

Nouveaux éléments d'approche de la vulnérabilité de l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale) face au risque d'inondation

Hayet HMERCHA¹, Abdelkarim DAOUD¹, Thierry SAINT-GÉRAND²

¹ Université de Sfax, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Laboratoire «Génie de l'Environnement et Ecotechnologies» (GEET), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Tunisie; hmercha.hayet@yahoo.fr, daoudabdelkarim@yahoo.fr

² Université de Caen-Basse Normandie UFR de Géographie Laboratoire IDEES Caen UMR CNRS IDEES 6266, 7/5000, La France; thierry.saint-gerand@unicaen.fr

Introduction

Les risques d'inondation, dans un territoire donné, peuvent être appréhendés comme la conjonction entre aléas et enjeux vulnérables. Tous ces éléments sont donc à caractériser et analyser dans leurs interactions. Les études sur les inondations dans l'agglomération de Sfax sont aujourd'hui assez nombreuses pour permettre de revisiter l'analyse aussi bien de l'une que de l'autre des composantes de ce risque, et les modalités de leur coalescence.

L'hypothèse principale de ce travail stipule que quelles que soient les performances des infrastructures de protection, elles sont inadaptées face aux nouvelles vulnérabilités inhérentes à l'aménagement passé et actuel de la ville.

Le présent travail sera structuré en trois parties. La première traitera des données générales sur les inondations dans l'agglomération de Sfax et des infrastructures existantes visant sa protection. La seconde partie exposera les éléments d'une nouvelle approche de la vulnérabilité, dont les résultats préliminaires seront exposés en troisième partie

1. Zone d'étude: Une agglomération encore vulnérable malgré l'importante infrastructure de protection

1.1 Des événements pluviométriques importants, parfois exceptionnels

Au cours des cinq dernières décennies, l'agglomération de Sfax a connu plusieurs événements pluviométriques importants, parfois exceptionnels. Si la moyenne annuelle pour la station de Sfax-El-Maou (station de référence, située dans l'aéroport de Sfax) pour la période allant de 1901 à 1985 est de 215 millimètres (Daoud 1992), celle-ci peut descendre en deçà de 100 millimètres: 37,1 en 1946/47; 52,5 en 1936/37, ou atteindre des chiffres records: 604,4 en 1969/70; 430 en 1948/49; 414 en 1975/76 (Daoud 2013). Les inondations en milieu urbain, qui suivirent les crues d'octobre 1982 peuvent être considérées comme événement de référence, puisque les quantités enregistrées en 24 heures le 30 octobre 1982 avaient atteint 140,8 millimètres (période de retour égale à 160 ans), les quantités enregistrées entre le 30 octobre à 22 heures et le lendemain à 11 heures 05 heures avaient atteint 177,3 millimètres (période de retour égale à 500 ans) (Sakis, Sassi 1982). Les dégâts de cet événement exceptionnel furent catastrophiques du point de vue humain (environ 70 personnes emportées par les

crues) et matériel (estimées à l'époque à 47 millions de dinars). La topographie est à l'origine d'une très forte vulnérabilité naturelle, puisque l'agglomération occupe une plaine littorale à très faible pente, vers laquelle convergent plusieurs oueds importants, comme le montre la carte du bassin à risque ci-dessous (Figure 1). La forte variabilité interannuelle et inter saisonnière des précipitations semble beaucoup plus liée au régime méditerranéen et aux types de circulation (principalement NE) qu'au changement climatique contemporain, qui se manifeste surtout par une tendance significative au réchauffement. Au niveau des précipitations, on note plutôt une occurrence plus importante des événements exceptionnels (Daoud, Dahech 2009, 2012) dont les effets sur l'Homme et ses activités dans l'agglomération sont multipliés en raison de ses vulnérabilités.

1.2 Des vulnérabilités multiples et spatialement différenciées

Les inondations de 1982 amenèrent les décideurs à doter l'agglomération de Sfax, d'une imposante infrastructure de protection contre les inondations, mise en place en 1984 et comportant des ouvrages de protection «lointaine», principalement des digues le long des berges d'oueds, et d'autres de protection «rapprochée», principalement au moyen d'un canal de ceinture et de dalots ayant pour rôle d'intercepter les eaux de ruissellement pour les évacuer vers la mer (Figure 2). Cette infrastructure a fait ses preuves pour la protection de la ville en interceptant les crues avant l'arrivée des eaux dans la zone centrale et péricentrale. Cette infrastructure a permis d'atténuer la vulnérabilité liée à la topographie.

Toutefois, la croissance urbaine et l'étalement connus par l'agglomération depuis cette mise en place (Figure 3) (Baklout 2004; Bennasr 2004, 2005), ont généré de nouvelles vulnérabilités, surtout lorsque l'habitat non réglementaire s'est installé dans les zones à risque en bordure d'oueds ou dans leurs zones d'épandage. De plus, l'évolution de l'agglomération fut marquée aussi par une densification remarquable du tissu urbain, aussi bien à l'intérieur des zones centrale et péricentrale, que celle d'habitat pavillonnaire et le long des radiales (Figure 3), ce qui s'est traduit entre autres par une imperméabilisation de plus en plus importante de terrains et des inondations répétitives des enjeux en places (Photo 1, 2, 3 et 4).

