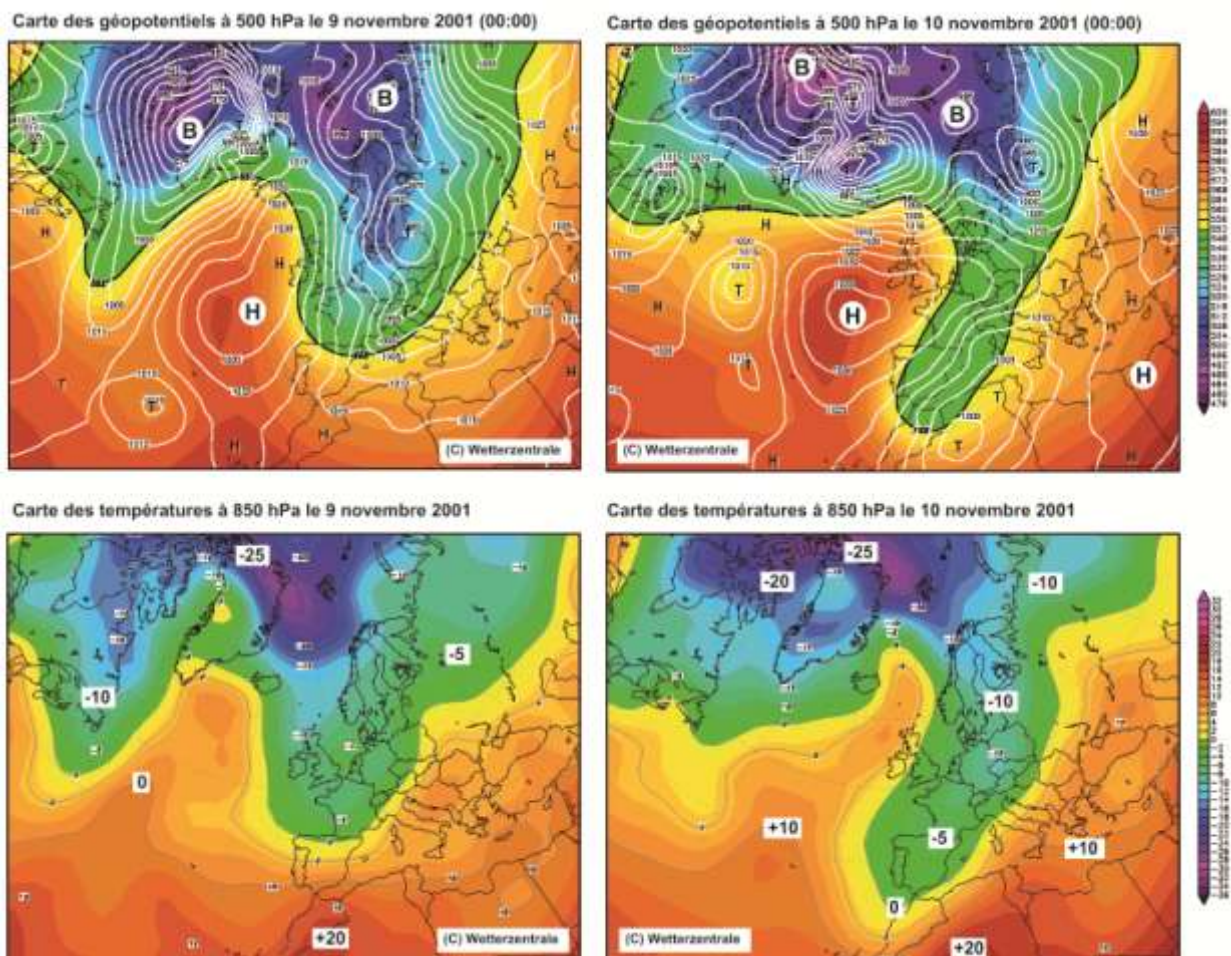


Figure 4. Carte des géopotentiels matérialisant le talweg d'altitude dans la nuit des 9-10 novembre 2001 (d'après les cartes du site www.wetterzentrale.de/topkarten). B : bas géopotentiels ; H : hauts géopotentiels.

