



Université d'Abomey-Calavi

\*\*\*\*\*

Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur (ED-SDI)

\*\*\*\*\*

Master de Recherche en Efficacité Energétique et Energies Renouvelables

\*\*\*\*\*

**Rapport de Stage**

**Thème**

---

**REALISATION DE LA CARTE DE BRUIT ET ETUDE DU NIVEAU  
D'EXPOSITION AU BRUIT ROUTIER  
DE LA POPULATION DE LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI.**

---

**Présenté par :**

**HESSOU Didier.**

**Encadré par :**

**DJOSSOU Ayihaou Armand**  
*Maitre Assistant / INSTI-  
Lokossa (ex IUT)/UNSTIM*

**Sous la direction de :**

**HOUNGAN C. Aristide**  
*Professeur Titulaire / ENSET-  
Lokossa/UNSTIM*

Dédicaces

Au Créateur, Dieu le Père Tout Puissant, pour sa protection et son assistance au quotidien.

A mon feu père HESSOU Amoussou Innocent et à ma mère BOCODJUGBE Gninlidé Julienne qui ont tout mis en œuvre pour ma réussite.

A mon épouse Clotilde GODJO et à mes enfants Espérance, Aximiel et Dirakiel HESSOU, pour leur infinie patience et surtout, pour le bonheur qu'ils apportent à ma vie.

## Remerciements

La réalisation de ce mémoire ne serait une réalité sans la contribution de certaines personnes à qui j'exprime toute ma reconnaissance.

Je tiens ainsi à remercier le Directeur de l'Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur (ED-SDI), le professeur Antoine VIANOU, pour le soutien accordé à cette formation.

J'adresse tous mes remerciements à mon Directeur de mémoire, le Professeur Aristide C. HOUNGAN, pour son attention particulière à la réalisation de ce travail.

J'exprime également mes plus vives reconnaissances à mon encadreur, le Docteur Armand A. DJOSSOU, pour avoir assuré l'encadrement de ce mémoire durant toute sa période de réalisation malgré ses multiples occupations.

Je remercie le Coordonnateur de notre filière, le Professeur Clément AHOUANNOU, pour nous avoir soutenu au moment où nous étions en difficulté dans la réalisation de ce mémoire.

J'adresse toute ma gratitude à tous les responsables et enseignants de la formation doctorale Sciences Pour l'Ingénieur (SPI/EPAC) pour leurs précieux enseignements et conseils.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes frères et sœurs pour leurs soutiens moraux et matériels dans ma réussite de tous les jours.

J'adresse aussi mes remerciements au Docteur Sylvain M. DJIKOU pour ses conseils.

Je voudrais exprimer ici toute ma reconnaissance à tous mes collègues chercheurs qui, sous une forme ou une autre, m'ont aidé tout au long de ce travail.

J'adresse enfin mes remerciements à tous ceux qui de près ou de loin, moralement ou matériellement, ont contribué à mon évolution jusqu'à ce stade.

Table des matières

Dédicaces.....	i
Remerciements .....	ii
Table des matières .....	iii
Résumé.....	v
Sigles et acronymes.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des photos.....	x
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Notions d’acoustique et de cartographie .....	2
Introduction.....	2
1.1. Quelques généralités sur le bruit .....	2
1.1.1. Son.....	2
1.1.2. Bruit.....	2
1.1.3. Niveau sonore.....	2
1.1.4. Décibel pondéré A et arithmétique des bruits.....	3
1.1.5. Principales caractéristiques des nuisances sonores de l'environnement.....	5
1.1.6. Isolement acoustique .....	6
1.1.7. Source sonore et intensité sonore .....	7
1.1.8. Propagation du son .....	7
1.1.9. Célérité du son.....	8
1.2. Effets du bruit sur la santé .....	9
1.3. Cartographie.....	12
1.3.1 Echelle .....	12
1.3.2 Longitude, latitude et altitude.....	12
Conclusion .....	12
Chapitre 2 : Revue de littérature.....	13
Introduction.....	13
2.1 Logiciels de prévision, de calcul et de cartographie du bruit.....	13
2.1.1 Logiciel IMMI .....	13
2.1.2 Logiciel de prédiction du bruit ambiant CadnaA.....	14
2.1.3 Logiciel communautaire de prédiction du bruit SPM9613 .....	15
2.1.4 Logiciel CUSTIC .....	15
2.1.5 Suite logicielle Predictor-LimA Type 7810.....	15

---

---

2.1.6	Logiciel Acoustic Determinator Type 7816.....	16
2.1.7	Logiciel MITHRA-SIG .....	16
2.1.8	Logiciel SoundPLAN .....	17
2.1.9	Logiciel ArcGIS .....	18
2.2	Travaux de réalisation des cartes de bruit .....	19
	Conclusion .....	25
	Chapitre 3 : Méthodologie .....	26
	Introduction.....	26
3.1	Contenu des cartes de bruit .....	26
3.1.1	Indicateurs acoustiques utilisés .....	26
3.1.2	Cartes à produire .....	26
3.2	Présentation du domaine d'étude .....	28
3.3	Méthodologie employée .....	29
3.3.1	Campagne de mesures .....	29
3.3.2	Outils utilisés pour la conception des cartes.....	32
3.4	Méthode d'évaluation des incertitudes .....	35
3.4.1	Incertitude de type A.....	35
3.4.2	Incertitude-type composée .....	36
	Conclusion .....	36
	Chapitre 4 : Résultats, analyse et difficultés rencontrées.....	38
	Introduction.....	38
4.1	Résultats.....	38
4.1.1	Coordonnées géographiques .....	38
4.1.2	Intensités sonores .....	39
4.1.3	Estimations des expositions au bruit.....	42
4.1.4	Cartes obtenues .....	44
4.2	Analyse des cartes .....	49
4.3	Difficultés rencontrées .....	50
	Conclusion .....	50
	Conclusion générale et perspectives.....	52
	Références bibliographiques .....	54
	Annexes .....	57

## Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'élaborer la carte de bruit de la commune d'Abomey-Calavi afin d'évaluer le niveau d'exposition de sa population au bruit routier. Pour y parvenir, des mesures des coordonnées géographiques des sites ciblés et des intensités sonores émises en ces lieux, ont été effectuées à l'aide respectivement de l'application « mobile topographer » installée sur un portable android et du sonomètre. A cet effet, quarante (40) points de mesures dont douze (12) centres de santé, dix (10) établissements d'enseignement et dix-huit (18) carrefours ont été ciblés. Grâce au logiciel ArcGIS 10.1 et à la méthode d'interpolation IDW, les cartes de bruit, basées sur les indicateurs acoustiques Ln et Lden, ont été élaborées. Les résultats de cette étude montrent que les niveaux sonores considérés varient selon le lieu et la période de la journée, à l'exception de la partie Nord du domaine d'étude qui demeure la zone la plus calme quelles que soient les considérations faites. Seulement cinq (05) des sites considérés sont dans une situation acceptable. Le CEG Godomey, quant à lui, est dans une situation critique. Ces résultats sont utiles en tant que référence et ligne directrice pour la planification future et des réglementations sur la limitation du bruit à mettre en œuvre pour les zones urbaines comme la commune d'Abomey-Calavi.

**Mots clés :** Carte de bruit; Intensité sonore; IDW; Indicateurs acoustiques; Zone calme.

## Abstract

The main objective of this study is to elaborate the noise map of the Abomey-Calavi commune in order to evaluate the level of exposure of its population to road noise. To achieve this, measurements of the geographical coordinates of the target sites and the sound intensities emitted in these locations have been carried out using the mobile topographer application installed on an android cell phone and the sound level meter. For this purpose, forty (40) measurement points including twelve (12) health centers, ten (10) educational institutions and eighteen (18) crossroads have been selected. Thanks to the ArcGIS 10.1 software and the IDW interpolation method, noise maps based on the acoustic indicators Ln and Lden have been developed. The findings of this study show that the noise levels at stake vary according to the location and the time of the day, with the exception to the northern part of the study area, which remains the quietest area regardless of the considerations made. Only five (05) of the considered sites are under an acceptable situation while the secondary school of Godomey is under a clearly unacceptable situation. These findings are useful as a reference and guideline for future planning and noise control regulations to be implemented for urban areas for instance the commune of the Abomey-Calavi commune.

**Key words :** Noise map; Sound intensity; IDW; Acoustic indicators; Quiet zone.

Sigles et acronymes

OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
PPBE	:	Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement
ISO	:	Organisation Mondiale de Normalisation
ACI	:	Association Cartographique Internationale
SSPL	:	Sound Source Pressure Level
Ld	:	Level day
Le	:	Level evening
Ln	:	Level night
Lden	:	Level day-evening-night
GPS	:	Geographical Positioning System
IDW	:	Inverse Distance Weighted
A71	:	Autoroute 71
CEREMA	:	Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
INSEE	:	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
COFIROUTE	:	Compagnie Française et Industrielle des Autoroutes
ESRI	:	Environmental Systems Research Institute

Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Arithmétique du bruit et impression sonore [ $W_1$ ].	5
<b>Tableau 1.2</b> : Vitesses du son dans différents matériaux [11].	9
<b>Tableau 2.1</b> : Surfaces exposées au bruit de l'A71 [ $W_{15}$ ].	23
<b>Tableau 3.1</b> : Largeur des secteurs affectés par le bruit en fonction de la catégorie [ $W_{15}$ ].	28
<b>Tableau 4.1</b> : Coordonnées géographiques des sites de mesures.	38