Les inondations de 2003, 2009 (Daoud 2013), ainsi que celles plus récentes de 2013 et 2015 qui ont particulièrement touché le centre-ville et certains quartiers populaires situés dans des zones topographiquement très basses, proches du littoral nord

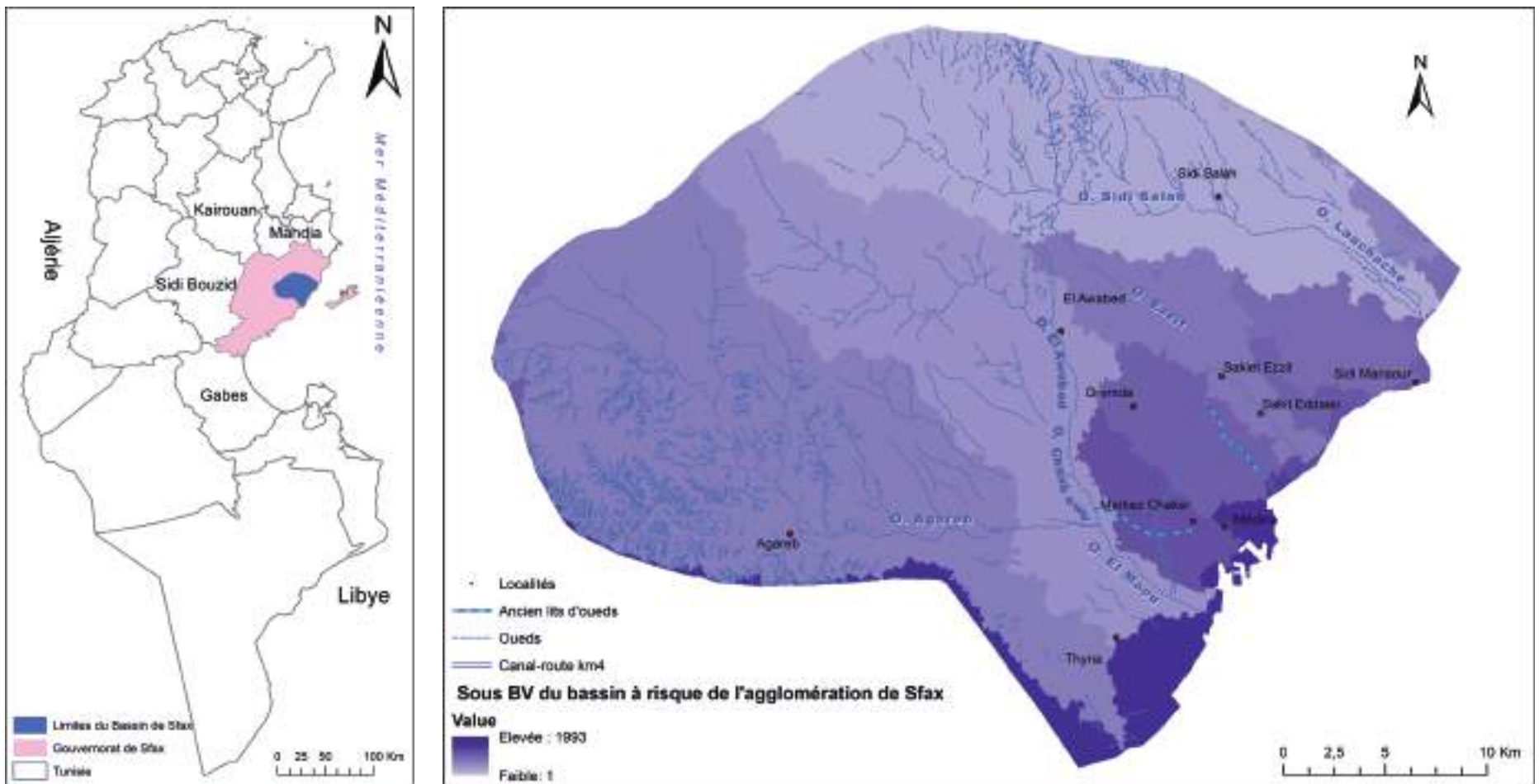


Figure 1 – Bassin à risque de l'agglomération de Sfax.