La dépression a eu le temps de se charger en humidité au cours de sa progression sur la Mer Méditerranée, avant de se réchauffer à la rencontre d'un air plus chaud en place sur le continent africain. Compte tenu de l'effet orographique (lié aux premiers contreforts de l'Atlas tellien et du Massif de Bouzaréah), la masse d'air s'est rapidement déstabilisée. L'air polaire descendant jusqu'au nord de l'Afrique a formé une véritable goutte froide (GF), dont l'alimentation n'a pas été coupée avec les dépressions originelles, ce qui peut expliquer l'ampleur et l'intensité des pluies relevées sur les stations de Bir-Mourad Rais (131,4 mm en 15 h) et de Bouzaréah (260 mm en 15 h). On distingue deux épisodes pluvieux (figure 5) : les premières pluies (57 mm en 2h30 en aval, et 118 mm sur la même période en amont, sur les contreforts du massif) ont contribué à saturer les formations superficielles et à produire les premiers ruissellements. Les pluies ont de nouveau été soutenues entre 8h30 et 10h30 avec deux pics d'intensité (37 mm en 30 mn) qui ont été plus marqués dans la partie amont du bassin. Etant donné les antécédents hydroclimatiques, les sols ont été incapables d'absorber de telles quantités de pluie et les coefficients de ruissellement ont sans doute été proches de 1 au paroxysme de ce second épisode.

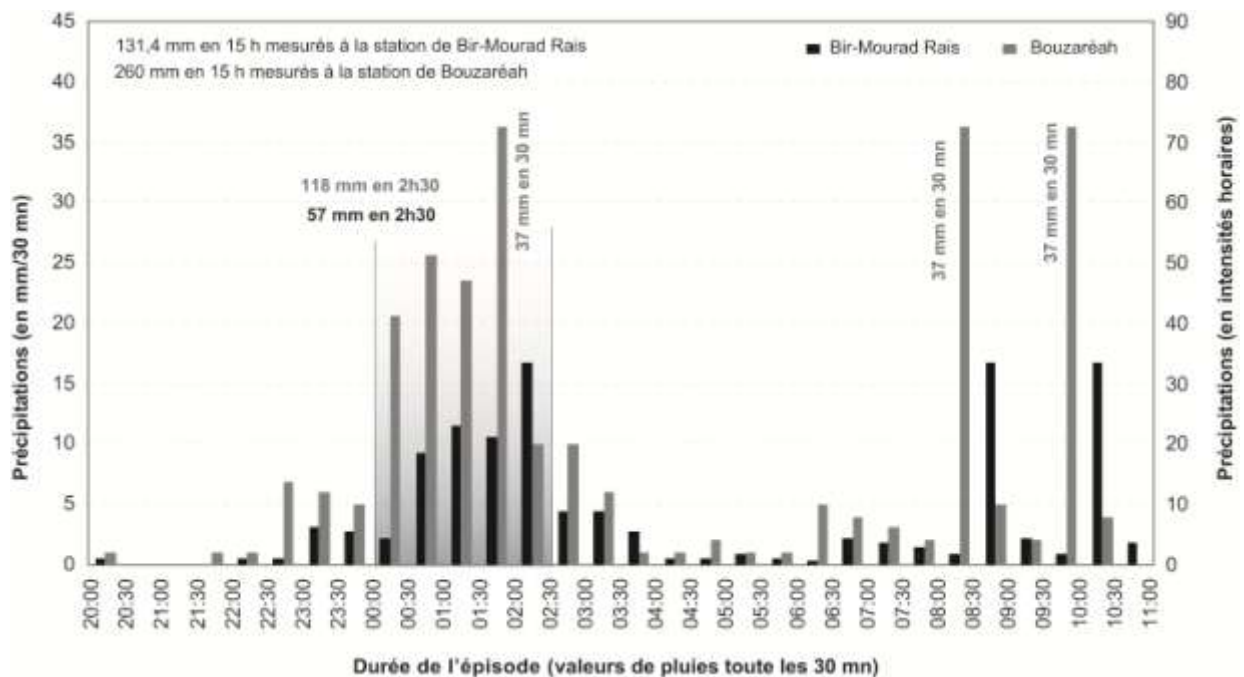


Figure 5. Intensité des pluies dans la nuit des 9-10 novembre 2001 (d'après les données de l'ANRH d'Alger).