Liste des figures	
<b>Figure 1.1</b> : Illustration des niveaux sonores [7].	3
<b>Figure 1.2</b> : Perception du son [9].	4
<b>Figure 1.3</b> : Illustration d'une isolation acoustique.	7
<b>Figure 1.4</b> : Schéma récapitulatif du comportement de l'onde acoustique incidente vis-à-vis d'un obstacle $[W_2]$ .	8
<b>Figure 2.1</b> : Calcul du bruit en 3D [13].	14
<b>Figure 2.2</b> : Propagation du bruit sur un tronçon de rue d'une ville de Chittenden VT, vue 3D, CadnaA [13].	15
<b>Figure 2.3</b> : Carte de bruit générée par MITHRA-SIG [13].	17
<b>Figure 2.4</b> : Projections concernant l'optimisation des barrières antibruit générées par le logiciel SoundPLAN [13].	18
<b>Figure 2.5</b> : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d'Ota pour la période du matin [18].	19
<b>Figure 2.6</b> : Carte de bruit du campus principal de l'université nationale de Pusan [21].	20
<b>Figure 2.7</b> : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d'Ota pour la période de l'après-midi [18].	24
<b>Figure 2.8</b> : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d'Ota en période de soirée [18].	25
<b>Figure 2.9</b> : Carte de bruit du réseau routier A71 du département du Cher $[W_{15}]$ .	23
<b>Figure 3.1</b> : Echelle de couleurs utilisées pour les cartes A $[W_{15}]$ .	27
<b>Figure 3.2</b> : Echelle de couleurs utilisées pour les cartes C $[W_{15}]$ .	27
<b>Figure 3.3</b> : Situation géographique de la commune d'Abomey-Calavi.	29
<b>Figure 3.4</b> : Situation géographique des sites de mesures.	32
<b>Figure 3.5</b> : Interface du logiciel ArcGIS 10.1.	35
<b>Figure 4.1</b> : Valeurs de l'indicateur $L_n$ aux différents sites de mesures.	40
<b>Figure 4.2</b> : Valeurs de l'indicateur $L_{den}$ aux différents sites de mesures.	41
<b>Figure 4.3</b> : Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour la valeur moyenne de l'indicateur $L_n$ .	42
<b>Figure 4.4</b> : Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour la valeur moyenne de l'indicateur $L_{den}$ .	42
<b>Figure 4.5</b> : Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour les dépassements de la valeur limite de l'indicateur $L_n$ .	43
<b>Figure 4.6</b> : Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour les dépassements de la valeur limite de l'indicateur $L_{den}$ .	44

**Figure 4.7** : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période de **nuite**. ..... 45

**Figure 4.8** : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période d'une **journee entiere**. ..... 46

**Figure 4.9** : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit limites dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période de **nuite**. ..... 47

**Figure 4.10** : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit limites dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période d'une **journee entiere**. ..... 48

Liste des photos

<b>Photo 3.1</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au centre de santé de Kpanroun. ....	30
<b>Photo 3.2</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au complexe scolaire Jean Piaget II. ....	30
<b>Photo 3.3</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour IITA. ....	30
<b>Photo 3.4</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au CEG Zinvié. ....	30
<b>Photo 3.5</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour Campus. ....	31
<b>Photo 3.6</b> : Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour Tankpè. ....	31
<b>Photo 3.7</b> : Sonomètre de marque LANGLOIS SL-4001. ....	33
<b>Photo 3.8</b> : Interface de l'application « mobile Topographer ». ....	34
<b>Photo 3.9</b> : Enregistrement des coordonnées géographiques. ....	34
<b>Photo 3.10</b> : Logo du logiciel ArcGIS. ....	34

## Introduction générale

Dans nos sociétés, le bonheur sanitaire du citoyen est surtout fonction de son cadre de vie. C'est dire que la vie épanouie de l'individu, auteur et acteur du développement durable, repose sur un cadre de vie sain, paisible et calme, susceptible de lui favoriser, au cas échéant, une bonne santé sociale, mentale et physique. Malheureusement, les nuisances sonores sont aujourd'hui un signe prédominant de détérioration de ce cadre de vie en milieu urbain et surtout au voisinage des grandes infrastructures de transport.

Dans certaines situations de forte exposition, le bruit constitue même une véritable préoccupation de santé publique. Un territoire urbain qui aspire au développement durable ne peut donc négliger la problématique du bruit. Pourtant, en raison certainement de la diversité des préoccupations des décideurs et de leurs intérêts, l'importance à accorder aux nuisances causées par le bruit n'acquiert pas encore la considération qu'elle mérite. Soucieuse de cette situation, la Commission Européenne a doté les États membres d'un cadre harmonisé : la directive 2002/49/CE du Parlement Européen et du Conseil de l'Union Européenne du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement qui exige, entre autres, que toutes les agglomérations de plus de deux cent cinquante mille (250000) habitants établissent les cartes de bruit des infrastructures et des industries présentes sur leur territoire [1]. Elle constitue une opportunité sans précédent de mener des politiques d'aménagement durables et compatibles avec la préservation ou l'amélioration de notre environnement sonore. Au Bénin, le bruit est régi par le décret et la loi-cadre sur l'environnement [2], [3].

En effet, pour le politique en charge d'une zone urbaine, la cartographie sonore et les plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) sont de véritables outils au service de la planification des stratégies de prévention et de réduction du bruit ciblé.

Sur la base de cette directive, la commune d'Abomey-Calavi, avec une population de plus de six cent mille (600.000) habitants, doit être dotée d'une carte de bruit [4].

Le but de ce travail de recherche est de réaliser la carte de bruit de la commune d'Abomey-Calavi afin d'évaluer le niveau d'exposition de la population au bruit routier dans l'environnement. Cette cartographie permettra non seulement de représenter les niveaux de bruit, mais également de dénombrer la population qui y est exposée, de même que les établissements d'enseignement et les centres de santé.

Ce rapport qui fait la synthèse de notre travail de recherche s'articule autour de quatre chapitres. Le premier chapitre présente une généralité sur les notions d'acoustique et de cartographie. Le deuxième fait la synthèse de la revue de littérature sur les cartes de bruit. Le troisième, quant à lui, aborde la méthodologie de la réalisation de la carte de bruit. Le quatre enfin, rend compte des résultats, les décrypte et énumère les difficultés rencontrées. Ces quatre parties sont encadrées par une introduction générale et une conclusion générale avec les perspectives.

## Chapitre 1 : Notions d'acoustique et de cartographie

### Introduction

Ce premier chapitre clarifie certaines notions relatives à l'acoustique et à la cartographie. Nous avons jugé nécessaire d'aborder ces concepts pour faciliter leur compréhension à un lecteur peu averti du domaine.

### 1.1. Quelques généralités sur le bruit

#### 1.1.1. Son

Le son est un phénomène physique qui correspond à une infime variation périodique de la pression atmosphérique en un point donné. Il est produit par une mise en vibration des molécules qui composent l'air [W<sub>1</sub>]. Ce phénomène vibratoire est caractérisé par son intensité, sa fréquence et sa durée.

#### 1.1.2. Bruit

Passer du son au bruit c'est prendre en compte la représentation d'un son pour une personne donnée à un instant donné. Il ne s'agit plus seulement de la description d'un phénomène avec les outils de la physique, mais de l'interprétation qu'un individu fait d'un événement ou d'une ambiance sonore.

L'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) définit le bruit comme « un phénomène acoustique (*qui relève donc de la physique*) produisant une *sensation (dont l'étude concerne la physiologie)* généralement considérée comme désagréable ou gênante (*notions que l'on aborde au moyen des sciences humaines - psychologie, sociologie*)» [W<sub>1</sub>].

#### 1.1.3. Niveau sonore

La pondération du son par l'homme varie d'une façon sensiblement logarithmique c'est pour cela que l'on préfère généralement donner le niveau de pression en décibel en utilisant une échelle logarithmique. Le niveau sonore en décibel se définit à partir de la pression P par [5] :

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (1.1)$$

Avec  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$

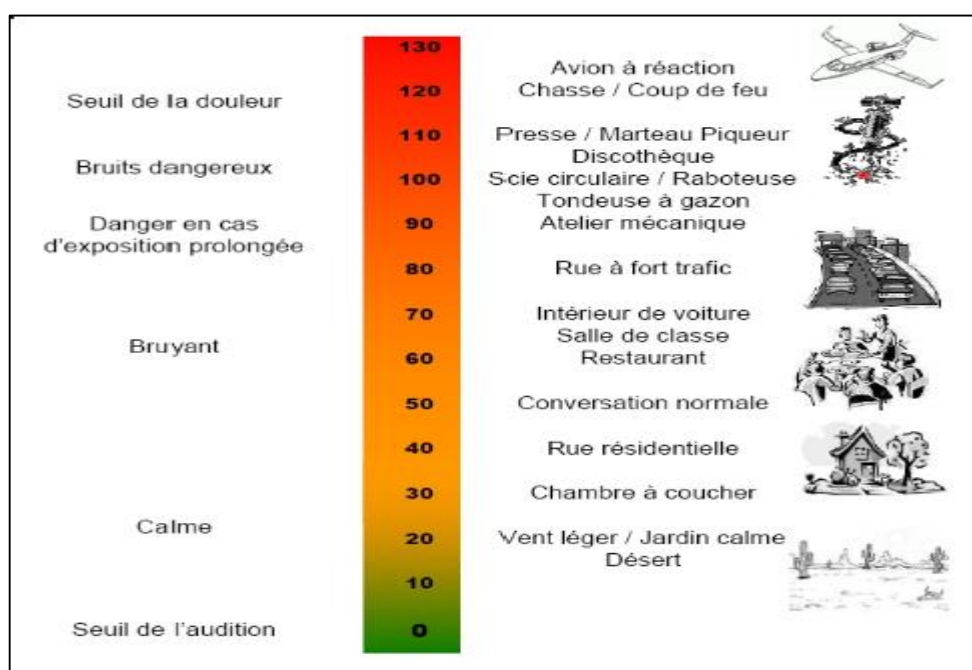
La valeur de  $P_0$  correspond à la pression au seuil de sensibilité de l'oreille. Par conséquent, les sons qui ont un niveau sonore négatif ne sont pas entendus. Un décibel correspond sensiblement à l'ordre de grandeur de l'écart perceptible entre deux sons. Ainsi, deux sons dont les niveaux sont différents de moins d'un décibel semblent de même intensité. Pour une pression de 1 Pa, le niveau sonore est de 94 dB alors que pour 10 Pa le niveau est de 114 dB, soit un niveau très élevé.