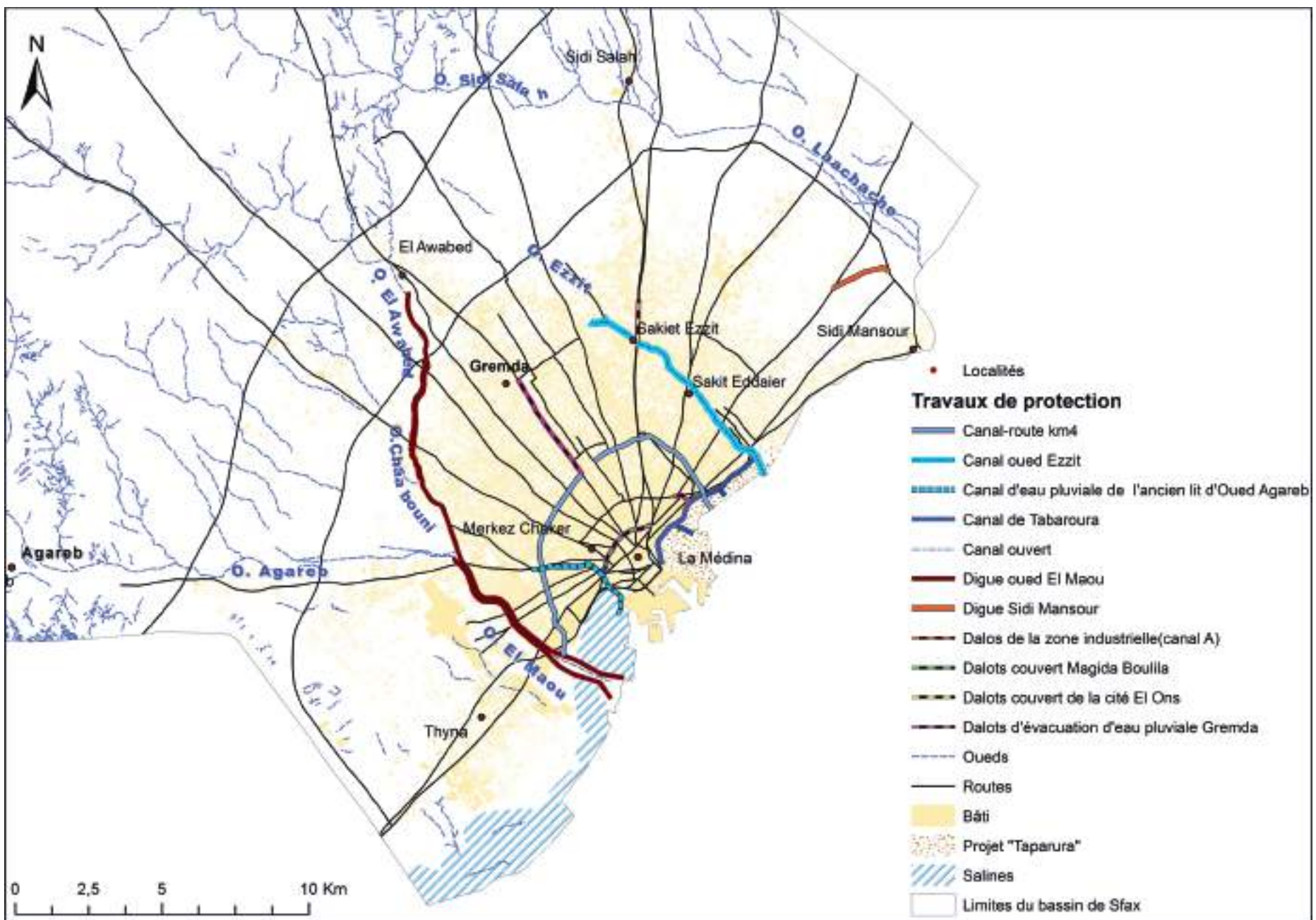


Figure 2 – Infrastructure de protection de l'agglomération de Sfax contre les inondations. Source: Daoud 2013.



Photo 1 – Inondation de 23 sept. 2009. Photo: A. Daoud.
Photo 2 – Inondation de 19 sept. 2013. Photo: H. Hmercha.
Photo 3 – Inondation de 26 mars. 2015. Photo: H. Hmercha.
Photo 4 – Inondation de 29 sept. 2016.
Photo 1, 2, 3, 4 – Des situations identiques: Lame d'eau enclave les routes de Sfax entravant ainsi la circulation sur plusieurs axes de la ville perturbant la mobilité des personnes et des marchandises, et les décideurs ont annoncé la fermeture des établissements scolaires et la suspension des cours.

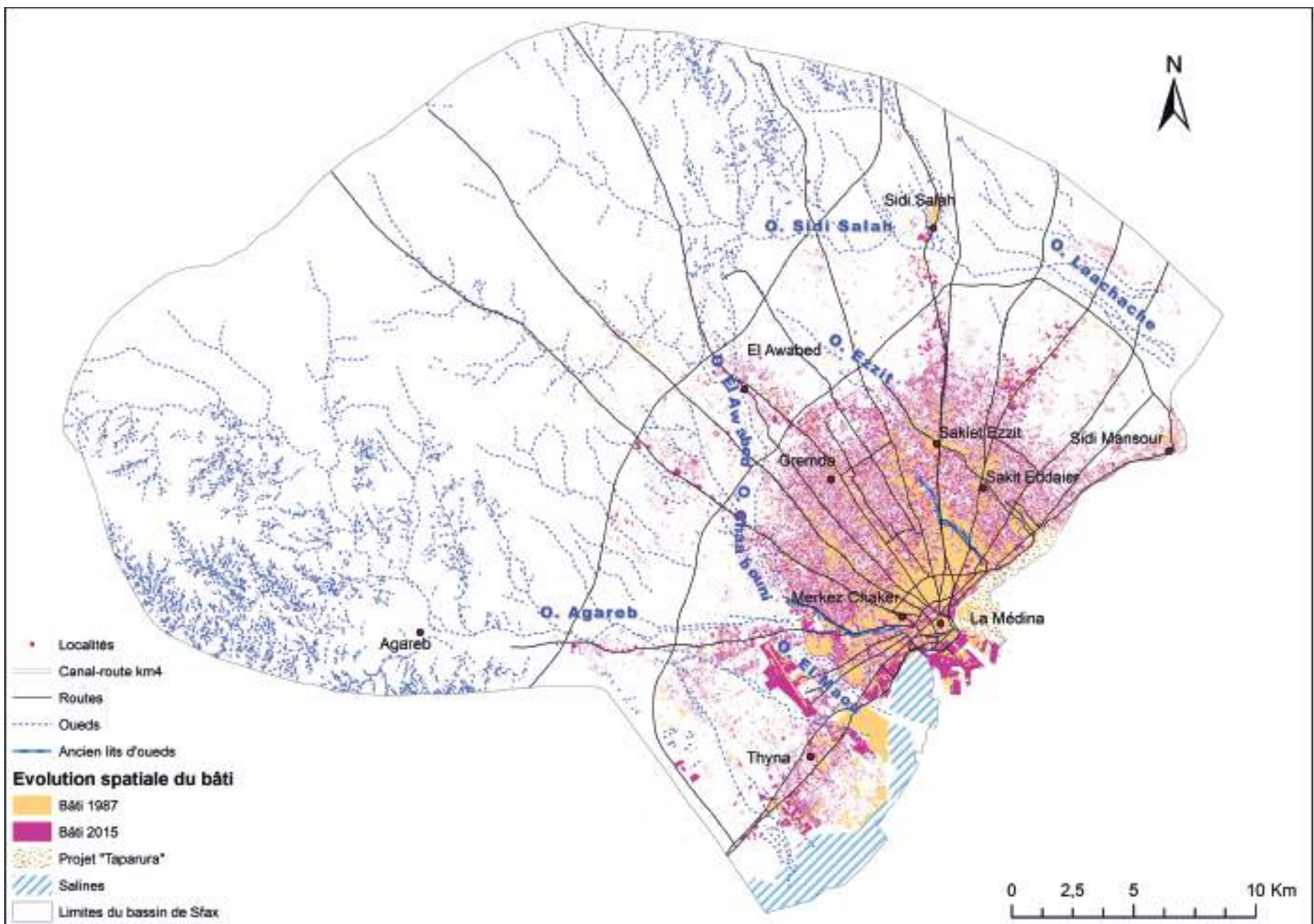


Figure 3 – Evolution spatiale du bâti dans l'agglomération de Sfax, entre 1987 et 2015. Cartographie: H. Hmercha 2015.

