



HAL
open science

Répartition spatiale de la pollution sonore dans l'agglomération de Sfax de la mesure à la modélisation

Mohamed Ali Abdmouleh, Salem Dahech

► **To cite this version:**

Mohamed Ali Abdmouleh, Salem Dahech. Répartition spatiale de la pollution sonore dans l'agglomération de Sfax de la mesure à la modélisation. Journées Interdisciplinaires sur la Qualité de l'Air (JIQA), Feb 2014, Villeneuve d'Ascq, France. hal-02492721

HAL Id: hal-02492721

<https://hal.science/hal-02492721v1>

Submitted on 27 Feb 2020

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

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

Répartition spatiale de la pollution sonore dans l'agglomération de Sfax de la mesure à la modélisation

M Abdmouleh et S Dahech

abdmouleh.mohamedali@gmail.com, salem.dahech@gmail.com

Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax, Laboratoire SYFACTE .

Résumé

Partant de 300 points de mesure du niveau sonore, moyennant la méthode des mesures itinérantes au cours d'une période de trois mois, d'avril à juillet en 2013 dans un rayon de 3.5km du centre-ville de Sfax durant la période du pic de trafic routier matinal, le champ de la pollution acoustique a été représenté. Il montre une hausse considérable du bruit dans les grands croisements et près des principales artères drainant le centre-ville. Les valeurs dépassent souvent les normes préconisées par l'OMS. Les mesures obtenues ont permis, par modélisation statistique basée sur la méthode de régression multiple, la spatialisation du champ du niveau sonore. Le résultat du modèle, basé sur les caractéristiques du trafic routier et la proximité des diverses sources de bruit, après validation, s'est avéré satisfaisant malgré quelques aberrations dues à des facteurs ponctuels dans l'espace et dans le temps comme le passage des grands engins, des ambulances et des coups de klaxons.

Mots clés : Pollution sonore, Sfax, modélisation

Introduction

La pollution sonore regroupe généralement des nuisances sonores provoquées par différentes sources, principalement les divers types de transport [1]. Le bruit est la première source de plaintes et l'une des premières sources de conflits, au travail, entre voisins, entre collectivités et usagers [2] [3]. L'étude du bruit est intéressante en raison de ses impacts directs et indirects sur la santé humaine. En effet, un ensemble d'exposition successive à des niveaux sonores supérieurs à 85 dB (A) pour une période d'une demi-heure, peuvent également endommager notre audition. L'effet de l'intensité sonore est ainsi largement lié à la durée et à la répétitivité de

l'exposition [4]. Une exposition prolongée à un bruit de niveau supérieur à 90 décibels suite à l'écoute de la musique à des niveaux élevés, le bricolage et le bruit des avions pourrait provoquer la perte de l'audition [5]. Dans certains cas le bruit peut attaquer le système cardiovasculaire en augmentant la pression artérielle et la sécrétion d'hormones de stress. En outre, les effets du bruit sur le trouble du sommeil sont traités, quantifiés et confirmés par des expériences [6].

Dans les grandes villes, le bruit est partout, il varie beaucoup dans l'espace et dans le temps. Les personnes se plaignent du bruit, d'origine routière, ferroviaire et industrielle, qui dégrade la qualité de vie. Les travaux s'intéressant à la répartition spatio-temporelle du bruit en Tunisie sont rares, pourtant des niveaux sonores élevés sont relevés dans les grandes villes, c'est le cas à Sfax, au sud-est tunisien, considérée comme la deuxième ville du pays par son poids démographique (environ 600 000 habitants) et économique. Elle connaît un étalement urbain le long des radiales et une densification de son centre-ville prolongeant les durées de congestion routière d'où la détérioration de la qualité de l'air et l'aggravation de la pollution sonore, particulièrement dans la partie centrale (fig.1).

Ce travail porte sur la mesure du bruit, sa répartition spatio-temporelle dans l'agglomération de Sfax dans un rayon de 4 km du centre-ville d'une part, et sur la simulation du champ de la pollution acoustique en partant de 300 points de mesure, d'autre part.

La présente étude pourrait fournir des éléments d'aide à la décision permettant de localiser et éventuellement de protéger les zones exposées à des niveaux sonores relativement élevés.

1. Méthodes et données

Le niveau sonore est mesuré par deux capteurs de type EXTECH 407764 équipés d'un enregistreur par 2 équipes réalisant des mesures semi- itinérantes avec un arrêt de 5 minutes par points. L'intégralité de la zone d'étude a été balayée à travers 70 campagnes de mesure. Les points de mesure, au nombre de 300, se trouvent environ tous les 300m sont prédéfinis et localisés par GPS. Ils sont choisis en se référant à leur milieu environnant d'une façon à couvrir, d'une manière la plus homogène que possible, les différents modes d'occupation et d'utilisation de l'espace.