4.3. Les facteurs d'aggravation

Ils se résument principalement aux facteurs anthropiques, ces derniers ayant conduit dans le bassin-versant de l'oued Koriche à de graves dysfonctionnements. En effet, dans ce bassin, le niveau très élevé de vulnérabilité a été induit notamment par l'accroissement exponentiel de la population (densité brute de 7201 hab/km²) au cours de ces dernières décennies. A ce titre, si on regroupe la zone urbaine dense et dispersée, le tissu urbain occupe aujourd'hui plus de 64 % de la surface totale du bassin (figure 6). Cette expansion urbaine s'est accompagnée d'une forte exposition des zones bâties et des enjeux, à la fois dans les têtes de bassin, à leur exutoire mais aussi le long de plusieurs tronçons situés dans les fonds de vallons secondaires (oueds Lazhar, Birtraria et Chemin du Fort). *De facto*, beaucoup d'habitations sont aujourd'hui situées dans des zones rendues inondables par les effets du ruissellement pluvial ou fluvial. Un pourcentage élevé (près de 5 %) de la population vit de façon permanente dans des constructions illicites ou dans des habitats informels (figure 6). Une grande partie de cet habitat précaire est construite dans le lit des différents oueds du bassin (figure 7). L'urbanisation s'est progressivement développée au détriment du couvert végétal protecteur (herbacées, ligneux), celui-ci n'ayant alors pas pu jouer son rôle de frein (par effet de peignage et de rugosité) relatif aux écoulements de crue. L'imperméabilisation et le nivellement progressif des surfaces au sol ont eu tendance à accroître les vitesses d'écoulement et le volume des lames d'eau écoulés. De plus, le réseau hydrographique a été canalisé dans des « ovoïdes » dont le dimensionnement ne semble pas suffisant. Bon nombre de talwegs sont aujourd'hui urbanisés,

les réseaux souterrains ayant été construits au fur et à mesure de l'extension de l'urbanisation, sans aucune logique globale. La voie rapide Chevalley-Triolet, qui raccorde l'amont du bassin-versant à son aval, a été implantée dans le lit de l'oued principal (oued Lazhar) après avoir été canalisé (figure 8).