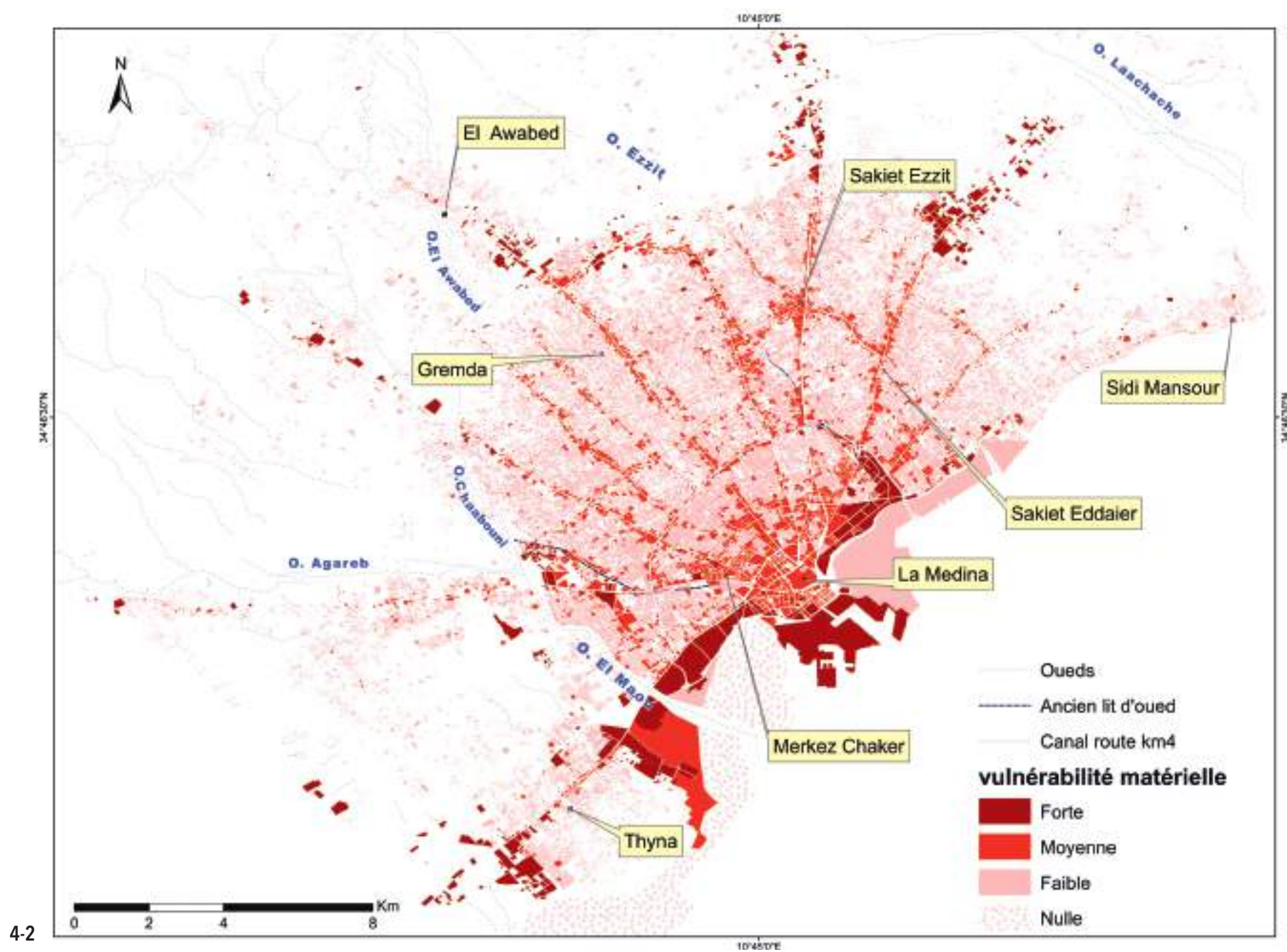
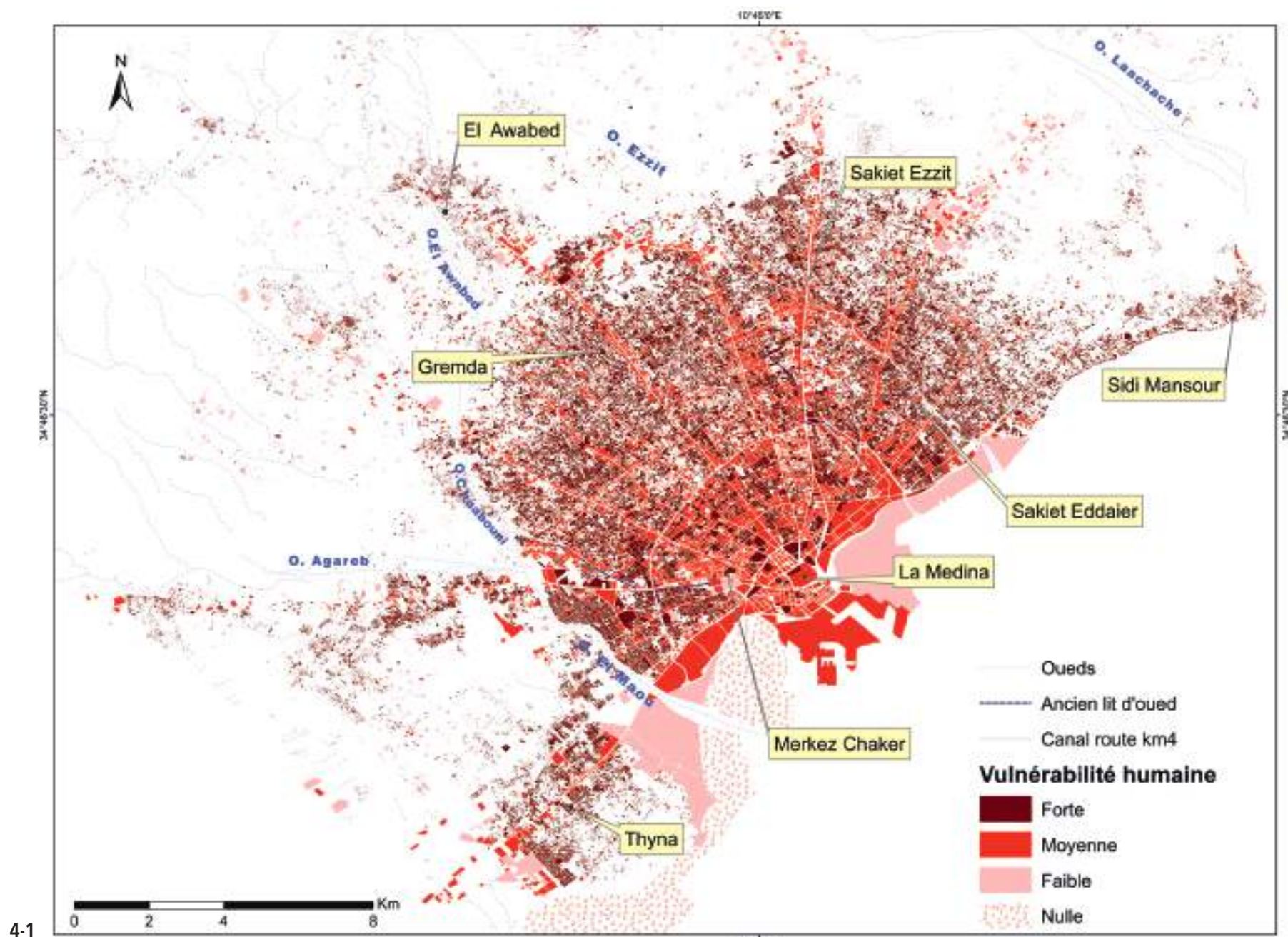