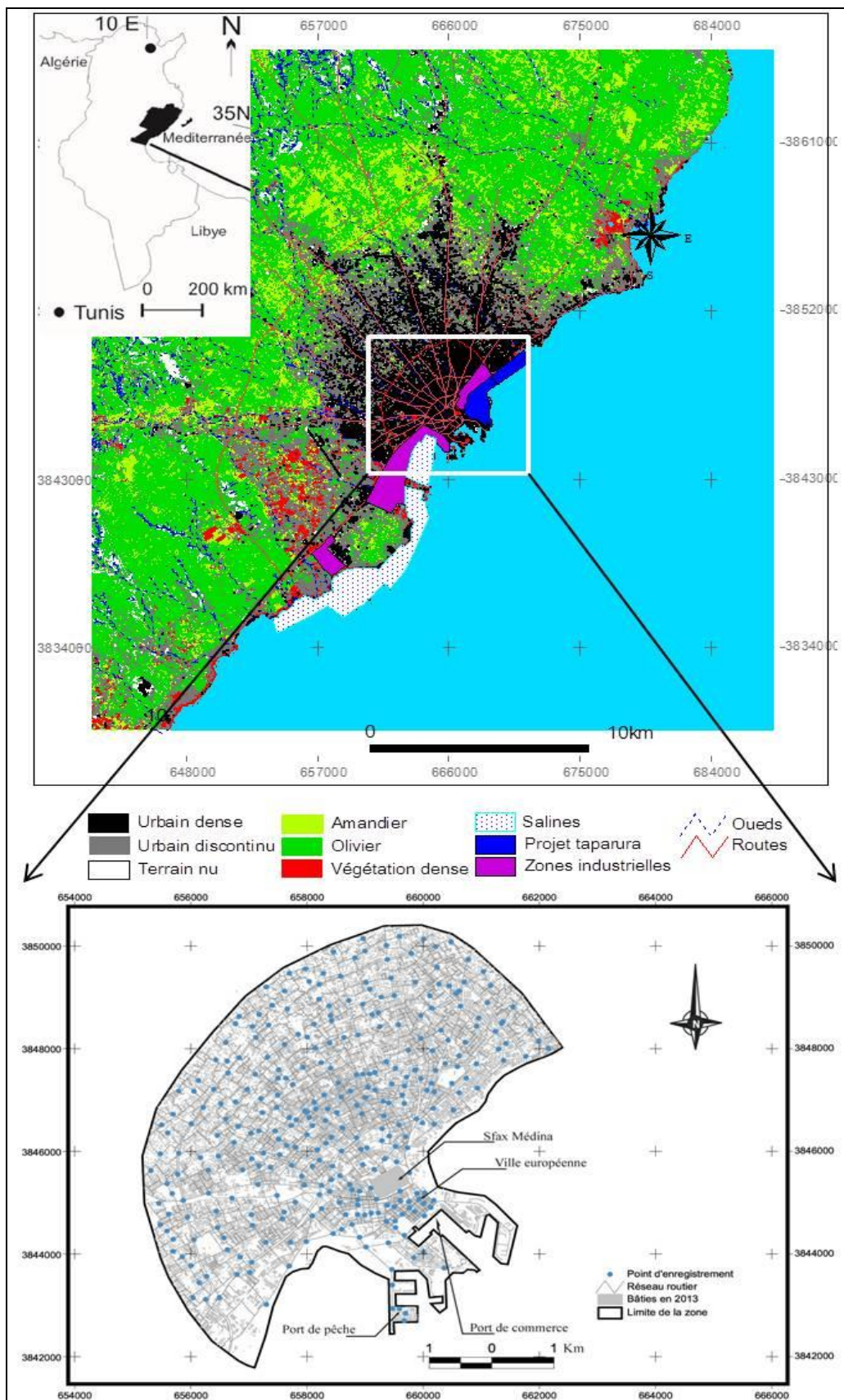


Figure 1. Cartographie synthétique de l'occupation du sol dans l'agglomération de Sfax (Source : image Landsat TM prise le 19 juillet 2010) et localisation des points de mesures.

Les mesures ont été réalisées, entre avril et juillet 2013 durant les jours ouvrables, lors du pic matinal du trafic routier (de 7h.30 à 9h.00). Durant cet intervalle le niveau sonore varie peu à l'échelle temporelle dans la partie centrale de l'agglomération d'après les mesures réalisées sans interruption dans des points situés au bord des axes routiers sur une période de huit mois en 2007 et 2011 [3]. Une cartographie ponctuelle du niveau sonore est réalisée (fig. 2).

Les mesures ont été réalisées par temps calme parce que les conditions atmosphériques instables pourraient influencer la propagation acoustique en milieu extérieur [7]. Or, le type de temps calme est très fréquent dans la zone d'étude, particulièrement durant la saison chaude [8].

Outre les mesures réalisées à l'échelle de l'intégralité de la zone d'étude (environ 30km²), des enregistrements à une échelle plus fine sont effectués dans le quartier du centre-ville et sont utilisés pour produire des cartes de bruit en façades. Ces dernières permettent de visualiser en 3 dimensions les niveaux de bruit sur chaque bâtiment.

Dans ce travail, la modélisation statistique, basée sur la méthode de la régression linéaire multiple, est utilisée pour simuler le champ acoustique et pour avoir des estimations du niveau sonore là où les mesures concrètes sont absentes. En France, « *C'est la méthode employée pour réaliser les cartes stratégiques de bruit rendues obligatoires par la Directive européenne 2002/49/CE* » [9]. A partir des mesures précitées nous avons simulé un champ plus détaillé et plus élaboré du niveau sonore. En fait, plus de 25 000 points sont générés en tenant compte des paramètres suivants : la proximité des principaux axes routiers et leur largeur, le nombre de véhicules et les activités économiques bruyantes (industrie, commerce, artisanat).

Les résultats obtenus ont été comparés aux mesures in-situ réalisées lors de la campagne expérimentale. Les résultats se sont avérés très satisfaisants puisque le modèle permet de prévoir environ les trois quart de la variance du bruit. Néanmoins la fidélité des sorties du modèle reste relative car les effets ponctuels tels que les klaxons ou le passage des ambulances et la défaillance des surfaces bitumées ne sont pas pris en compte.

Les cartes issues de la simulation sont réalisées à partir d'un Système d'Information Géographique (SIG) qui offre la possibilité de réaliser plusieurs analyses spatiales (requête thématique et spatiale, analyses de proximité et croisement de couches) et des interpolations.

2. Trafic routier et pollution sonore à Sfax : aperçu général

« L'étalement urbain connu par la ville et la concentration dans le centre-ville des activités économiques dites « supérieures » ainsi que les activités culturelles, ont conjointement augmenté le nombre des déplacements pendulaires et la distance parcourue par les habitants » [3]. Durant les deux dernières décennies la voiture a remplacé petit à petit les transports collectifs et les mobylettes. *« La part de la voiture privée dans les transports a évolué de 21% en 1986 à 42% en 2003 » [10].* En janvier 2012, le nombre de véhicule s'élève à 160 000 voitures dans l'agglomération de Sfax dont environ 3200 taxis. Les petites cylindrées dites "voitures populaires", roulant à l'essence, sont dominants dans l'agglomération.

« Le transport public est assuré principalement par les bus. En 2008, 23 lignes de bus desservent 680 arrêts dans le Grand Sfax, d'après les statistiques de la Société Régionale du Transport de Sfax (SORETRAS). Toutes les lignes convergent vers 3 gares situées aux alentours de la Médina : « Bab Ejebli », « Bab El Khasba » et « El Karia ». Le parc de véhicules de la SORETRAS compte 234 bus pour la circulation intra-urbaine et une flotte totale de 388 bus si on ajoute les lignes régionales et nationales » [3].