### 1.1.4. Décibel pondéré A et arithmétique des bruits

L'oreille humaine n'est pas sensible de la même façon aux différentes fréquences. Elle entend particulièrement moins les fréquences graves que les fréquences aiguës [6]. Il a donc été nécessaire de créer une unité physiologique de mesure du bruit qui rend compte de cette sensibilité particulière : le décibel pondéré A ou dB(A) [W<sub>1</sub>].

Le décibel A est une unité physique de la pression acoustique, pondérée « A » pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine, en fonction de la fréquence du son. Cela correspond à la variation de la pression dans l'air, appelée pression acoustique, produit par les ondes acoustiques. Les dB(A) traduisent donc une notion de gêne globale ou de risque pour la santé.

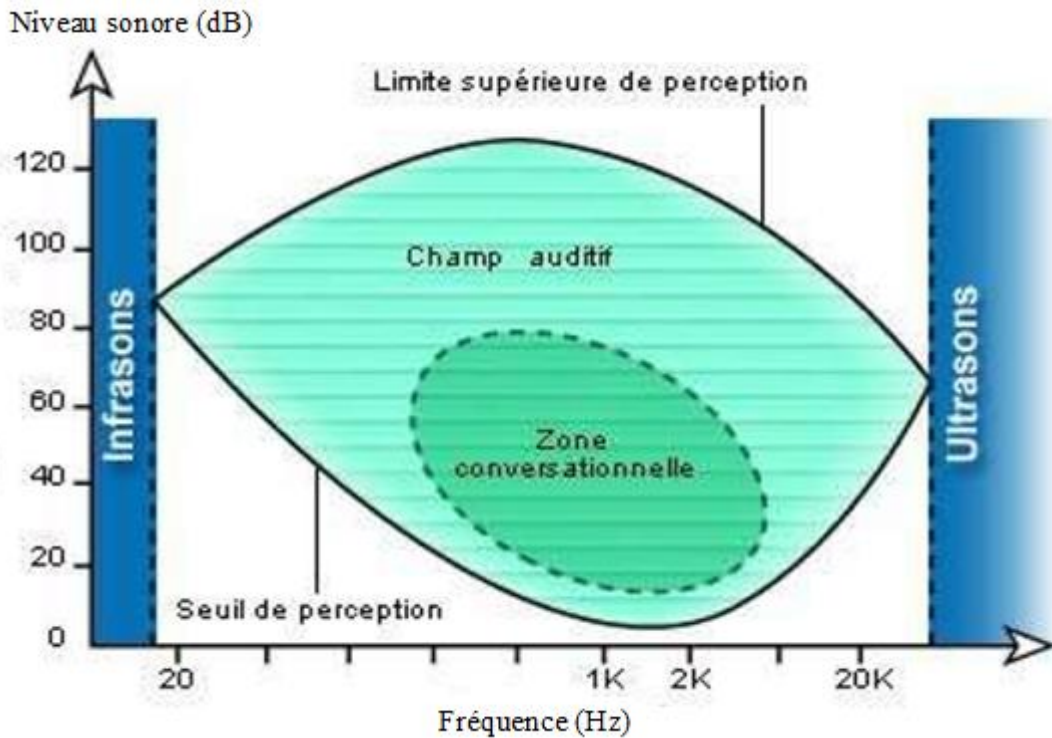
La figure 1.1 ci-dessous illustre les niveaux sonores en dB(A) en fonction de l'activité.



**Figure 1.1 :** Illustration des niveaux sonores [7].

L'oreille n'est sensible qu'aux sons entre 20 Hz et 20 kHz. Les infrasons sont les sons inférieurs à 20 Hz et les ultrasons, ceux supérieurs à 20 kHz. La parole se situe principalement entre 100 et 6000 Hz, la musique entre 50 et 16000 Hz [8].

La figure 1.2 ci-dessous montre les niveaux de perception du son en fonction de leur fréquence et de leur intensité.



**Figure 1.2 :** Perception du son [9].

En raison de l'échelle logarithmique [4], il n'est pas possible de sommer arithmétiquement les niveaux sonores exprimés en dB. La formule utilisée pour déterminer le niveau  $L_r$  résultant de l'addition des niveaux sonores  $L_1, L_2, \dots, L_n$  émis par les différentes sources sonores  $S_1, S_2, \dots, S_n$  est la suivante [10] :

$$L_r = 10 \times \text{Log} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad (1.2)$$

L'addition de deux sources sonores d'intensité identique conduit à une augmentation du niveau sonore de trois dB. En revanche, lorsque les sources sonores sont d'intensités différentes, si l'écart entre les deux (02) sources ne dépasse pas dix (10) dB, alors la contribution de la source la plus faible devient négligeable. C'est le phénomène de masquage par le son le plus fort [10]. Ainsi, on a :

$$60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB} \quad (1.3)$$

$$60 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 60,4 \text{ dB} \quad (1.4)$$

$$60 \text{ dB} + 30 \text{ dB} = 60 \text{ dB} \quad (1.5)$$

Le tableau 1.1 ci-dessous illustre l'arithmétique du bruit et l'impression sonore.

**Tableau 1.1 : Arithmétique du bruit et impression sonore [W<sub>1</sub>].**

<b>Les niveaux de bruit ne s'ajoutent pas arithmétiquement</b>		
Multiplier l'énergie sonore (les sources de bruit) par	C'est augmenter le niveau sonore de	C'est faire varier l'impression sonore
2	3 dB	très légèrement : on fait difficilement la différence entre deux lieux où le niveau diffère de 3 dB
4	6 dB	nettement : on constate clairement une aggravation ou une amélioration lorsque le bruit augmente ou diminue de 6 dB
10	10 dB	de manière flagrante : on a l'impression que le bruit est 2 fois plus fort
100	20 dB	comme si le bruit était 4 fois plus fort : une variation brutale de 20 dB peut réveiller ou distraire l'attention
100000	50 dB	Comme si le bruit était 30 fois plus fort : une variation brutale de 50 dB fait sursauter

### 1.1.5. Principales caractéristiques des nuisances sonores de l'environnement

La perception de la gêne reste variable selon les individus. Elle est liée à la personne (âge, niveau d'étude, activité menée, présence au domicile, propriétaire ou locataire, opinion personnelle quant à l'opportunité de la présence d'une source de bruit donnée) et à son environnement (région, type d'habitation, situation et antériorité par rapport à l'existence de l'infrastructure ou de l'activité, isolation de façade) [W<sub>1</sub>].

#### Routes

Le bruit de la route est un bruit permanent. Il est perçu plus perturbant lors du déroulement des activités à l'extérieur, quand les fenêtres sont ouvertes et pendant la nuit. Les progrès accomplis dans la réduction des bruits d'origine mécanique ont conduit à la mise en évidence de la contribution de plus en plus importante du bruit dû au contact pneumatique-chaussée dans le bruit global émis par les véhicules en circulation à des vitesses supérieures à 60 km/h [W<sub>1</sub>].

#### Voies ferrées

Le bruit ferroviaire présente des caractéristiques spécifiques sensiblement différentes de celles de la circulation routière :

- le bruit est de nature intermittente ;
- le spectre (tonalité), bien que comparable, comporte davantage de fréquences aiguës ;

- la signature temporelle (évolution) est régulière (croissance, pallier, décroissance du niveau sonore avec des durées stables, par type de train en fonction de leur longueur et de leur vitesse) ;
- le bruit ferroviaire apparaît donc gênant à cause de sa soudaineté ; les niveaux peuvent être très élevés au moment du passage des trains. Pourtant, il est généralement perçu comme moins gênant que le bruit routier du fait de sa régularité tant au niveau de l'intensité que des horaires. Il perturbe spécifiquement la communication à l'extérieur ou les conversations téléphoniques à l'intérieur. Si les gênes ferroviaire et routière augmentent avec le niveau sonore, la gêne ferroviaire reste toujours perçue comme inférieure à la gêne routière, quel que soit le niveau sonore.

### **Exposition à plusieurs sources**

L'exposition combinée aux bruits provenant de plusieurs infrastructures routières et ferroviaires voire aériennes (situation de multi-exposition) a conduit à s'interroger sur l'évaluation de la gêne ressentie par les populations riveraines concernées. La multi-exposition est un enjeu de santé publique si on considère l'addition voire la multiplication des effets possibles de bruits cumulés sur l'homme (par exemples : la gêne, les interférences avec la communication et les perturbations du sommeil la nuit). Le niveau d'exposition, mais aussi la contribution relative des deux sources de bruit (situation de dominance d'une source sur l'autre source ou de non-dominance) ont un impact direct sur les jugements et la gêne ressentie. Lorsque le bruit reste modéré, la gêne due à une source de bruit spécifique semble liée au niveau sonore de la source elle-même plus qu'à la situation d'exposition (dominance - non-dominance) ou qu'à la combinaison des deux bruits. En revanche, dans des situations de forte exposition, des phénomènes tels que le masquage du bruit routier par le bruit ferroviaire ou la « contamination » du bruit ferroviaire par le bruit routier apparaissent.

#### **1.1.6. Isolement acoustique**

Quand un bruit est émis dans un lieu, appelé local d'émission, trois voies de transmission de l'énergie acoustique dans le local voisin (local de réception) sont possibles: la transmission directe (par la paroi séparative), les transmissions latérales (parois liées à la paroi séparative) et les transmissions parasites (passages de canalisation, défaut d'exécution).

L'isolement acoustique brut  $D$  correspond à la différence entre le niveau sonore du local d'émission ( $L_1$ ) et le niveau sonore du local de réception ( $L_2$ ) [10].

$$D = L_1 - L_2 \quad (dB) \quad (1.6)$$

La figure 1.3 montre une situation d'isolation acoustique.