Figure 4a – Cartes des vulnérabilités humaine (4-1) et matérielle (4-2) de l'agglomération de Sfax. Cartographie: H. Hmercha 2015.

de la ville, ont révélé de nouvelles vulnérabilités liées plutôt à l'organisation intrinsèque de la ville, son système de transport et son mode de fonctionnement tout court. En effet, lors de ces événements, les accumulations soudaines d'eau dans les carrefours importants et certaines rues peuvent conduire à une paralysie momentanée de certains îlots et des dégâts matériels importants dans les infrastructures et moyens de transport.

Il est donc clair que les infrastructures de protection mises en place depuis 1984 et améliorées en permanence voient leur efficacité atteindre ses limites. A ces nouvelles vulnérabilités, d'autres parades sont nécessaires, mais tout doit commencer par une caractérisation spatiale la plus fine possible, pour comprendre leurs interactions et leurs inscriptions territoriales.

2. Approche et méthode: Territorialisation de la vulnérabilité et des risques: essai de modélisation pour l'agglomération de Sfax

2.1 Essai de cadrage conceptuel

L'approche des risques à travers la vulnérabilité des territoires a ses précurseurs. Sans prétendre en faire une liste exhaustive, notons à titre d'exemple que pour Thouret, D'Ercole (1996), la connaissance de la vulnérabilité urbaine, permettrait sa réduction «prévisionnelle avant une crise». De son côté, November (2002) et Saint-Gérand (2007) utilisent, dans des acceptions voisines, le concept de «situation à risque». November notamment affirme «qu'il ne devrait plus être possible d'étudier le risque sans le territoire, ni le territoire sans le risque...cela signifie que les études géographiques du risque doivent tenir compte de la relation riche et complexe entre ces deux éléments». Pour Laganié (2006) comprendre la relation entre vulnérabilité, risque et territoire permettrait «une meilleure prise en compte de ce risque dans les documents d'urbanisme et d'aménagement du territoire». Léone et al. (2010) notent que «la distinction entre trois niveaux de vulnérabilité (et donc de risques)-matérielle, structurelle et fonctionnelle, s'avère nécessaire pour appréhender la complexité systémique des risques urbains».

La définition que nous retiendrons de la vulnérabilité dans cet article, est *l'impact potentiel d'un événement sur les différentes composantes d'un territoire géographique exposé*. Elle dépend surtout de la résistance des enjeux, du degré de l'événement et de la sensibilité d'une communauté aux aléas. Nous aborderons donc la vulnérabilité territoriale de l'agglomération de Sfax en considérant trois grands types d'enjeux et donc de vulnérabilité: d'abord **la vulnérabilité corporelle ou humaine** qui est l'impact potentiel de l'aléa sur la vie humaine; elle est fonction de l'intensité de l'aléa et de la sensibilité intrinsèque de population (perception, sensibilité...) et extrinsèque (efficacité de la travaux de protections, de l'alerte, des secours et des soins...) ensuite **la vulnérabilité matérielle ou économique**, qui est l'impact potentiel de l'aléa sur les biens: l'habitat, les différents types de bâtiments, les différentes activités socio-économiques de la société et les réseaux de transport et de communication; elle dépend aussi de l'intensité de l'aléa et de la capacité de résistance physique des biens et enfin **la vulnérabilité fonctionnelle**, qui est l'impact potentiel de l'aléa sur le fonctionnement de la ville, elle dépend de l'intensité de l'aléa mais aussi de la capacité de résistance et de résilience du territoire.