La répartition spatiale du niveau sonore est fortement influencée par le trafic routier. C'est près des grands croisements et dans les parties les plus denses de la ville où sont enregistrés les niveaux sonores les plus élevés (fig.2).

L'analyse de la circulation routière, basée sur le comptage des véhicules dans une dizaine de ronds-points et carrefours de la ville en 2007, d'après le Recensement général de la circulation en 2007 fourni par la Direction Générale des Ponts et Chaussées et Direction de l'Exploitation et de l'Entretien Routier, montre que les grands ronds-points du centre-ville sont les plus embouteillés. Nous avons recensé, durant la période de pointe matinale des jours ouvrables entre 7h30 et 8h30 environ 5700 véhicules/heure au niveau des croisements routiers jouxtant la Médina en mai 2013. C'est dans ces croisements où le niveau sonore moyen dépasse 85 dB(A).

La relation trafic routier/pollution sonore s'explique aussi par l'influence du régime de circulation routière dépendant du régime de travail. En effet, un cycle quotidien particulier du bruit est relevé durant les jours non ouvrables, les samedis (demis-ouvrables), durant les vacances scolaires et au cours du mois de Ramadan [3].

Outre le trafic routier, il est indéniable que la pollution sonore est impactée par d'autres activités bruyantes telles que l'activité industrielle, certains services et les chantiers de construction.

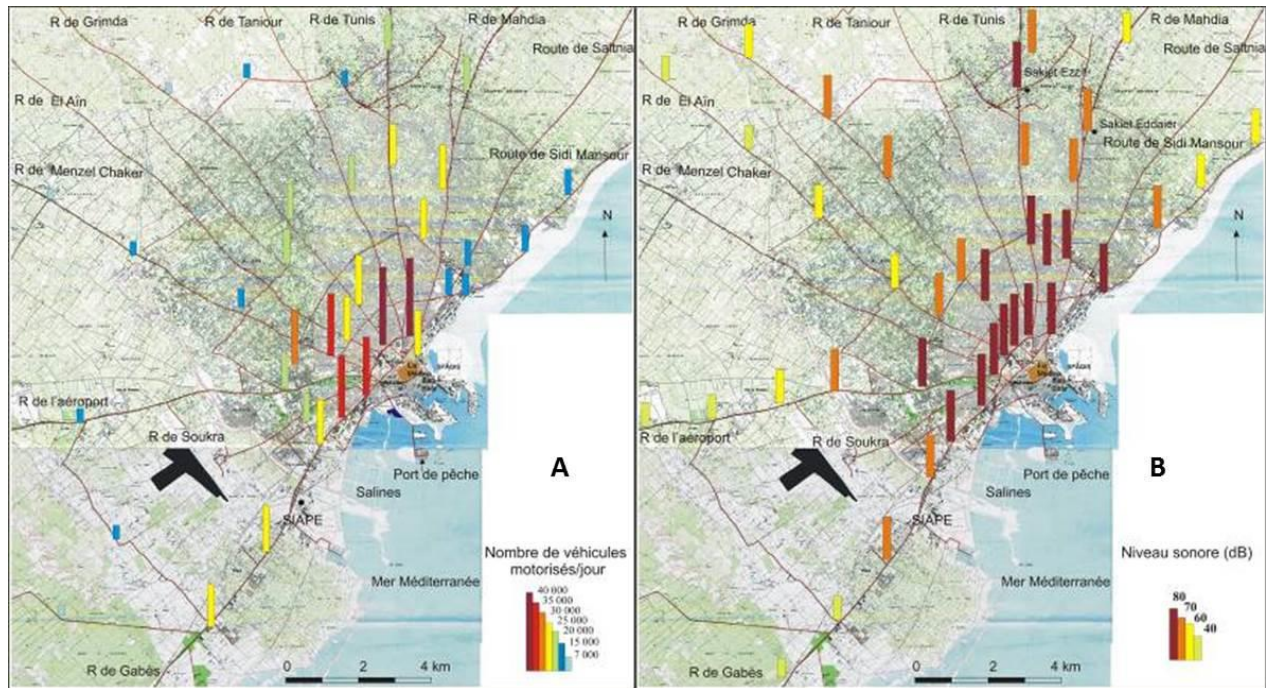


Figure 2: Répartition spatiale du nombre de véhicules par jour (A) et du niveau sonore dans l'agglomération de Sfax (B) en 2007 (source de A: Recensement général de la circulation en 2007; Direction Générale des Ponts et Chaussées et Direction de l'Exploitation et de l'Entretien Routier ; les mesures itinérantes du niveau sonore ont été réalisées du 22 au 27 octobre 2007 et le 29 du même mois). (Source, Dahech et Rekik, 2011).

3. Répartition spatiale du bruit durant le pic matinal

Le pic de pollution sonore matinal est le plus important en se référant au profil journalier du niveau sonore à Sfax [3]. Il est enregistré entre 7h et 9h, en période de départ vers les locaux de travail et vers les services divers. Nos mesures sont réalisées entre 7h.30 et 9h.00 instantanément par deux équipes avec une cadence de 5 secondes et durant 5 minutes par point. La totalité de l'espace a été balayée avec un espacement d'environ 300m entre chaque point de mesure. Le même travail a été refait trois fois afin de valider et confirmer les résultats obtenus.