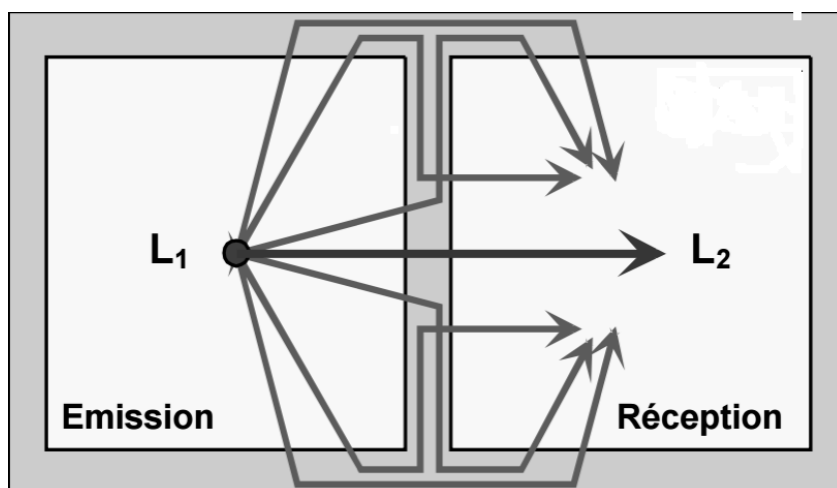


Figure 1.3 : Illustration d'une isolation acoustique.

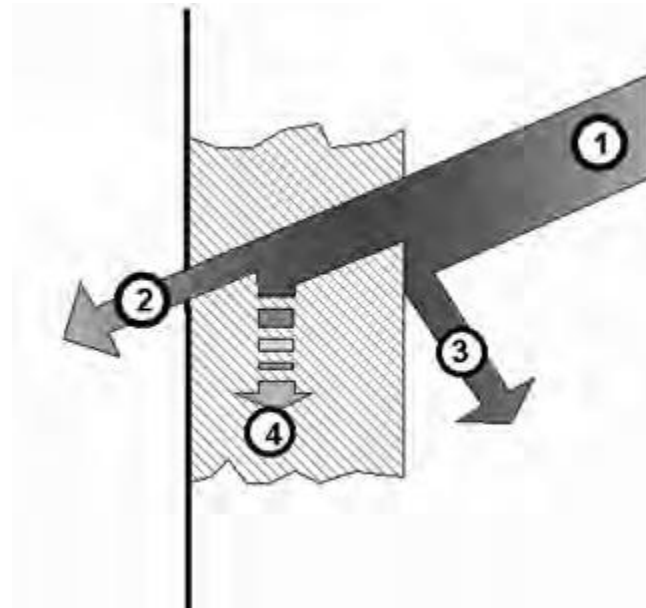
### 1.1.7. Source sonore et intensité sonore

Une source sonore diffuse de l'énergie acoustique. L'énergie libérée par une source sonore pendant une seconde est appelée puissance acoustique. Elle se mesure en watts ( $W$ ). L'intensité acoustique ou puissance surfacique moyenne est la quantité d'énergie traversant une surface d'un mètre carré par seconde. Elle s'exprime en watts par mètre carré ( $W.m^{-2}$ ). D'autres caractéristiques d'une source sonore sont également importantes à prendre en compte, notamment dans un but de modélisation et de calcul du niveau sonore : la géométrie (hauteur, source linéaire, ponctuelle, surfacique), la directivité et le mode de fonctionnement (continu, intermittent).

### 1.1.8. Propagation du son

Lors de la propagation, l'onde sonore va subir différents phénomènes à savoir des réflexions contre les surfaces réfléchissantes (murs, surfaces vitrées, plans d'eau), des changements de direction (réfraction, notamment en lien avec les effets météorologiques tels que le vent ou les gradients de température) ou des atténuations (divergence géométrique, dissipation atmosphérique, absorption par le sol ou par l'atmosphère) [10].

Une onde sonore arrivant sur un obstacle (1), telle une paroi, est réfléchi (3), absorbée (4) et transmise (2) à travers l'obstacle comme le montre la figure 1.4



**Figure 1.4 :** Schéma récapitulatif du comportement de l'onde acoustique incidente vis-à-vis d'un obstacle [W<sub>2</sub>].

### 1.1.9. Célérité du son

Dans l'air, à partir d'une source sonore ponctuelle, les ondes se propagent selon des sphères concentriques à une vitesse appelée célérité du son ( $c$ ). La célérité du son varie en fonction de l'homogénéité et de l'élasticité du milieu. Dans l'air, à 15 °C, la célérité du son est de 340,5 m. s<sup>-1</sup>. Qu'ils soient graves ou aigus, les sons se propagent à la même vitesse, on dit que l'air est un milieu non dispersif. La célérité du son ne dépend pas non plus du niveau sonore [10]. Elle augmente avec la température du milieu, selon la formule suivante :

$$c = 20\sqrt{T} \quad (1.7)$$

Avec :

$c$  : célérité du son en m. s<sup>-1</sup> ;

$T$  : température du milieu en K (kelvin).

Le tableau 1.2 nous donne les valeurs de la célérité du son dans quelques matériaux.

**Tableau 1.2 :** Vitesses du son dans différents matériaux [11].

Matériau	Masse volumique en kg/m <sup>3</sup>	Vitesses du son en m/s
Aluminium	2700	<b>5100</b>
Acier	7800	<b>5100</b>
Bois dur	800	<b>3500</b>
Bronze	8800	<b>3400</b>
Eau à 0°C	1000	<b>1447</b>
Eau à 20°C	/	<b>1482</b>
Air à 0°C	1,29	<b>331</b>
Air à 20°C	/	<b>343</b>
Caoutchouc souple	1020	<b>70</b>

## 1.2. Effets du bruit sur la santé

Les bruits de l'environnement, générés par les routes, les voies ferrées et le trafic aérien au voisinage des aéroports ou ceux perçus au voisinage des activités industrielles, artisanales, commerciales ou de loisir sont à l'origine d'effets importants sur la santé des personnes exposées. La première fonction affectée par l'exposition à des niveaux de bruits excessifs est le sommeil [W<sub>3</sub>]. Mais cela n'exclut pas d'autres effets.

### Perturbations du sommeil

L'audition est en veille permanente, l'oreille n'a pas de paupières! Pendant le sommeil la perception auditive demeure. Les sons parviennent à l'oreille et sont transmis au cerveau qui interprète les signaux reçus. Si les bruits entendus sont reconnus comme habituels et acceptés, ils n'entraîneront pas le réveil des personnes exposées. Mais ce travail de perception et de reconnaissance des bruits se traduit par de nombreuses réactions physiologiques, qui entraînent des répercussions sur la qualité du sommeil (perturbations du temps total du sommeil et modification des stades du sommeil). Si la durée totale de sommeil peut être modifiée dans certaines limites sans entraîner d'importantes modifications des capacités individuelles et du comportement, les répercussions à long terme d'une réduction quotidienne de la durée du sommeil sont plus critiques. Une telle privation de sommeil entraîne une fatigue chronique excessive et de la somnolence, une réduction de la motivation de travail, une baisse des performances et une anxiété chronique. Elles sont également des sources de baisses de vigilance diurnes qui peuvent avoir une incidence sur les risques d'accidents. Il faut aussi noter que les effets, notamment cardio-vasculaires, mesurés au cours du sommeil montrent que les fonctions physiologiques du dormeur restent affectées par la répétition des perturbations sonores.

### **Interférence avec la transmission de la parole**

La compréhension de la parole dans la vie quotidienne est influencée par le niveau sonore, par la prononciation, par la distance, par l'acuité auditive, par l'attention mais aussi par les bruits interférents. Pour qu'un auditeur avec une audition normale comprenne parfaitement la parole, le taux signal/bruit (c'est-à-dire la différence entre le niveau de la parole et le niveau sonore du bruit interférent) devrait être au moins de 15 dB(A). Puisque le niveau de pression acoustique du discours normal est d'environ 60 dB(A), un bruit parasite de 45 dB(A) ou plus, gêne la compréhension de la parole dans les plus petites pièces. La notion de perturbation de la parole par les bruits interférents provenant de la circulation s'avère très importante pour les établissements d'enseignement où la compréhension des messages pédagogiques est essentielle. L'impossibilité à comprendre la parole a pour résultats un nombre élevé de handicaps personnels et de changements comportementaux.

### **Effets psychophysiologiques**

Chez les travailleurs des secteurs d'activités bruyantes et les personnes vivant près des aéroports, des industries et des rues mouvementées, l'exposition au bruit peut avoir un impact négatif sur leurs fonctions physiologiques. L'impact peut être temporaire mais parfois aussi permanent.

Après une exposition prolongée au bruit, les individus sensibles peuvent développer des troubles permanents, tels que l'hypertension artérielle et une maladie cardiaque ischémique. L'importance et la durée des troubles sont déterminées en partie par des variables liées à la personne, son style de vie et ses conditions environnementales. Les bruits peuvent également provoquer des réponses réflexes, principalement lorsqu'ils sont peu familiers et soudains.

### **Effets sur les performances**

Principalement pour les travailleurs et les enfants, le bruit peut compromettre l'exécution de tâches cognitives. Bien que l'éveil dû au bruit puisse conduire à une meilleure exécution de tâches simples à court terme, les performances diminuent sensiblement pour des tâches plus complexes. La lecture, l'attention, la résolution de problèmes et la mémorisation sont parmi les fonctions cognitives les plus affectées par le bruit. Ce dernier peut également distraire, augmenter les erreurs dans le travail et des bruits soudains peuvent entraîner des réactions négatives provoquées par la surprise ou la peur. Dans les écoles peu distantes des aéroports, les enfants exposés au trafic aérien, ont des performances réduites dans l'exécution de tâches telles que la correction de textes, la réalisation de puzzles difficiles, les tests d'acquisition de la lecture et les capacités de motivation.

### **Effets sur le comportement avec le voisinage et gêne**

Le bruit peut produire un certain nombre d'effets sociaux et comportementaux aussi bien que des gênes. Ces effets sont souvent complexes, subtils et indirects. Beaucoup d'entre eux sont supposés provenir de l'interaction d'un certain nombre de variables auditives. Il convient cependant d'admettre qu'à niveau égal des bruits différents provenant de la circulation et des activités industrielles, il intervient des gênes de différentes amplitudes. Ceci s'explique par le fait que la gêne des populations dépend non seulement des caractéristiques du bruit y compris sa source, mais également dans une grande proportion de nombreux facteurs non acoustiques à caractère social, psychologique ou économique. Le bruit, au-dessus de 80 dB(A), peut également réduire les comportements de solidarité et accroître les comportements agressifs. Il est particulièrement préoccupant de constater que l'exposition permanente à un bruit de niveau élevé accroît le sentiment d'abandon chez les apprenants.