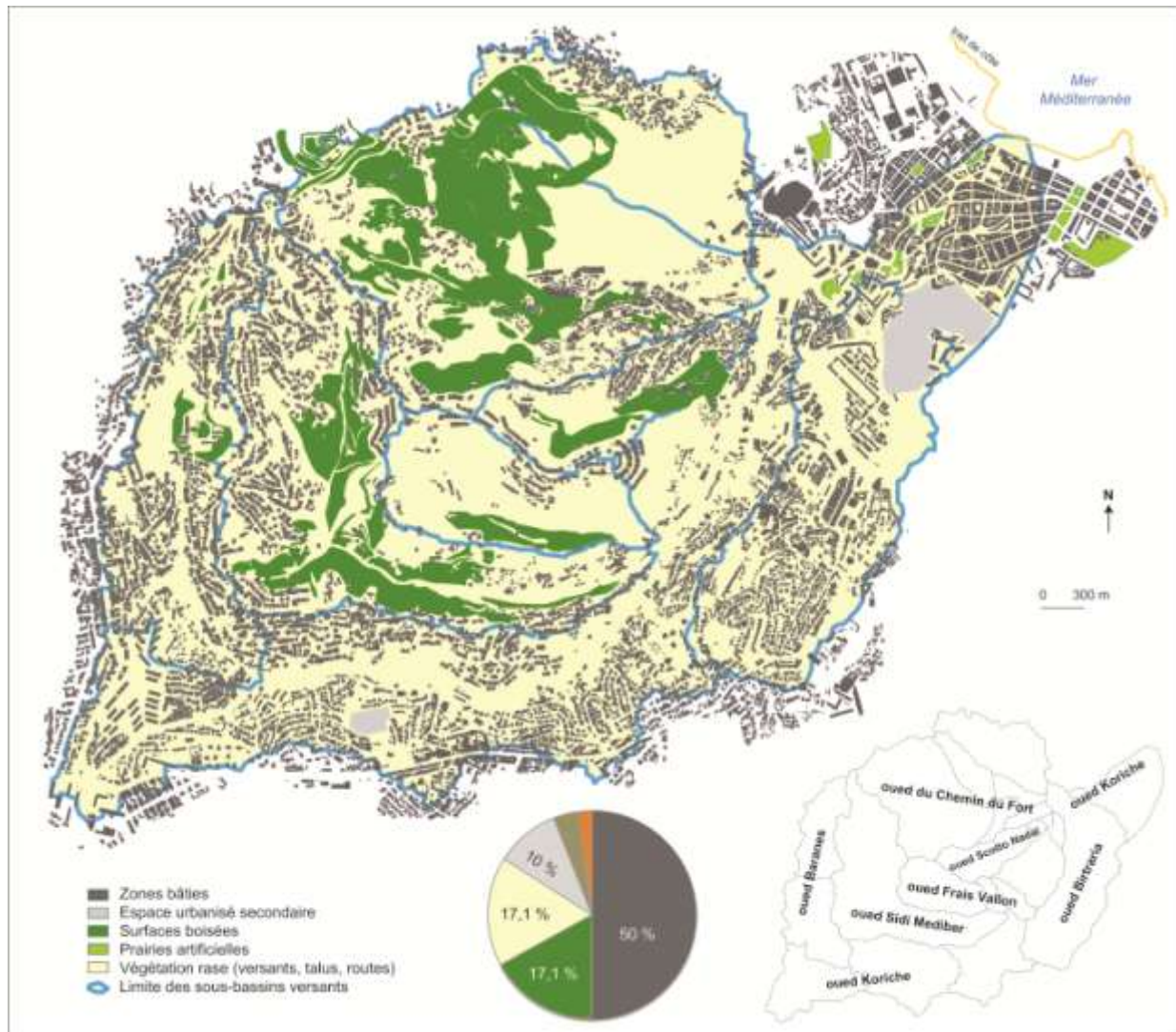


Figure 6. Cartographie et répartition (en %) de l'occupation des sols dans le bassin-versant de l'oued Koriche (d'après les données du BRGM-Urbanis d'Alger).



Figure 7. Photographies montrant des habitats précaires construits dans les fonds de vallons.