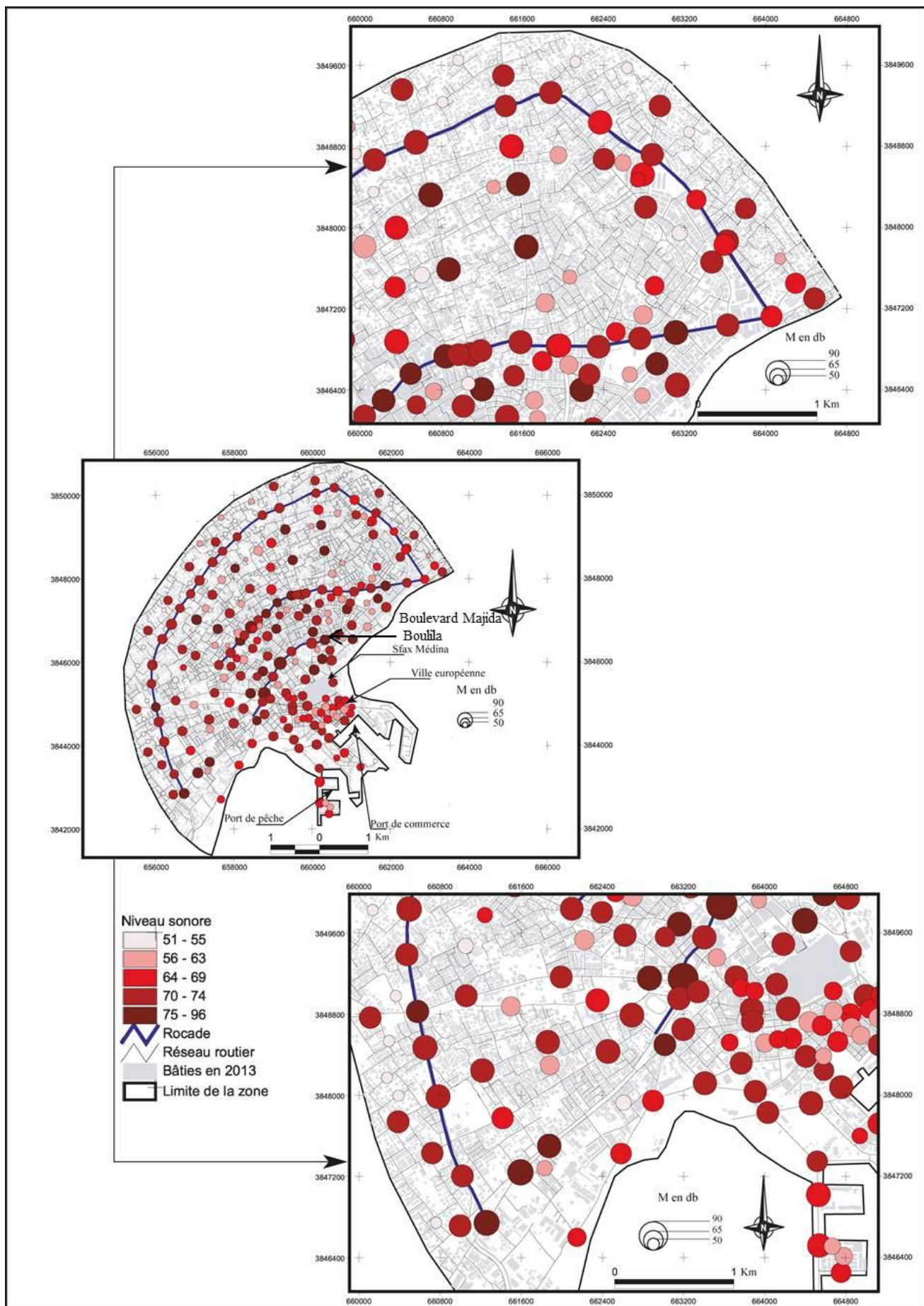


Figure 3. Cartographie ponctuelle du niveau sonore dans la zone d'étude durant le pic matinal du trafic routier. (Moyenne de 5 minutes par point, validée trois fois,

mesures réalisées entre avril et juillet 2013, pas de temps 5 secondes, capteur Extech).

Les cartes ponctuelles permettent rapidement d'identifier les axes à fort enjeu en termes de niveaux sonores. C'est le cas bien entendu du boulevard Majida Boulila ceinturant le centre-ville où nous relevons des valeurs avoisinant 80dBA avec des valeurs instantanées maximales près des grands ronds-points lors des coups répétés de klaxons qui génèrent des niveaux pouvant atteindre voire dépasser les 90 dB(A) (fig. 3).

Des valeurs relativement élevées sont enregistrés au bord des radiales les plus animées telle que la route de Tunis, Gabès et Gremda (voire localisation sur la figure 2). Cependant, le niveau sonore baisse considérablement au-delà de deux kilomètres de la Médina particulièrement dans l'espace inter-radiales. Cette baisse s'explique essentiellement par la diminution du nombre de véhicules recensés. En effet, on passe de 550 véhicules par 5 minutes à moins de 150 dans l'espace inter-radial (fig. 5). En effet, à vitesse constante, un doublement du débit routier engendre théoriquement une augmentation du niveau sonore de 3 dB(A) [9].

4. Simulation du champ acoustique

4.1. La modélisation statistique

Pour prédire le niveau sonore durant le pic du trafic routier matinal, nous avons recouru à la modélisation numérique statistique. A partir d'un tableau formé de 300 lignes correspondant aux points de mesure et quatre colonnes représentant quatre variables influençant le niveau sonore : le nombre de véhicules, le nombre de voies des routes à proximité, la distance aux croisements routiers et aux activités industrielles. Le coefficient d'ajustement du modèle, le R^2 (coefficient de détermination) avoisine 0.72 ; ce qui signifie que les trois quarts de la variabilité du bruit sont expliqués par les 4 variables ci-dessous. Le reste de la variabilité est dû à d'autres variables explicatives qui ne sont pas prises en compte dans ce modèle. D'après le test de Fisher, on peut considérer que les 4 variables explicatives sélectionnées apportent une quantité d'information significative au modèle. L'équation du modèle est la suivante :

Bruit simulée (dBA) = 60,2+ 2,8 -2*Nomb_ véhicule + 0,4*Nombre de voie -1,6 - 3*distance au croisement - 1,1- 02*distance_acivité_industrielle.

Sur les 300 points, 280 valeurs prédites suivant le modèle sont situés dans l'intervalle $[+5 ; -5]$ dBA. La très forte corrélation positive entre les mesures et les données simulées se traduit par un coefficient de corrélation $r=0.85$ (fig. 4). Toutefois, la présence de certaines valeurs très éloignées de l'intervalle de confiance 5%, même si elles n'excèdent pas 3%, ce qui ne semble pas aberrant, nécessite une analyse plus poussée des résidus et l'identification d'autres facteurs explicatives. D'après les travaux de terrain, ces derniers sont liés à des évènements ponctuels comme les coups de frein brusques, les klaxons et le passage des gros engins.