### **Effets biologiques extra-auditifs : le stress**

Les effets biologiques du bruit ne se réduisent pas uniquement à des effets auditifs. Des effets non spécifiques peuvent également apparaître. Du fait de l'étroite interconnexion des voies nerveuses, les messages nerveux d'origine acoustique atteignent de façon secondaire d'autres centres nerveux et provoquent des réactions plus ou moins spécifiques et plus ou moins marquées au niveau des fonctions biologiques ou des systèmes physiologiques autres que ceux relatifs à l'audition. Ainsi, en réponse à une stimulation acoustique, l'organisme réagit comme il le ferait de façon non spécifique à toute agression, qu'elle soit physique ou psychique. Cette stimulation, si elle est intense et répétée, entraîne une multiplication des réponses de l'organisme qui, à la longue, peut induire un état de fatigue, voire d'épuisement. Cette fatigue intense constitue le signe évident du « stress » subi par l'individu et, au-delà de cet épuisement, l'organisme peut ne plus être capable de répondre de façon adaptée aux stimulations et aux agressions extérieures. Ce qui peut rendre les systèmes de défense de l'organisme inefficaces.

### **Déficit auditif dû au bruit en milieu de travail.**

Les bruits de l'environnement, ceux perçus au voisinage des infrastructures de transport ou des activités économiques, n'atteignent pas des intensités directement dommageables pour l'appareil auditif. Par contre le bruit au travail, l'écoute prolongée de musiques amplifiées à des niveaux élevés et la pratique d'activités de loisir tels que le tir ou les activités de loisirs motorisés exposent les personnes à des risques de perturbation auditive grave.

Le déficit auditif défini comme une augmentation du seuil de l'audition, peut être accompagné d'acouphènes (bourdonnements ou sifflements). Ce déficit dû au bruit se produit pour les

fréquences aiguës (3 000 - 6 000 hertz, avec le plus grand effet à 4 000 hertz). La prolongation de l'exposition aux bruits excessifs aggrave la perte auditive qui entraîne l'incapacité à comprendre les discours dans des conditions normales. Ce qui est considéré comme un handicap social grave.

### **1.3. Cartographie**

La cartographie est définie par l'Association Cartographique Internationale (ACI) (Paris 1966) comme étant « l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement des cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que de leur utilisation. »

Des notions simples, mais non moins importantes pour la cartographie, seraient utiles à éclaircir. Il s'agit des notions telles que l'échelle, la longitude, la latitude et l'altitude.

#### **1.3.1 Echelle**

L'échelle d'une carte traduit le rapport entre la distance sur la carte et la distance correspondante sur le terrain. Le choix de ce paramètre important est fonction de l'étendue que l'on voudrait représenter mais aussi du degré de précision souhaitée [12].

#### **1.3.2 Longitude, latitude et altitude**

Les coordonnées en longitude et en latitude, appelées aussi coordonnées géographiques permettent de déterminer la position d'un point sur la carte.

Les méridiens sont représentés par les longitudes. Dans une représentation à deux dimensions, elles constituent les abscisses. Les parallèles correspondent aux latitudes qui seront les ordonnées des points dans le plan. Ces coordonnées géographiques peuvent être exprimées sous divers formats : en degré minute seconde, en degré décimaux ou décimaux [12].

L'altitude, une des composantes géographiques, est l'élévation verticale ou la hauteur d'un lieu ou d'un objet par rapport à un niveau de base (niveau de la mer).

### **Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la clarification de quelques notions relatives à l'acoustique et à la cartographie. Il a toutefois aussi permis d'aborder l'impact du bruit sur la santé et de savoir que le bruit affecte non seulement les facultés auditives de l'homme mais il peut aussi entraîner le développement des problèmes cardiovasculaires, le stress, la gêne, la baisse de performance au travail, l'insomnie, etc...

## Chapitre 2 : Revue de littérature

### Introduction

Le trafic routier pose de sérieux problèmes en termes de protection de l'environnement, avec le développement continu de la technologie et l'augmentation du nombre de véhicules. Il est donc nécessaire de procéder à des évaluations régulières pour identifier les zones urbaines où les niveaux de bruit sont élevés et dépassent les limites de bruit autorisées. Ces évaluations peuvent être effectuées par des mesures sur place ou par des prédictions à l'aide d'un logiciel spécialement conçu à cet effet. L'exploitation des logiciels est basée soit sur des mesures acoustiques, soit sur des prévisions, en tenant compte au cas par cas, du bruit de la circulation, d'autres aspects comme les limitations de vitesse, les catégories de rues, le revêtement d'asphalte (niveau d'absorption du bruit). Ces deux façons d'analyser le bruit peuvent également aller de pair en introduisant des données sur la zone analysée (données topographiques) et des données concernant le bruit mesuré. La carte de bruit qui sera générée après avoir introduit tous ces paramètres, fournira plus tard une vue d'ensemble sur la zone analysée. Ainsi, la manière d'utiliser le logiciel est très importante car elle peut facilement influencer la qualité des résultats dans le processus de conception de la cartographie de bruit.

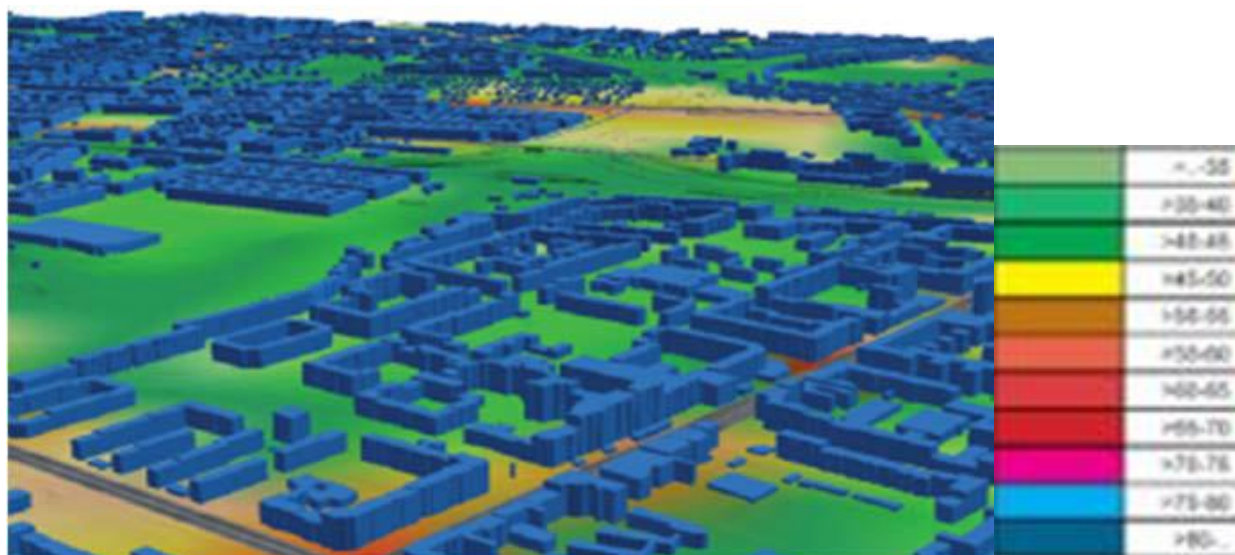
### 2.1 Logiciels de prévision, de calcul et de cartographie du bruit

De nombreux travaux tels ceux de Alina et al. (2016) ont permis d'analyser certains logiciels avec des applications utiles sur l'évaluation, la prévision et la cartographie du bruit extérieur, notamment le bruit routier [13].

#### 2.1.1 Logiciel IMMI

Le logiciel IMMI est utile pour estimer les projets de bruit extérieur dans les zones urbaines. Il est capable de générer un bruit d'une zone en important une carte cadastrale et en introduisant des données obtenues à partir des mesures du niveau de bruit dans la zone étudiée [14]. En même temps, il est capable de travailler avec un modèle de carte numérique qui a des données sur la topographie, les rues, les bâtiments, les espaces verts, les infrastructures de transport, la répartition de la population. Avec son aide, il est possible d'obtenir une représentation simultanée des niveaux de bruit aux points mesurés, et aussi du contour des courbes d'un niveau constant des zones correspondant à une valeur constante du niveau de bruit équivalent [8]. Il permet également de visualiser en 3D la propagation du bruit dans une certaine zone [W<sub>4</sub>].

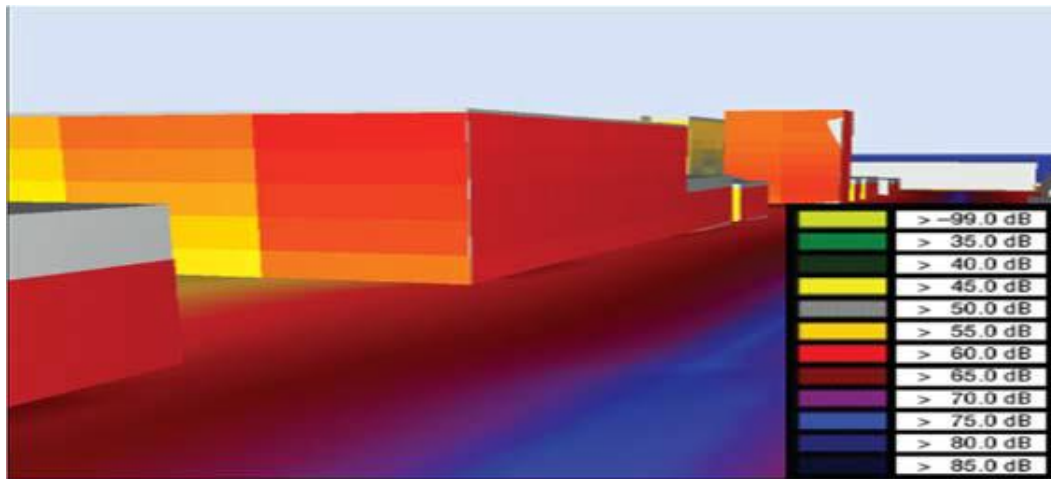
La figure 2.1 illustre un calcul de bruit effectué par ce logiciel.