2.2 Données et démarche

Pour arriver à des résultats les plus fiables possibles, une chaîne de méthodes a été utilisée. Elle a consisté d'abord en traitement d'images satellitaires: compte tenu de la non-disponibilité des données de l'année 2000 sur Google Earth et sur d'autres sites, nous avons eu recours à des images Landsat (http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php) disponibles gratuitement. Nous sommes parvenus à obtenir les images de 1982 et de 1987. Compte tenu de la résolution de ces deux images, le choix s'est naturellement porté sur celle de 1987. Les bandes ont été chargées (*vert, rouge, bleu, infrarouge, proche infrarouge, moyen infrarouge et ultra-violet*) et combinées avec le logiciel ENVI 7 pour ensuite passer à composition colorée. Une fois la combinaison faite, avec logiciel ArcGIS (ArcInfo version 10.2), nous avons procédé à la «classification supervisée» qui fut suivie de corrections manuelles à la base des connaissances du terrain. Quatre unités d'occupation ont ainsi été obtenues à l'issue de ce traitement: le bâti et non bâti, sable et salines. Ensuite, nous avons procédé à la numérisation des données vecteurs de 2014. La digitalisation a concerné systématiquement le bâti, le réseau de routes et de voies et le réseau hydrographique pour l'ensemble de l'agglomération.

Afin de caractériser les différents types de vulnérabilités, qui dépendent en grande partie du mode d'occupation du sol, la méthode adoptée dans le présent travail consiste à recenser les différents modes d'occupation du sol en donnant une attention particulière aux installations sensibles comme les écoles, les hôpitaux, les pôles chimiques et industriels et certaines autres installations sensibles de la zone d'étude. La démarche globale d'analyse spatiale des enjeux humains (Daoud et al. 2007) comporte les phases suivantes: d'abord, l'inventaire des objets spatiaux caractérisés par la présence de la population, leur identification et classification selon différents types de morphologie urbaine. Ensuite, la détermination des niveaux d'enjeux et vulnérabilités de ces ensembles: estimation du nombre de personnes, caractérisation de la population et estimation de son degré d'exposition. Enfin, la cartographie des typologies de zones vulnérables.

Une classification multivarée spatiale (Méthode des «Nuées dynamiques spatiales» d'après l'algorithme de Diday sous ArcGIS 10.2 Spatial Analyst) portant sur des critères d'évaluation des vulnérabilités des différentes catégories d'enjeux (économique, humain, fonctionnel) attachées aux bâtiments a été mise en œuvre, et sous-tend les cartes de synthèse 4.1 à 4.4.

3. Résultats et discussion: Cartographie des vulnérabilités dans l'agglomération de Sfax

D'après la carte de la vulnérabilité humaine, celle-ci semblerait élevée dans les zones littorales topographiquement basses où convergent les ruissellements, certains quartiers populaires sur les ailes nord et sud et dans les secteurs périurbains situés au-delà des infrastructures de protections.

La figure 4-2 nous montre que la zone centrale et péricentrale, en raison des accumulations et stagnations d'eau, et les radiales pour le rôle d'axes artificiels de drainage des eaux de ruissellement semblent être les plus vulnérables aux dégradations matérielles. Ces mêmes raisons expliquent leur vulnérabilité fonctionnelle, comme le montre la figure 4-3 suivante.