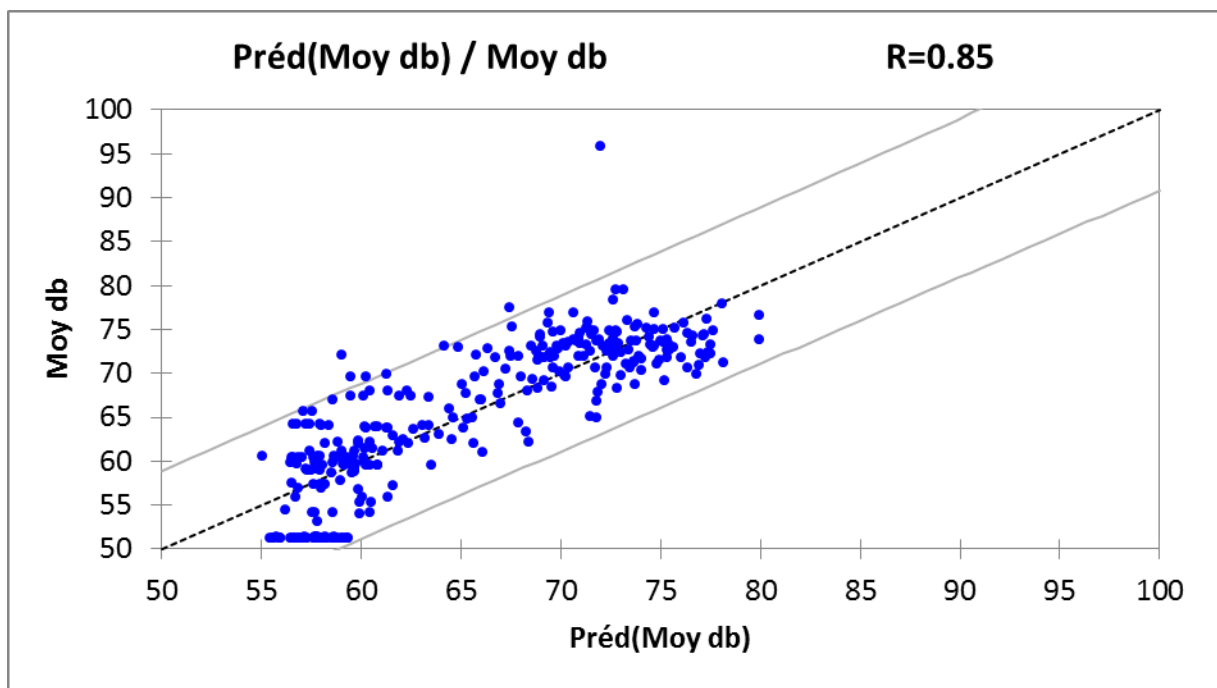


Figure 4 : Relation entre les données mesurées et les données simulées (300 point de mesures).

4.2. La carte du niveau sonore obtenue par modélisation statistique

Nous remarquons une bonne correspondance globale de la cartographie par interpolation des valeurs simulées avec les mesures ponctuelles avec une tendance à la sous-estimation des valeurs par la modélisation. C'est près des grands croisements et le long des radiales que sont relevées les plus fortes valeurs. Elles dépassent 70 dB(A). Elles baissent considérablement dans l'espace inter-radiales (en dessous de 60 dB (A)) à cause de la fluidité du trafic malgré l'augmentation de la vitesse des véhicules. En effet, à débit constant, une division de vitesse par 2 apporte une réduction du bruit de 6 dB(A) [9].

Parmi les défaillances de la cartographie par interpolation, la surestimation du niveau sonore au niveau des zones littorales, puisque situées sur les bords de la carte.