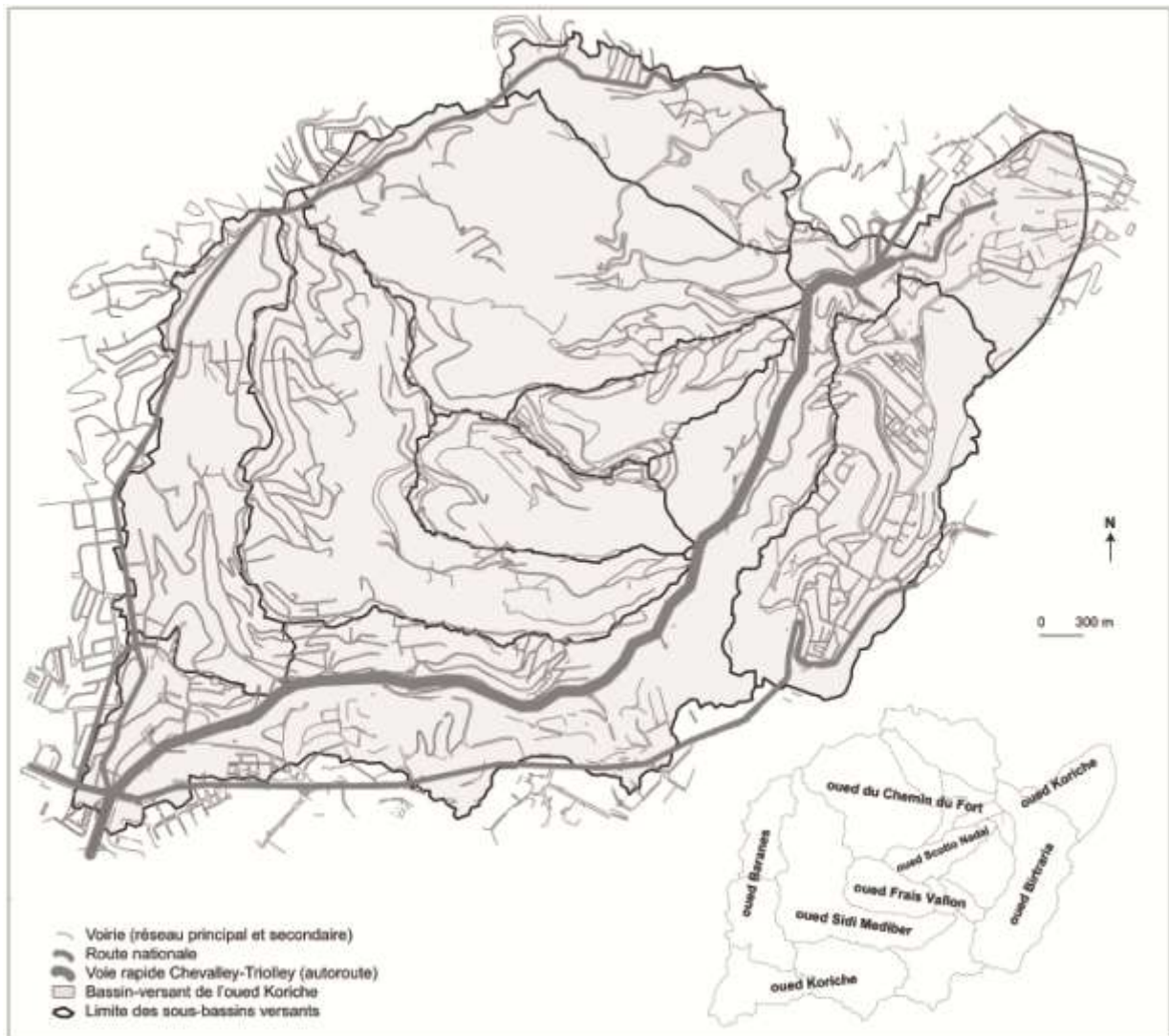


Figure 8. Ampleur du réseau de voiries sur l'oued Koriche (d'après les données de l'ANRH-Urbans d'Alger).

4.4. Des causes multifactorielles aux conséquences démultipliées

Les caractéristiques du milieu, associées à l'ampleur des surfaces imperméabilisées, constituent des éléments favorables aux ruissellements de surface et à l'apparition de phénomènes hydroclimatiques tels que celui de novembre 2001, aux effets dévastateurs. Néanmoins, cette inondation a été aggravée par une multitude de facteurs, en constante interaction, chacun accentuant les effets des autres selon le processus bien connu de la boucle de rétroaction positive : une planification urbaine inexistante, à l'origine des désordres observés au niveau de l'occupation du sol (construction de l'habitat et des routes en fonds de vallée) ; le sous-calibrage des collecteurs d'eaux pluviales, qui a entraîné des surplus d'eau considérables et qui sont rapidement apparus sur les voiries (comme cela avait été le cas à Nîmes en octobre 1988) ; l'insuffisance des espaces dédiés à l'expansion des crues, ce qui a eu pour effet de réduire les capacités d'infiltration et d'accroître, de façon corollaire, les coefficients de ruissellement dans les secteurs où la densité de population (*i.e.*, la vulnérabilité humaine) était maximale. L'ampleur des dégâts humains et matériels engendrés par les intempéries de novembre 2001 aura marqué les mémoires en Algérie et dans le bassin méditerranéen : plus de 1000 morts ; 3721 immeubles détruits ou endommagés dont 1261 habitats précaires ; plus de 5 milliards de dinars d'infrastructures détériorées (Groupement Economique de Contrôle Technique de la Construction, 2002). Le risque est toujours aussi élevé aujourd'hui, avec une situation qui pourrait devenir tout aussi dramatique en cas de fortes pluies identiques à celles de 2001. Il faudrait alors axer les futures études sur les outils de prévention à mettre en place face à un tel aléa hydroclimatique.