**Figure 2.1** : Calcul du bruit en 3D [13].

### 2.1.2 Logiciel de prédiction du bruit ambiant CadnaA

CadnaA est un logiciel coûteux, utilisé pour prédire le niveau de bruit avec des composants utilisés pour le calcul, la présentation, l'évaluation et la prédiction du bruit ambiant. Il gère des projets de toute taille. Il n'y a pratiquement aucune limite imposée par le logiciel concernant le nombre d'objets (sources, bâtiments, lignes de contour, récepteurs...). La seule limite pour les grands projets est liée à la capacité mémoire des ordinateurs. Pour contourner cette limite, CadnaA offre des fonctions et des options puissantes (technique PCSP de décomposition d'une carte en plusieurs zones de calcul, option CALC pour la répartition des calculs en réseau) [W5]. Avec ce logiciel, il est possible d'analyser le bruit généré par une installation industrielle, le bruit d'un parking, d'une route ou d'une voie ferrée ou encore le bruit de toute une ville ou d'une zone urbaine. Ce logiciel a été largement utilisé pour la cartographie du bruit urbain aux États-Unis, avec la mise en œuvre du programme européen de la directive 49/2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. C'est le cas du projet de cartographie du bruit dans la région de Chittenden, Vermont, où ce logiciel a permis d'observer comment la propagation du bruit affecte les habitants des zones sensibles. L'objectif de l'utilisation du logiciel est de trouver des moyens de surveiller plus efficacement le bruit dans les communautés [15]. La propagation du bruit sur un tronçon de rue de la ville de Chittenden a été réalisée par ce logiciel comme le montre la figure 2.2.



**Figure 2.2 :** Propagation du bruit sur un tronçon de rue d'une ville de Chittenden VT, vue 3D, CadnaA [13].

### 2.1.3 Logiciel communautaire de prédiction du bruit SPM9613

SPM 9613 est un logiciel peu coûteux utilisé pour l'analyse du bruit ambiant émis par une variété de sources. Ce logiciel est basé sur la norme ISO 9613, parties 1 et 2. Il fournit des calculs à partir de points de terrain spécifiques et des prévisions de niveau de bruit pondéré A et C. Le logiciel a une interface Windows et permet des prévisions multi-sources et les prédictions de la distribution du bruit avec les barrières antibruits et les surfaces réfléchissantes [14].

### 2.1.4 Logiciel CUSTIC

Avec ce logiciel, l'analyse de la pollution sonore est effectuée par le contrôle du bruit, la modélisation de l'environnement et l'évaluation des incidences sur l'environnement. Grâce au système de simulation des processus de dispersion du bruit, il évalue rapidement et efficacement la pollution sonore de l'environnement dans la zone analysée. Ce logiciel peut également estimer le bruit du trafic routier en introduisant la vitesse moyenne des véhicules et les statistiques relatives au nombre de véhicules [16].

### 2.1.5 Suite logicielle Predictor-LimA Type 7810

Il y a quelques années, Lima et Predictor étaient deux logiciels différents utilisés séparément dans des analyses différentes, mais aujourd'hui ces deux systèmes informatiques de données ont été fusionnés afin de fournir un outil précis dans tout type de projet sur le bruit [W<sub>6</sub>]. Comme l'ont montré de nombreuses études comparatives [17], ces deux systèmes informatiques de données ont des caractéristiques comme la prise en compte des aspects suivants lors du calcul du bruit : variables météorologiques, intégration de la direction de la source, identification de la contribution de chaque source, calcul de récepteurs individuels, conception de barrières acoustiques, etc. Elle s'intègre également très bien avec d'autres systèmes comme ArcGIS. La suite logicielle Predictor -

LimA est disponible en plusieurs configurations pour s'adapter à diverses applications et budgets [W7].

### **2.1.6 Logiciel Acoustic Determinator Type 7816**

Il est un outil permettant de déterminer l'émission de puissance acoustique des sources de bruit industrielles par la mesure du son des niveaux de pression dans l'environnement. Il est également utile pour la détermination du niveau de bruit provenant de différentes sources externes, en utilisant des mesures sur le terrain en conformité avec de nombreuses normes nationales et internationales [W8].

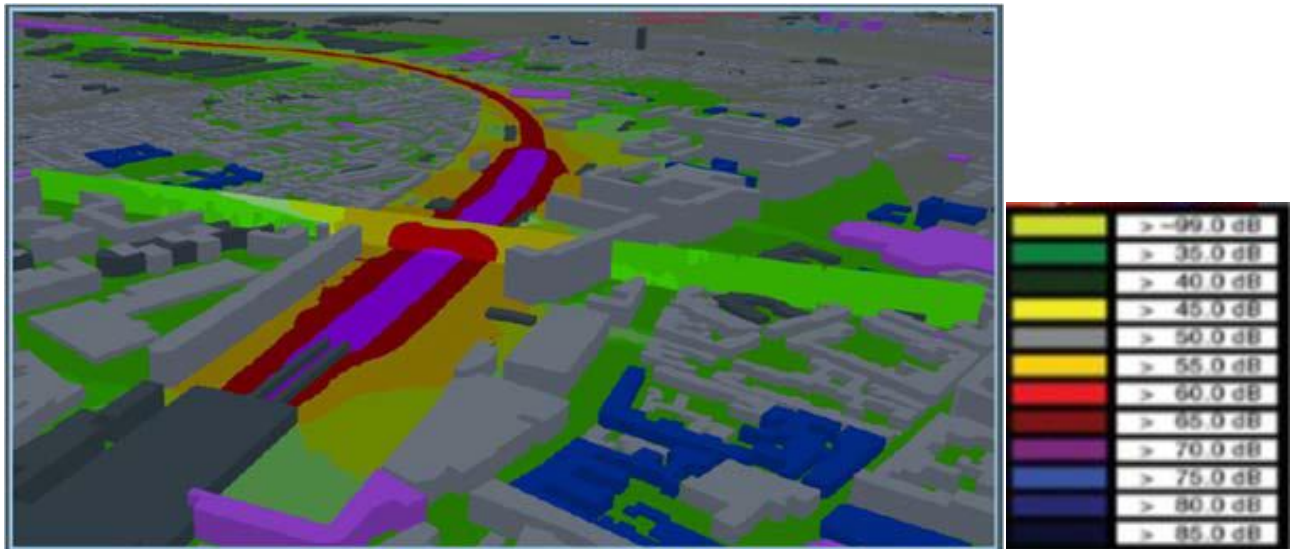
### **2.1.7 Logiciel MITHRA-SIG**

MITHRA-SIG est destiné à concevoir des cartes de bruit pour les villes ou certaines régions des villes [W9]. Ce logiciel a plusieurs fonctions :

- il simule la propagation du bruit provenant de certaines sources : route, rail, etc ;
- il réalise des cartes de bruit dynamiques en montrant la répartition du bruit sur les façades des bâtiments ;
- il affiche des informations sur les résultats des prévisions et des mesures du bruit ;
- il analyse les données en générant des cartes de bruit avant et après la mise en œuvre des mesures de réduction du bruit (par exemple la mise en place de barrières antibruit) ;
- il calcule la population exposée au bruit.

MITHRA-SIG est un logiciel coûteux qui possède différents niveaux de licences basés sur le nombre d'objets pris en compte dans le modèle : 100, 1000, 10000, 100000 et illimités [W10].

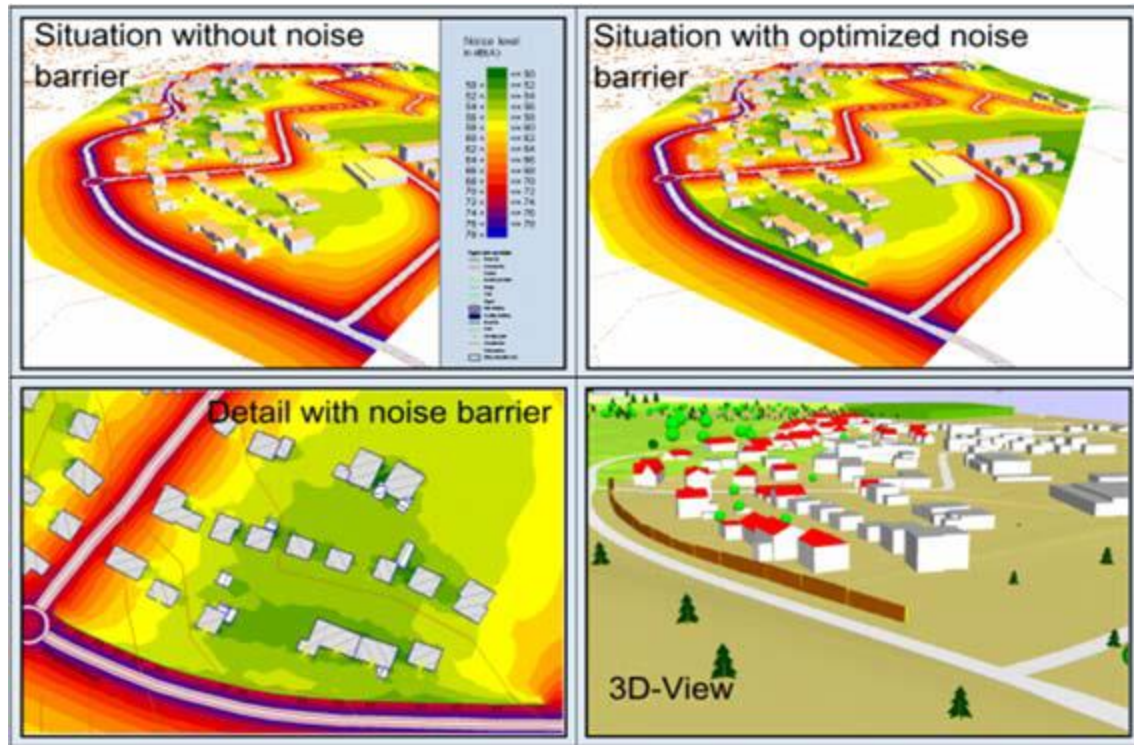
La figure 2.3 montre une carte générée par ce logiciel.