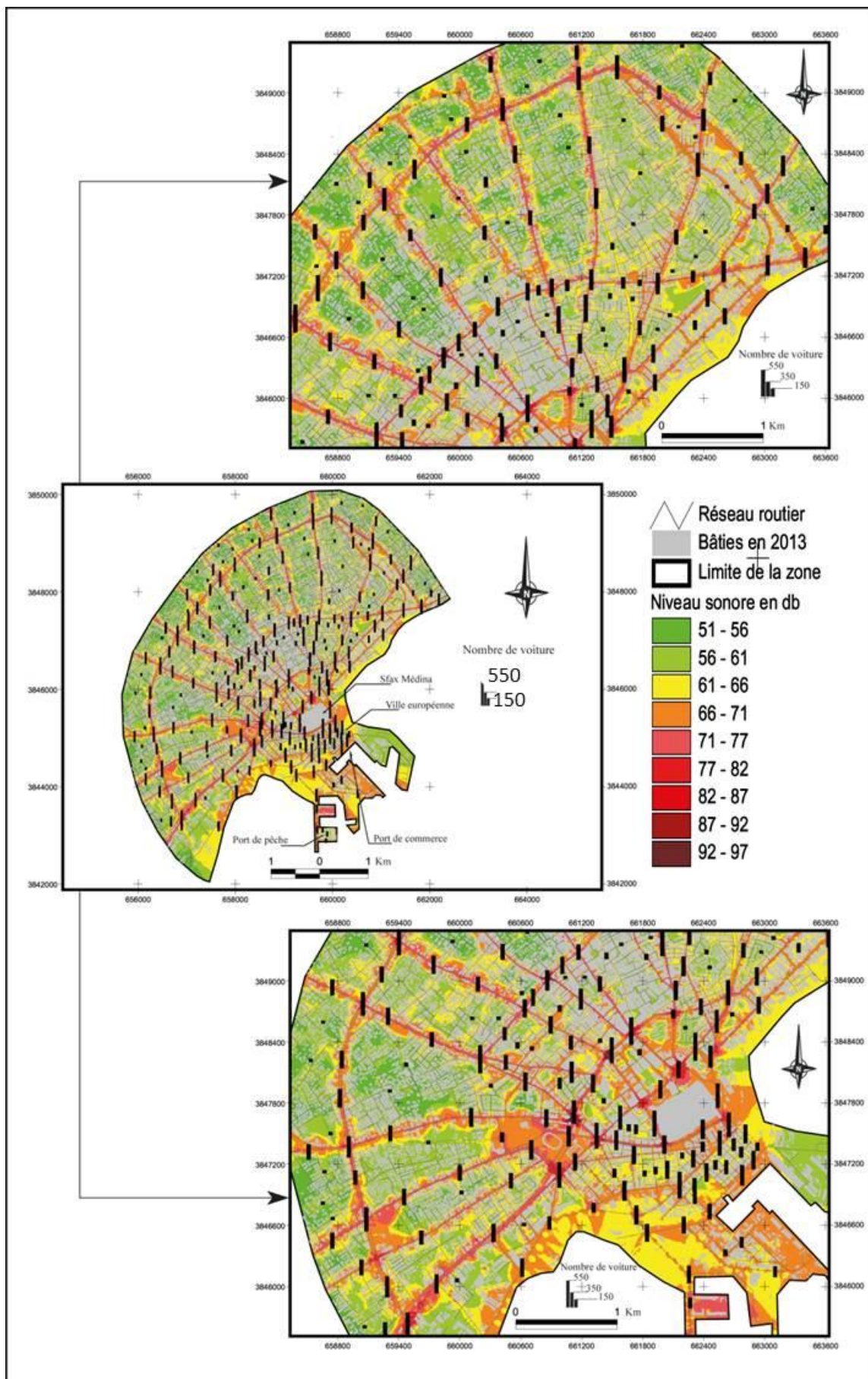


Figure 5. Nombre de véhicules et modélisation du niveau sonore dans un rayon de 4km du centre-ville de Sfax au cours du pic matinal du trafic routier (modélisation statistique décrite ci-dessus).

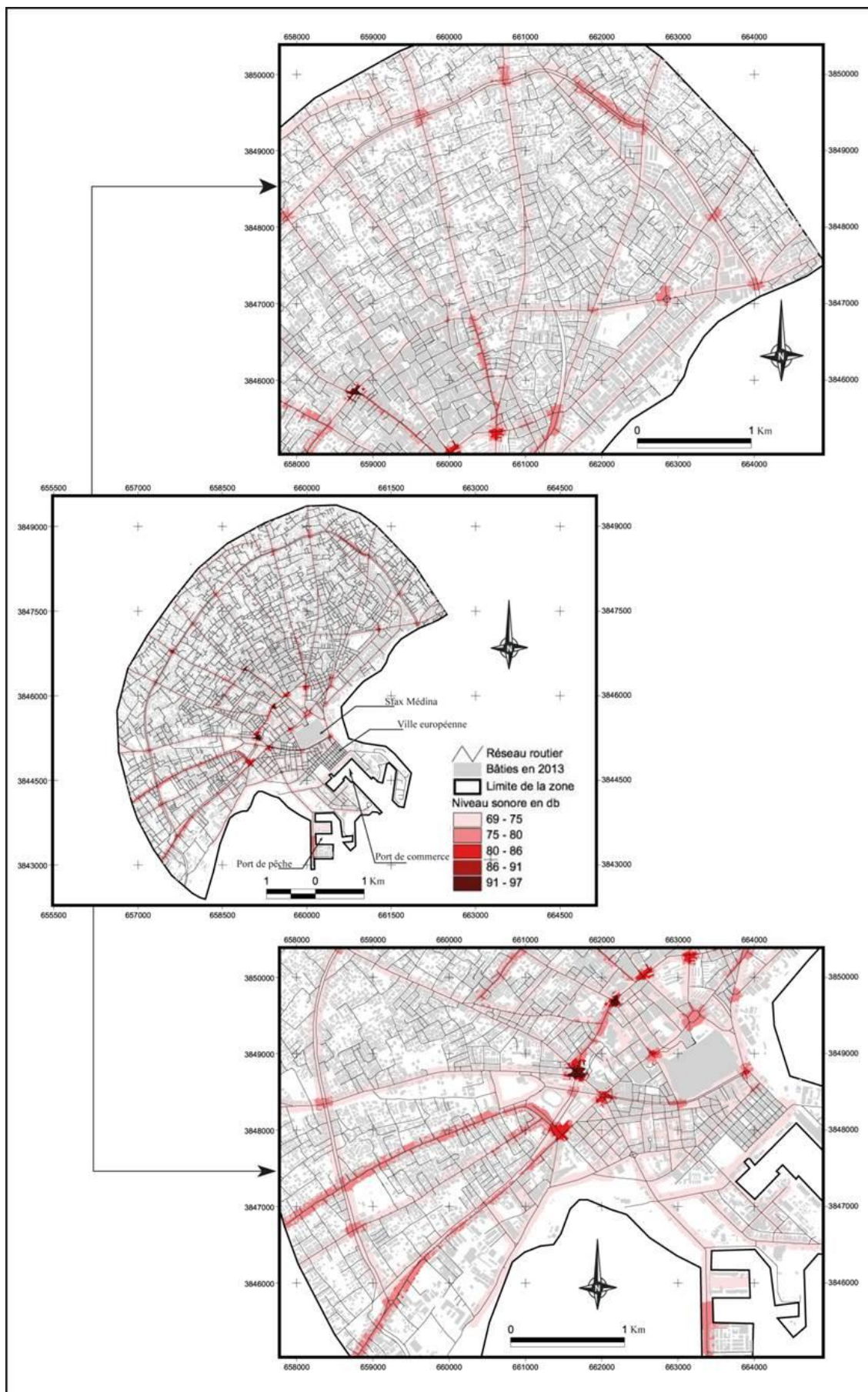


Figure 6. Les niveaux sonores dépassant le seuil de 68 dB(A) dans un rayon de 4 km du centre-ville de Sfax au cours du pic matinal du trafic routier (modélisation statistique décrite ci-dessus).

La carte des niveaux sonores dépassant le seuil de 68 dB(A) dans un rayon de 4 km du centre-ville de Sfax au cours du pic matinal du trafic routier (fig.5) laisse voir aisément les grands ronds-points du centre-ville. Dans ces derniers les klaxons, les sifflets des agents de circulation routière ainsi que les démarrages et les freins, parfois brusques, hissent le niveau sonore d'une manière remarquable. En outre, la concentration de certaines activités industrielles et certains services bruyants tels que les garages de tôliers et les ateliers de menuiserie ..., le cas par exemple sur la route de Gabès et entre la route de Mahdia et Tunis au niveau de la rocade (localisation sur la fig.2) engendre une hausse importante du niveau sonore (fig.6).

5. Simulation du champ acoustique au niveau des façades

Nous avons adopté deux méthodes pour représenter la répartition spatiale du bruit au niveau des façades des bâtiments, la première en deux dimensions (fig.7) et la deuxième en 3 D (fig.8).