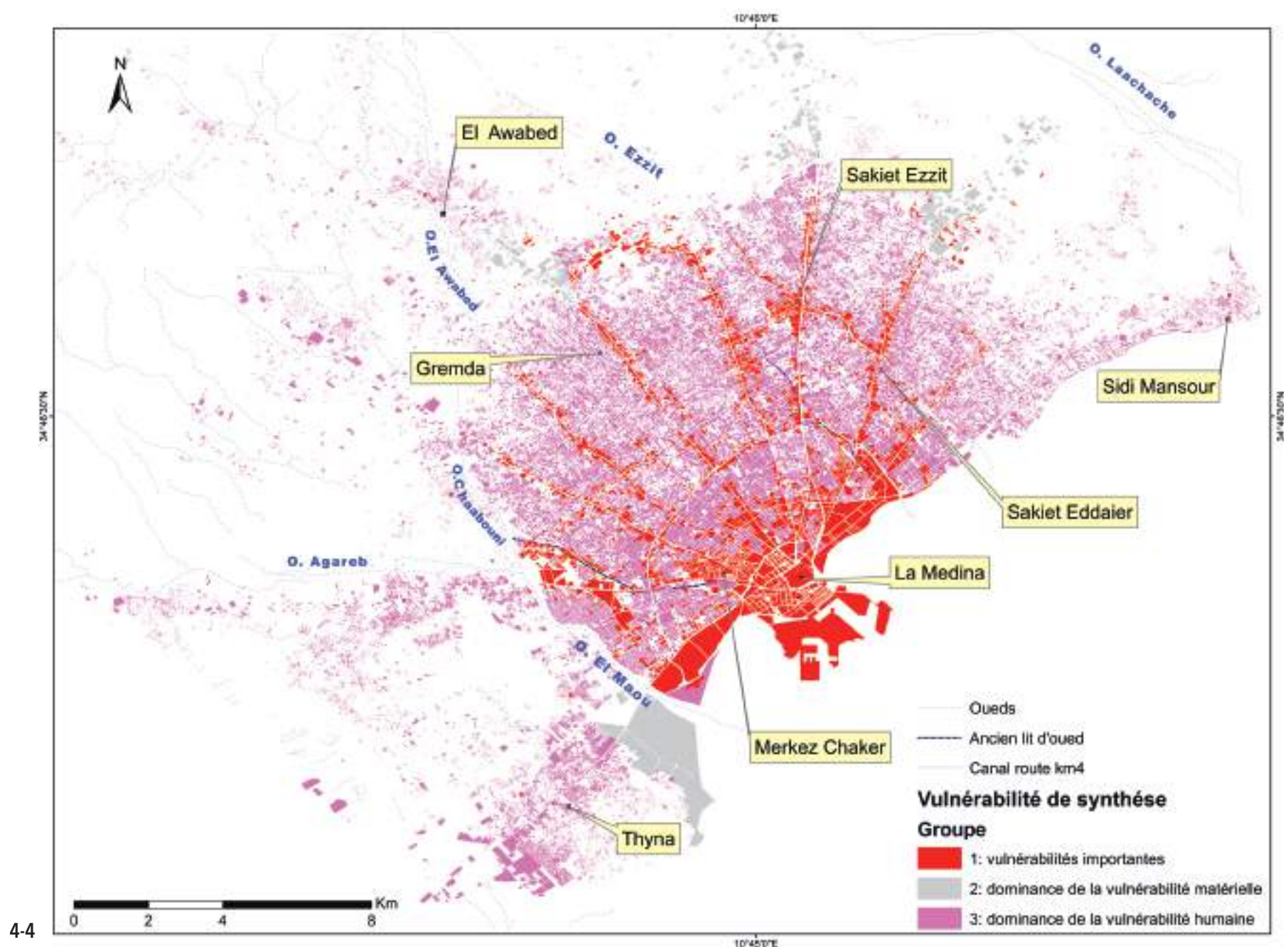
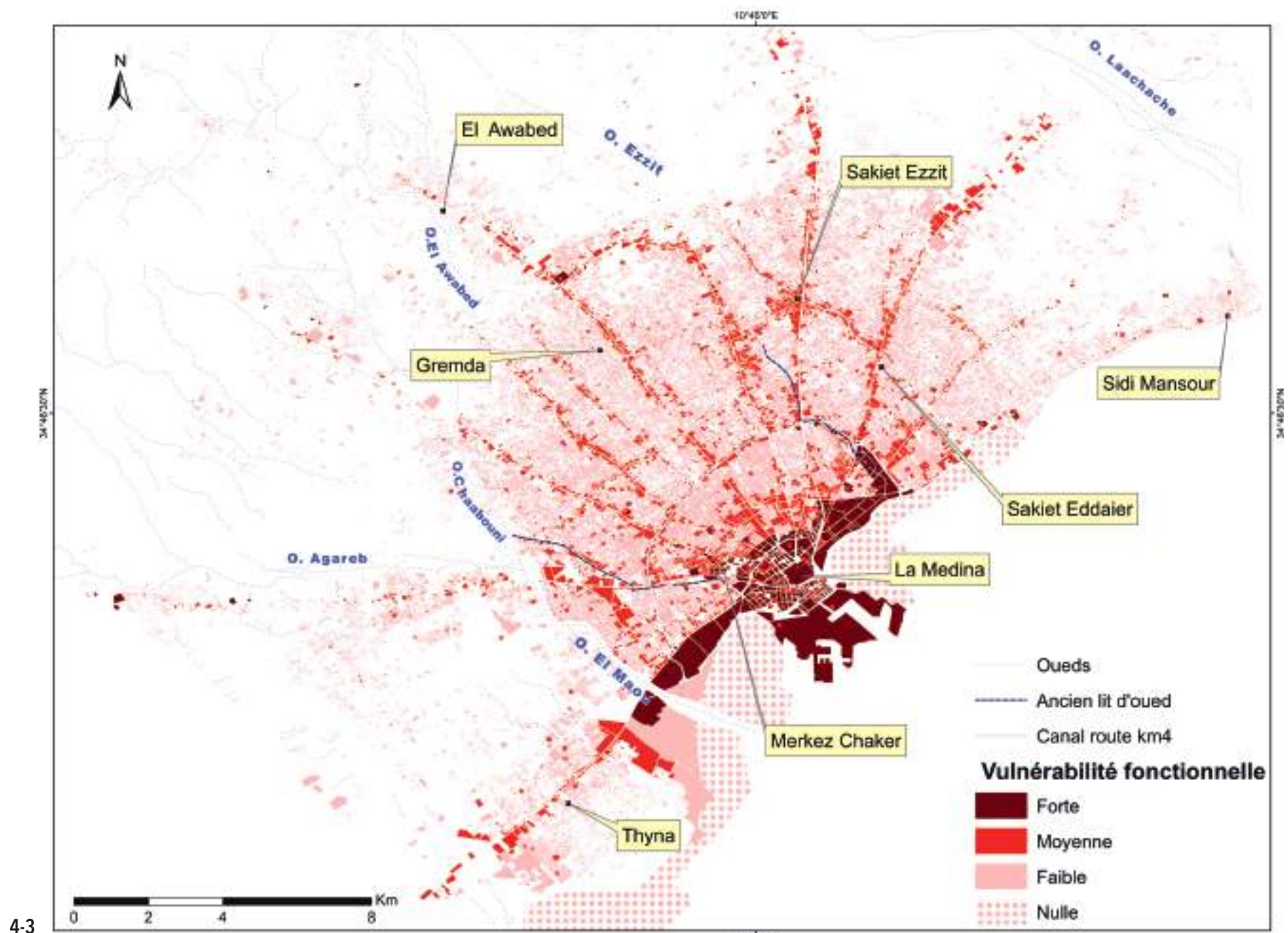


Figure 4b – Cartes des vulnérabilités fonctionnelle (4-3) et de synthèse (4-4) de l'agglomération de Sfax (Cartographie: H. Hmercha 2015).