**Figure 2.3 :** Carte de bruit générée par MITHRA-SIG [13].

### 2.1.8 Logiciel SoundPLAN

SoundPLAN est un logiciel de modélisation du bruit utilisé depuis 1986. Les principales applications de ce logiciel consistent à la prédiction, l'évaluation et la cartographie du bruit ambiant [W<sub>11</sub>]. Ce logiciel est utile pour les projets de construction et la planification de nouvelles routes car elle présente des caractéristiques concernant l'optimisation du bruit (figure 2.4) avec des outils utilisés pour analyser la relation entre les coûts et les bénéfices. Dans les zones où le bruit est nécessaire, ce logiciel permet de connaître la zone de minimisation de la taille d'une barrière de protection, réduisant ainsi considérablement les coûts de construction [W<sub>12</sub>]. SoundPLAN est un logiciel coûteux qui ne comporte aucune restriction concernant le nombre d'objets et la taille des modèles que vous pouvez créer ou traiter. La possibilité d'importer des suivis de vols dans le cadre de simulations du bruit aéroportuaire est également une particularité de SoundPLAN [W<sub>13</sub>].



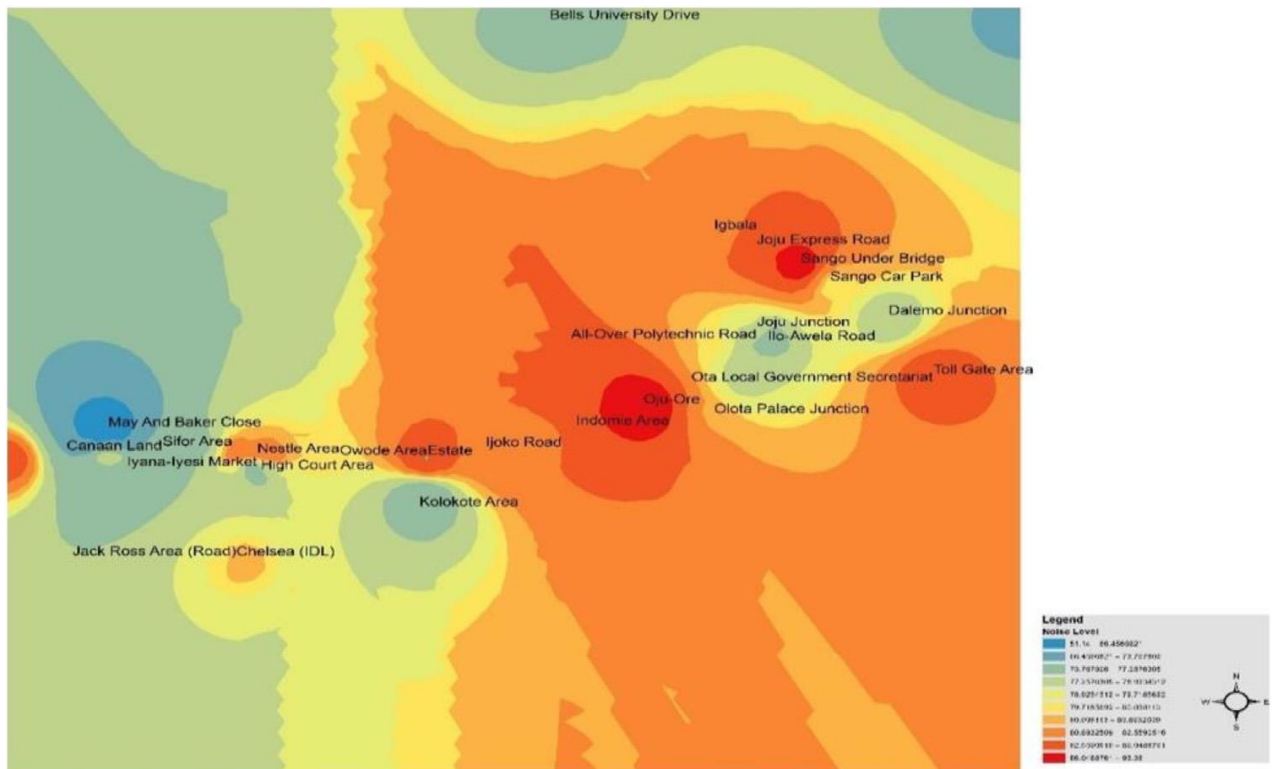
**Figure 2.4 :** Projections concernant l'optimisation des barrières antibruit générées par le logiciel SoundPLAN [13].

### 2.1.9 Logiciel ArcGIS

C'est une suite de logiciels d'information géographique développée par la société américaine ESRI qui permet de prendre rapidement les décisions et de favoriser l'innovation dans les organisations et communautés. Il permet de [W<sub>14</sub>]:

- créer, partager et utiliser des cartes intelligentes ;
- rassembler les informations géographiques ;
- créer et gérer des bases de données géographiques ;
- résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale ;
- créer des applications basées sur la carte ;
- communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.

La figure 2.5 montre une carte de bruit de la métropole d'Ota, l'une des grandes villes du Sud-Est du Nigéria, générée par ce logiciel.



**Figure 2.5 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d'Ota pour la période du matin [18].

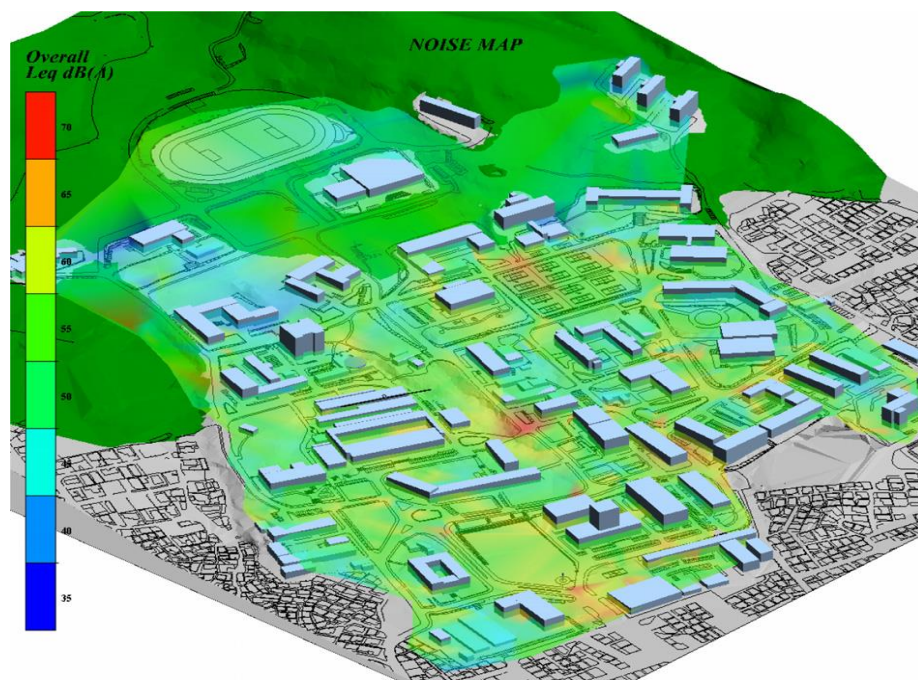
Tous les logiciels ainsi présentés se distinguent par leurs coûts, par leurs capacités à traiter le nombre d'objets voulus et les tailles des modèles à créer. Ils ont comme caractéristique commune l'évaluation du bruit extérieur. Cette évaluation est basée à la fois sur des mesures de bruit, des estimations de bruit ou des combinaisons entre ces deux aspects. Grâce à l'exploitation des prévisions et ou des mesures effectuées, les cartes de bruit peuvent alors être réalisées. Par ailleurs, tous ces logiciels pouvaient être utilisés pour notre étude mais nous avons choisi ArcGIS 10.1 car un cabinet de la place nous a permis d'y accéder.

## 2.2 Travaux de réalisation des cartes de bruit

Certains chercheurs et cabinets d'experts ont d'une manière ou d'une autre mené des travaux de réalisation des cartes de bruit de grandes agglomérations. Nous présentons en quelques lignes les résultats de leurs recherches.

✚ Dae Seung Cho et al. (2007) ont, à travers leur article « Noise mapping using measured noise and GPS data », présenté un système permettant de produire facilement une carte de bruit en utilisant simultanément le bruit et les données GPS [19]. Ils l'ont mis en application dans la réalisation de la carte de bruit (Figure 2.6) de l'université nationale de Pusan (Coré du Sud) dont la superficie est supérieure à 650000 m<sup>2</sup>. Le système se compose d'un sonomètre, d'un récepteur GPS de modèle eTrex Venture fabriqué par Garmin et d'un programme de base de données pour gérer les

données mesurées. La carte est produite grâce au système 2006 Elsevier Ltd. Les mesures ont été effectuées en 735 points du campus dans l'après-midi des jours de semaine du 7 février au 28 février 2003 pendant les vacances. Dans la cartographie, 117 données de positions ont été corrigées manuellement, montrant des différences allant jusqu'à plusieurs mètres par rapport à la carte géographique, en raison de la précision du récepteur GPS. La carte obtenue permet d'observer que les bruits graves de plus de 65 dBA se produisent principalement à proximité des routes et des zones de loisirs, ainsi que les effets d'écran et de réflexion des bâtiments. Cette étude a montré que les cartes de bruit produites à l'aide des mesures du bruit et de données GPS peuvent fournir des informations non seulement pour évaluer la situation actuelle en matière de bruit, mais aussi pour identifier et résoudre les problèmes de bruit existants. Elle révèle également que la réduction de l'erreur de mesure des données GPS est l'une des questions importantes pour produire une carte de bruit plus précise avec une interface humaine minimale.