Après avoir digitalisé le bâti minutieusement en se basant à une image IKONOS récente, datée d'août 2013, nous avons réalisé une campagne de repérage des hauteurs des bâtiments. Les données recueillies, géolocalisées, sont intégrées dans un Système d'Information Géographique offrant la possibilité de créer des cartes en 2 et 3 dimensions. Les cartes ci-dessous sont le fruit de mesures concrètes réalisées à proximité des parois (mesures utilisées dans la partie 3 de ce travail complétées par des campagnes spécifiques). Les mesures concernent le centre-ville de Sfax à l'exception de la Médina ; deux quartiers sont retenus : la ville européenne et Sfax El Jadida. A partir des échantillons de points choisis d'une manière à représenter le plus fidèle que possible les façades adjacentes, nous avons régénéré et pondéré les résultats obtenus afin de couvrir l'intégralité de l'espace prédéfini.

Les résultats (fig.7 et 8) montrent clairement une hausse du niveau sonore le long des grandes artères tels que les avenues Farhat Hached, 14 janvier, Carthage et Majida Boulila où le niveau sonore dépasse 75 dB (A). Néanmoins dans le quartier européen où la plupart des rues sont étroites avec une circulation dans un sens unique, le niveau sonore baisse en-dessous de 70 dB (A). De même, les façades s'ouvrant sur des patios ou sur des ruelles sont exposées à des niveaux sonores relativement bas.

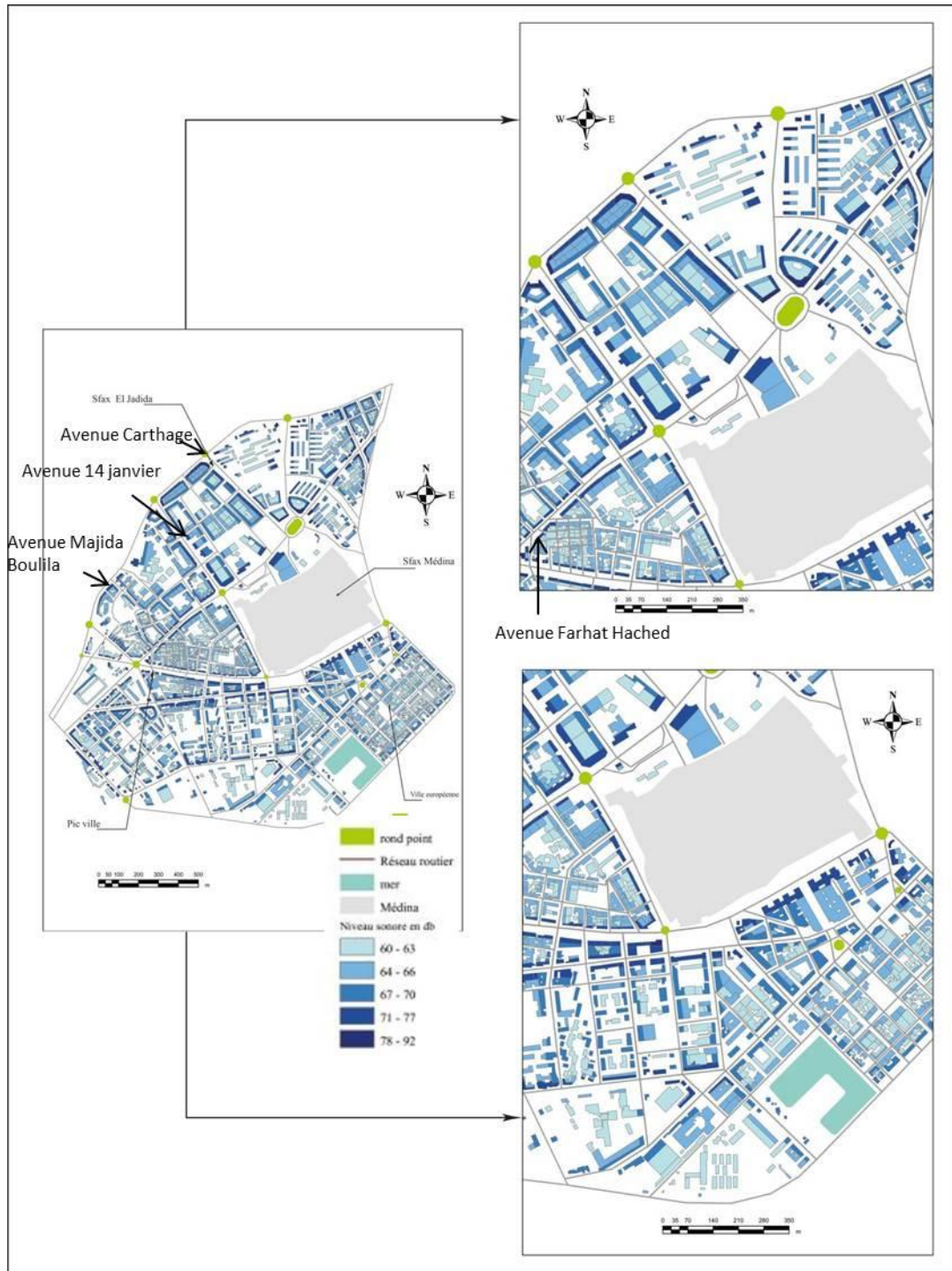


Figure 7. Représentation en deux dimensions de la répartition spatiale du bruit au niveau des façades des bâtiments dans le centre-ville de Sfax (modélisation à partir des mesures réalisées avril et juillet 2013, capteur Exttech).