5. Conclusions et perspectives de recherches

L'évaluation et la gestion du risque à Alger restent difficiles à établir à cause d'un aléa aux multiples facettes (ruissellement urbain, débordement des oueds...) et à cause d'une artificialisation du milieu aux effets souvent irréversibles : le réseau hydrographique a été en grande partie enterré et remplacé par des canaux souterrains sous-calibrés alors que les capacités d'évacuation des collecteurs sont largement dépassées en cas de crue brutale. Les recherches en cours (Menad *et al.*, 2009) montrent que les risques de ruissellement et d'inondation à Alger résultent principalement de la conjonction d'un haut degré de vulnérabilité avec la permanence d'un fort aléa d'origine hydroclimatique. Une meilleure concertation et la mise en place d'une politique de décentralisation des actions entre services communaux et les services centraux de l'urbanisme sont aujourd'hui plus que nécessaires afin de réduire ce risque.

Dans un futur proche, quelques pistes devraient pouvoir s'ouvrir afin d'évaluer plus précisément le risque hydroclimatique dans ce secteur (Menad, thèse en cours). Cela nécessitera le recours à différentes méthodes transdisciplinaires afin d'évaluer, avec un niveau de précision acceptable, les différentes composantes (aléa et vulnérabilité) du risque et fournir un outil fiable d'aide à la décision. L'évaluation de l'aléa sera principalement basée sur des outils de modélisation. Les trajectoires de l'écoulement de surface et le comportement hydraulique du territoire seront reproduits par le couplage de deux logiciels de type automates cellulaires, *RuiCells* (Langlois et Delahaye, 2002) et *RUBAR* (conçu et développé par le CEMAGREF). L'évaluation de la vulnérabilité sera basée sur les résultats d'une approche socio-économique qui assurera la prise en compte du volet humain généralement négligé. Une fois ces deux composantes du risque mieux définies, il sera possible d'élaborer des courbes et des équations d'endommagement (Torterot, 1993). Cette démarche est le fruit d'une confrontation directe de l'aléa et de la vulnérabilité pour aboutir à une cartographie du risque avec un niveau de signification acceptable. La réalisation d'une modélisation hydraulique à l'échelle du bassin-versant de l'oued Koriche constituerait aussi une aide à la prévision du comportement du tissu urbain face aux intempéries, aboutissant *in fine* à une meilleure caractérisation de l'exposition des enjeux humains, économiques et écologiques. A défaut, des cartes préventives uniquement basées sur l'aléa hydroclimatique pourraient être proposées pour cibler les secteurs où les enjeux seraient potentiellement les plus touchés.

Références bibliographiques

- Arnaud-Fassetta G., Astrade L., Bardou E., Corbonnois J., Delahaye D., Fort M., Gautier E., Jacob N., Peiry J.-L., Piégay H., Penven M.-J., 2009 : Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **2**, 109-128.
- Aroua N., Berezowska-Azzag E., 2009 : Contribution à l'étude de la vulnérabilité urbaine au risque d'inondation dans le contexte de changement climatique – Cas de la vallée de l'Oued El Harrach à Alger. *Proc. of the Fifth Urban Research Symposium*, 20 p.
- Behloul L., 2001 : Note technique sur l'évènement pluvieux du 09 au 10 novembre 2001. Région d'Alger. Services des études et de prévisions, 15 p.
- Benseddik M., Djabri H., 2003 : Les intempéries catastrophiques du 10/11/2001, causes et conséquences dans le bassin dans le bassin versant de l'Oued Lazhar (Bouzaréah-Bab el Oued). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du grade d'ingénieur d'Etat. Faculté des sciences de la Terre, de la Géographie et Aménagement de Territoire, 92p.
- Bousbara K., 2008 : Crue par ruissellement en milieu urbain : cas des inondations de Bab El Oued du 10 novembre 2001. In A. Giret (Ed.) *Le risque hydrologique – Du concept à sa gestion*, Editions Le Manuscrit, Paris, 215-231.
- Côte M., 1996 : *L'Algérie*. Editions Masson, Paris, 254p.
- Delahaye D., 2002 : Apports de l'analyse spatiale en géomorphologie – modélisation et approche multi-scalaire des risques. Habilitation à Diriger des recherches, université de Rouen, 2 tomes, 250p.
- Douguedroit A., 2008 : Précipitations extrêmes et "crues urbaines" à Marseille (France) de 1861 à 2007. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, **51**, 105-114.
- Douvinet J., 2008 : Les bassins versants sensibles aux « crues rapides » dans le Bassin Parisien – Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes. Thèse de doctorat, université de Caen, 381p.