La figure 4-4 montre trois différents groupes de **vulnérabilités de synthèse**: D'abord un premier groupe d'espaces urbains ou d'îlots ayant une vulnérabilité de synthèse dans laquelle les trois types de vulnérabilités sont importants. Ensuite, un deuxième groupe ayant une vulnérabilité de synthèse marquée par une dominance de la vulnérabilité économique. Enfin, un troisième groupe à vulnérabilité de synthèse dans laquelle la vulnérabilité humaine est plus importante que les deux autres.

Les territoires de la ville où les trois types de vulnérabilité sont importantes correspondent globalement à de nombreux îlots de la zone centrale et péricentrale, aux radiales et aux zones industrielles et certains quartiers populaires sur le littoral nord et sud. Pourtant, ces espaces sont relativement bien protégés par des infrastructures: canal de ceinture, plusieurs dalots d'évacuation des eaux pluviales. Leur vulnérabilité provient de la concentration des activités industrielles et de services, du mouvement pendulaire quotidien voire bi-quotidien de la population entre le centre-ville et sa périphérie, du congestionnement quasi permanent des voies de circulation, phénomène qui vire à leur blocage total suite aux moindres averses (Daoud 2013), comme ce fut le cas lors des épisodes pluviométriques de 2009, 2013 et 2015.

Conclusion

Au terme de cet article, nous pouvons confirmer l'hypothèse de départ qui stipulait que les infrastructures de protection de l'agglomération de Sfax ont résolu en grande partie sa vulnérabilité physique, liée à sa topographie basse faisant d'elle un lieu de convergence des écoulements d'un bassin à risque assez vaste, mais qu'elles sont désormais insuffisantes face aux nouvelles vulnérabilités liées à l'évolution de sa morphologie urbaine, aux dysfonctionnements du système de transport urbain et à la concentration des activités dans la zone centrale et sur les radiales. Beaucoup plus que dans de nouvelles infrastructures, la parade au risque d'inondation dans l'agglomération de Sfax doit désormais viser à atténuer sa vulnérabilité et chercher des solutions dans un aménagement futur de nouvelle génération, plus globalisé: par exemple par le renforcement de la polycentralité sur sa périphérie, ou l'adoption d'un plan concerté de gestion de situation de crise, applicable suite à chaque inondation de ces zones vulnérables, et comportant principalement un plan de circulation et d'information en temps réel des usagers de la ville orientant au moment opportun les flux vers des zones non submergées. Des solutions technologiques sont aujourd'hui envisageables, notamment via la téléphonie mobile (diffusion instantanée d'alertes et de recommandations à partir de centres d'information SIG), très largement utilisée aujourd'hui dans la population urbaine tunisienne.

Bibliographie

- BAKLOUTI, A. (2004): Les quartiers périurbains du Grand-Sfax: formation, fonctionnement et aménagement. Thèse de Doctorat, Université de Tunis I, Faculté des Sciences Humaines et sociales.
- BENNASR, A. (2004): L'étalement urbain de Sfax. *Revue tunisienne de géographie*, 36, 39 p.
- BENNASR, A. (2005): Aménagement urbain durable et gouvernance: Le cas de Sfax. Colloque SYFACTE/GREGUM »Les villes au défi du développement durable«, Sfax, 2005. <http://www.univlemans.fr/lettres/labo/gregum/activites/colloques/sfax/axe1/bennasr_ali.html>
- DAOUD, A. (1992): A propos des inondations exceptionnelles d'octobre 1982 à Sfax. *Revue Tunisienne de Géographie*, 21-22, 11-31.
- DAOUD, A., ZIMMERMANN, E., SAINT GÉRARD, T. (2007): Approche globale et intégrée des risques dans l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale) Actes du IX colloque de géographie maghrébine. Pub. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax.
- DAOUD, A. (2005): Périurbanisation et risque d'inondation. Cas de l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale). *Espaces Maghrébins, Revue de l'Union Géographique Marocaine*, 5-6, 97-112.
- DAOUD, A., DAHECH, S. (2009): Changements climatiques et gouvernance urbaine: cas de l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale). *Fifth Urban Research Symposium 2009, Marseille 27 juin-1er juillet*. 12 p. www.urs2009.net/docs/papers/Daoud.pdf.
- DAOUD, A., DAHECH, S. (2012): La résilience de l'agglomération de Sfax face aux changements climatiques: essai d'évaluation, *Climatologie*. 2012 Numéro spécial, *Climats et changement climatique dans les villes: du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation*. 109-126. www.climato.be/aic/publis/NS_Villes/article_Daoud.pdf.
- DAOUD, A. (2013): Retour d'expérience sur les inondations dans l'agglomération de Sfax de 1982 à 2009: de la prévention à la territorialisation du risque *Revue de Géographie de l'Est*. Vol. 53/1-2, 1-16. <http://rge.revues.org/4630>.
- LAGANIER, R. (ed.) (2006): Territoires, inondations et figures du risque. L'Harmattan. Itinéraires géographiques. Paris. 257 p.
- LÉONE, F., MESCHINET DE RICHEMOND, N., VINET, F. (2010): Aléas naturels et gestion des risques. Coll. Puf Licence. 287 p.
- NOVEMBER, V. (2002): Les territoires du risque, le risque comme objet géographique. Pub. Peter Lang. Berne. 332 p.
- SAINT-GÉRARD, T., PROPECK-ZIMMERMANN, E., BONNET, E. (2009): Nouvelles approches ergonomiques de la cartographie des risques industriels. *Mappemonde*. 96, 4.
- SAKISS, N., SASSI, N. (1982): Les inondations d'octobre 1982 à Sfax: Analyse statistique des données pluviométriques. Institut National de la Météorologie. Tunis. 19 p. (ronéo).
- THOURET, J.-C., D'ERCOLE, R. (1996): Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain. *Cah. Sci. Hum.*, 32, 407-422.