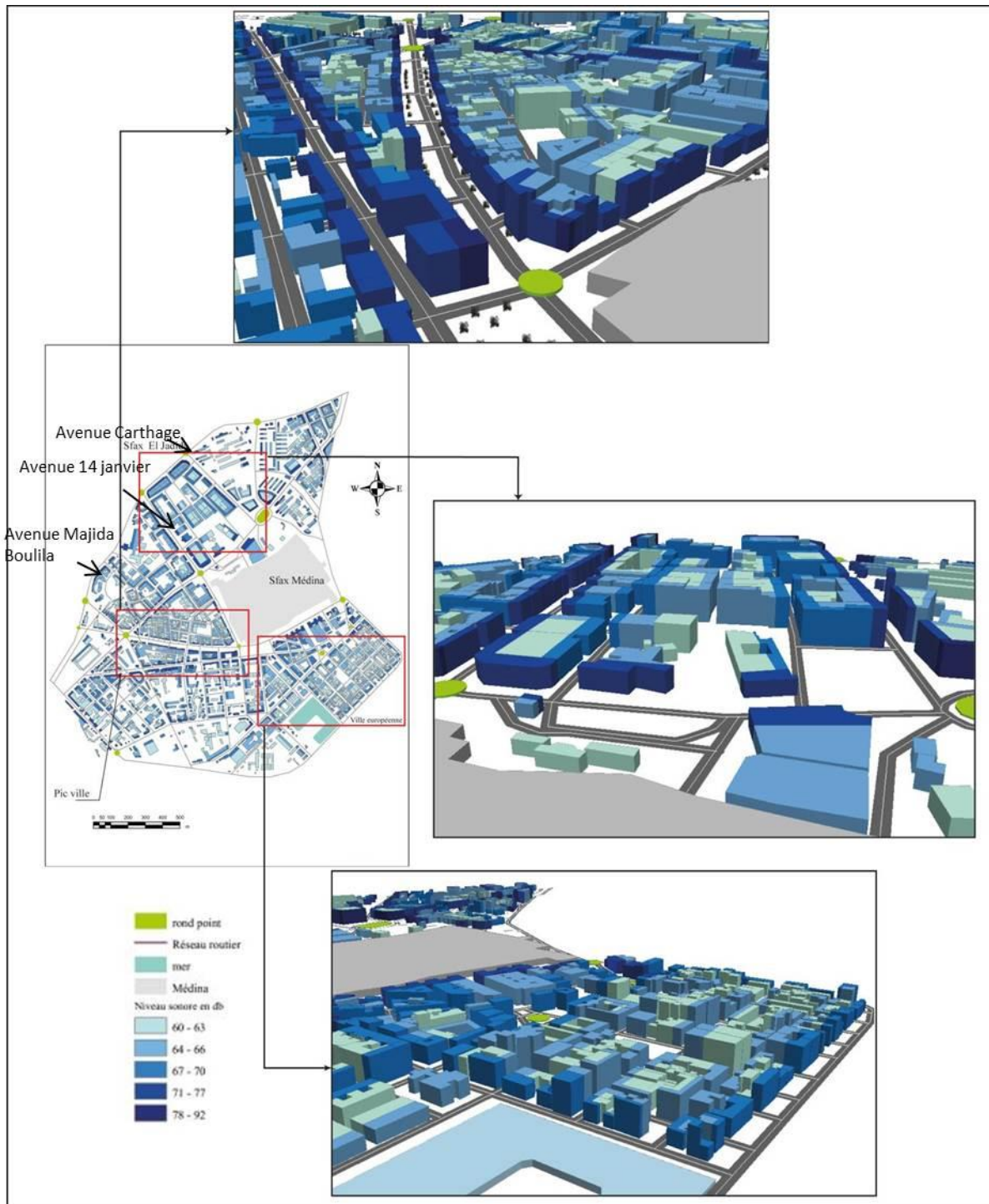


Figure 7. Représentation en trois dimensions de la répartition spatiale du bruit au niveau des façades des bâtiments dans le centre-ville de Sfax (modélisation à partir des mesures réalisées entre avril et juillet 2013, capteur Exttech).

Conclusion

Les campagnes de mesure ont permis d'appréhender finement les relations qui existent entre le bruit et les conditions de trafic et de mettre en évidence l'importance de l'influence de certaines activités bruyantes. Des niveaux sonores dépassant parfois les normes préconisées par l'OMS sont enregistrés dans le centre-ville de Sfax à proximité des grands croisements. Les embouteillages sont dus à la défaillance de l'infrastructure et du transport en commun ainsi que la concentration des activités économiques et administratives dans le centre-ville. Les klaxons répétés et prolongés sont parmi les causes majeures de la hausse du niveau sonore.

Le modèle élaboré s'est avéré performant au niveau de l'estimation du niveau sonore diurne lors du pic matinal du trafic routier.

La modélisation, malgré ses limites, permet de prévoir le niveau sonore au futur suivant les scénarios de l'évolution du trafic routier, de la morphologie urbaine et fournir ainsi un outil d'aide à la décision.

Ce travail sera complété par l'intégration de l'effet du trafic ferroviaire et par des mesures (déjà réalisées) en phase nocturne. De plus, les résultats obtenus sont croisés par le biais du SIG à des données démographiques et socio-économiques afin de montrer la vulnérabilité de la population exposée à des niveaux sonore dépassant les seuils admis.

Bibliographie

- [1] Edwards C.G, Schwartzbaum J.A, Lönn S, Ahlbom A et Feychting M., 2006: Exposure to loud noise and risk of acoustic neuroma. *American Journal of Epidemiology*, 163 (4): 327-333.
- [2] *Guide du ministère de la santé et du Centre d'information et de documentation sur le bruit* (CIDB),2009. 20 p.
- [3] Dahech S et Rekik F., 2012: Trafic routier et pollution sonore à Sfax (Tunisie méridionale) : étude pluridisciplinaire. *Pollution atmosphérique* N° 125, 259-274.
- [4] Gualazzi J.P., 1998 : *Le bruit dans la ville*, Ed. des journaux officiels, 287p.
- [5] Camard et al., 2005 : *Le bruit et ses effets sur la santé, estimation de l'exposition des Franciliens*. Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, synthèse, avril 2005. AFSSET: « Impact sanitaire du bruit. Etat des lieux. Indicateurs bruit-santé ». 304 p.

- [6] MUZET A. *Le bruit*. Flammarion, 122p, 1999.
- [7] Aumond P., 2011: *Modélisation numérique pour l'acoustique environnementale : simulation de champs météorologiques et intégration dans un modèle de propagation*. Thèse de doctorat à l'Université du Maine. 132p.
- [8] Dahech S., 2007 : *Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique*. Thèse de doctorat de l'Université Paris VII, 309 p + annexes.
- [9] BRUITPARIF., 2012 : *Le bruit généré par le boulevard périphérique : état des connaissances et enjeux*. Rapport d'étude, 17p. (<http://www.bruitparif.fr>).
- [10] BENNASR A. L'étalement urbain de Sfax. *Revue tunisienne de géographie*, 36, 39p, 2005.