- Douvinet J., Delahaye D., 2010 : Caractéristiques des « crues rapides » du nord de la France (Bassin parisien) et risques associés. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **1**, 73-90.
- Douvinet J., Delahaye D., Langlois P., 2008 : Modélisation de la dynamique hydrologique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle, *Cybergéo*, 412 (<http://www.cybergeo.eu/index16103.html>).
- Gaillard J.-C., Liamzon C.C., Villanueva J.D., 2007 : « Natural disaster » ? A retrospect into the causes of the late 2004-typhoon disaster in Eastern Luzon, Philippines. *Environmental hazards*, **7** (3), 257-270.
- Groupement Economique de Contrôle Technique de la Construction, 2002 : Intempéries du novembre 2001. Retour sur une catastrophe. *Le Contrôle Technique de la Construction*, n°25, Ain Témouchent, 16 p.
- ISL-BRGM, 2006 : Etude de réduction de la vulnérabilité du massif de Bouzaréah aux catastrophes naturelles. Rapport de tâche 2. Volume 2 Rapport R3114, p. 6-42.
- King D., Hardy R., Le Bissonnais Y., 1991 : Evaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord-Pas-de-Calais. Conseil régional du Nord-Pas-de-Calais, 208p.
- Langlois P., Delahaye D., 2002 : Ruicells, un automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface. *Revue Internationale de Géomatique*, **12** (4), 461-487.
- Lardon S., 1992 : SIG : nouveaux concepts dans des démarches nouvelles ? *Gestion de l'espace rural et Système d'Information Géographique*, INRA Editions, 67-77.
- Larue J.-P., 2005 : The status of ravine-like incisions in the dry valleys of The Pays de Thelle (Paris Basin, France). *Geomorphology*, **68** (2), 242-256.
- Menad W. (en cours) : *La gestion des risques hydrologiques à Alger*. Thèse de géographie physique, université Paris-Diderot (Paris 7).
- Menad W., Douvinet J., Arnaud-Fassetta G., 2009 : Le risque d'inondation dans le Massif de Bouzaréah (partie ouest de la ville d'Alger) : analyse systémique de l'aléa et facteurs de vulnérabilité. *Colloque international « Risques naturels en Méditerranée occidentale »*, Carcassonne, 16-21 novembre 2009 (communication orale).
- Office National de la Météorologie, 2002 : Un résumé de la situation météorologique exceptionnelle ayant affecté le centre et l'ouest du nord Algérie et en particulier la zone urbaine d'Alger les 9 et 10 novembre 2001. Note technique N°001, 6 p.
- Papy F., Boiffin J., Douyer C., 1988 : Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. Tome II : Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie*, INRA Editions, **8**, 745-756.
- Redjimi M., 2000 : De l'empire à l'État démiurge. La recomposition du territoire algérien. (1830-1990), Thèse de géographie, université Montpellier 3, 598p.
- Texier P., 2009 : Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Indonésie. Réponses sociales, institutionnelles et non institutionnelles, Thèse de géographie, université Paris-Diderot (Paris 7), 416p. + annexes.
- Torterot J.-P., 1993 : *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*. Thèse, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 283p.

RISQUES NATURELS EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE

ACTES

du

COLLOQUE INTERNATIONAL

organisé

du 16 au 21 novembre 2009

à

Carcassonne, Aude, Languedoc-Roussillon, France

Monique FORT & Frédéric OGE
éditeurs



UMR 8586 – CNRS