**Figure 2.6 :** Carte de bruit du campus principal de l'université nationale de Pusan [19].

✚ Piotr Mioduszewski et al. (2011) ont, à travers leur article « Noise map validation by continuous noise monitoring », présenté une comparaison de deux évaluations du bruit dans l'agglomération de Gdansk en Pologne [20]. L'une est basée sur la carte de bruit produite par la méthode de calcul pour la ville en 2007 et la seconde est portée sur des données réelles provenant de mesures continues acquises par un réseau de surveillance du bruit opérant dans la ville depuis 2008. Les indicateurs de bruit présentés dans cette étude ont été calculés sur la base des données

acquises par 14 stations de surveillance sélectionnées sur un total de 40 stations de contrôle en service. Les comparaisons de ces évaluations ont été effectuées et les résultats montrent que les prévisions sont généralement plus élevées que les niveaux mesurés. L'étude a également montré qu'il est nécessaire de surveiller avec précision les paramètres du trafic (au moins le débit et la vitesse) et d'utiliser ces paramètres dans l'analyse de certains résultats attendus qui ne peuvent pas être expliqués uniquement par des facteurs météorologiques.

✚ Szczodrak et al. (2013) ont présenté, à travers leur article « Creating dynamic maps of noise threat using PL-grid infrastructure », une méthode de mise à jour pour laquelle un dispositif fixe de surveillance du bruit est utilisé pour obtenir les données de bruit mesurées et elles sont combinées avec les données sur le volume du trafic pour un nouveau calcul du volume de trafic afin de mettre à jour la carte de bruit [21]. Cette méthode permet d'éviter la collecte d'une grande quantité de données sur le volume du trafic donné par la mise en place d'un certain nombre de contrôles stationnaires mais la restriction est que seul le district proche du point de contrôle peut être mis à jour et cette mise à jour s'appuie sur des points de surveillance plus fixes.

✚ Tong Liu et al. (2014), dans leur article « Methods for Sensing Urban Noises », ont présenté deux catégories de méthodes pour mesurer les niveaux de bruit urbain nécessaires à la réalisation des cartes de bruit, en discutant de leurs avantages et inconvénients [22]. Il s'agit de la méthode basée sur l'utilisation d'un appareil de mesure du bruit professionnel, appelé sonomètre et l'autre méthode basée sur l'utilisation des téléphones mobiles. La première méthode peut produire une longue période de mesures de bruit de haute qualité mais elle nécessite un coût élevé de déploiement et de maintenance. Pour résoudre les inconvénients de la méthode susmentionnée, les téléphones mobiles sont utilisés comme substituts. Bien que la précision soit légèrement inférieure à celle d'un sonomètre professionnel, la grande disponibilité des téléphones mobiles chez les utilisateurs finaux augmente considérablement la couverture spatiale et temporelle des espaces de détection. Pour résoudre le problème de précision, un algorithme de calibrage a été proposé pour l'auto-calibrage. Cet algorithme [23] utilise une fonction linéaire pour modéliser la relation entre les mesures du téléphone et les valeurs réelles, comme le montre l'équation (2.1) :

$$R = \alpha M + \beta + \varepsilon \quad (2.1)$$

où  $R$  et  $M$  désignent respectivement les valeurs réelles et les mesures du téléphone ;  $\alpha$  et  $\beta$  sont des coefficients indéterminés ;  $\varepsilon$  est l'erreur aléatoire  $\alpha$  et  $\beta$  peuvent être estimés automatiquement sur la base des niveaux de bruit recueillis dans un environnement intérieur calme.

✚ Ming Cai et al. (2017), dans leur article « A traffic-noise-map update method based on monitoring data », ont proposé une méthode de mise à jour des cartes de bruit en se basant sur le

fait que la production de cartes de bruit repose principalement sur la prévision du bruit qui tient compte des caractéristiques du bruit de la circulation, des lois de propagation du son et des barrières d'influence à la propagation [24]. La méthode comporte deux phases : le calcul de la valeur de correction et le classement des routes en différents groupes en fonction de leurs attributs de source sonore. Dans un premier temps, les données de bruit mesurées sont comparées aux données de bruit calculées de la carte de bruit pour obtenir la correction de valeur. Dans la deuxième phase, les routes corrigées dans la première phase sont regroupées en fonction de leur SSPL, chaque groupe représente un type de routes et la valeur de correction de l'un est la valeur de correction moyenne de toutes les autres routes dans ce groupe. Lorsque la carte de bruit est mise à jour, les routes qui attendent pour la correction sont réparties dans les groupes en fonction de leur SSPL et la valeur de correction de la grappe à laquelle appartient leur valeur de correction leur est attribuée. L'efficacité de cette méthode a été prouvée en utilisant les données de surveillance du bruit de Guangzhou en 2015.

Le SSPL reflète les attributs de la source sonore. Il est construit à partir du "modèle 2009, " et son expression est :

$$SSPL = 10 \times \text{Log} \left[ 10^{0,1L_{01} + \text{Log}\left(\frac{N_1}{V_1}\right)} + 10^{0,1L_{02} + \text{Log}\left(\frac{N_2}{V_2}\right)} + 10^{0,1L_{03} + \text{Log}\left(\frac{N_3}{V_3}\right)} \right] \quad (2.2)$$

$$L_{01} = 22 + 36,32 \times \text{Log}(V_1) \text{ (dB)} \quad (2.3)$$

$$L_{02} = 8,8 + 40,48 \times \text{Log}(V_2) \text{ (dB)} \quad (2.4)$$


$$L_{03} = 12,6 + 34,73 \times \text{Log}(V_3) \text{ (dB)} \quad (2.5)$$

Où,

$L_{01}$ ,  $L_{02}$  et  $L_{03}$  sont les termes de base de véhicules lourds, moyens, et légers respectivement ;

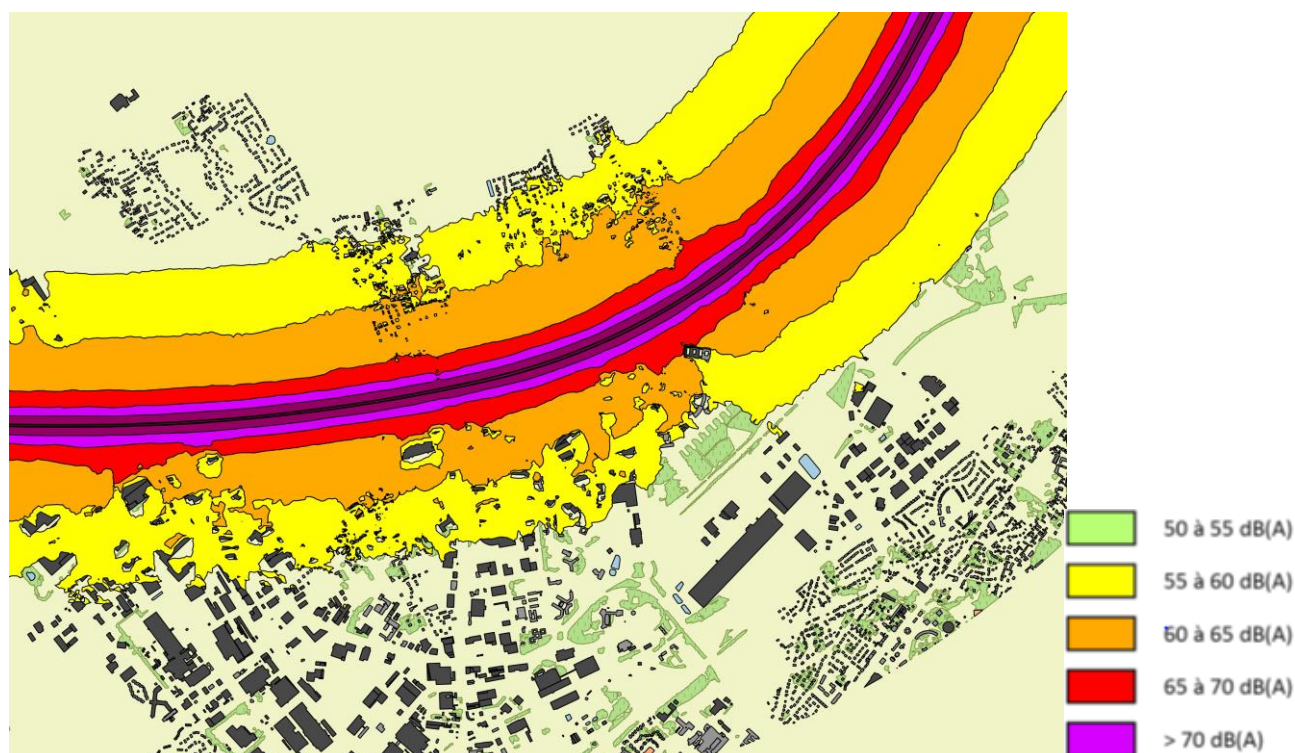
$N_1$ ,  $N_2$  et  $N_3$  sont les volumes horaires des véhicules lourds, moyens et légers ;

$V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  sont les vitesses des véhicules lourds, moyens et légers.

 Le CEREMA (2018) a réalisé la carte de bruit du réseau routier A71 du département du Cher (figure 2.9) à partir des données fournies par l'INSEE et COFIROUTE qui est une société concessionnaire d'automobile créée en 1970 et détenue majoritairement par le groupe Vinci [W<sub>15</sub>]. Les cartes ont été réalisées à l'aide du logiciel de prévision du bruit Mithra-SIG ® version 5 qui intègre les méthodes de calculs. Les résultats de cette étude montrent qu'aucun établissement d'enseignement, de soin et de santé n'est soumis au dépassement des valeurs limites des indicateurs Ln et Lden. Par contre, concernant la population, on note un dépassement des valeurs limites au niveau de 32 habitants pour l'indicateur Ln et de 72 habitants pour l'indicateur Lden. Une évaluation de la surface des bâtiments exposés au bruit de l'A71 a été également faite comme l'indique le tableau 2.1.

**Tableau 2.1** : Surfaces exposées au bruit de l'A71 [W<sub>15</sub>].

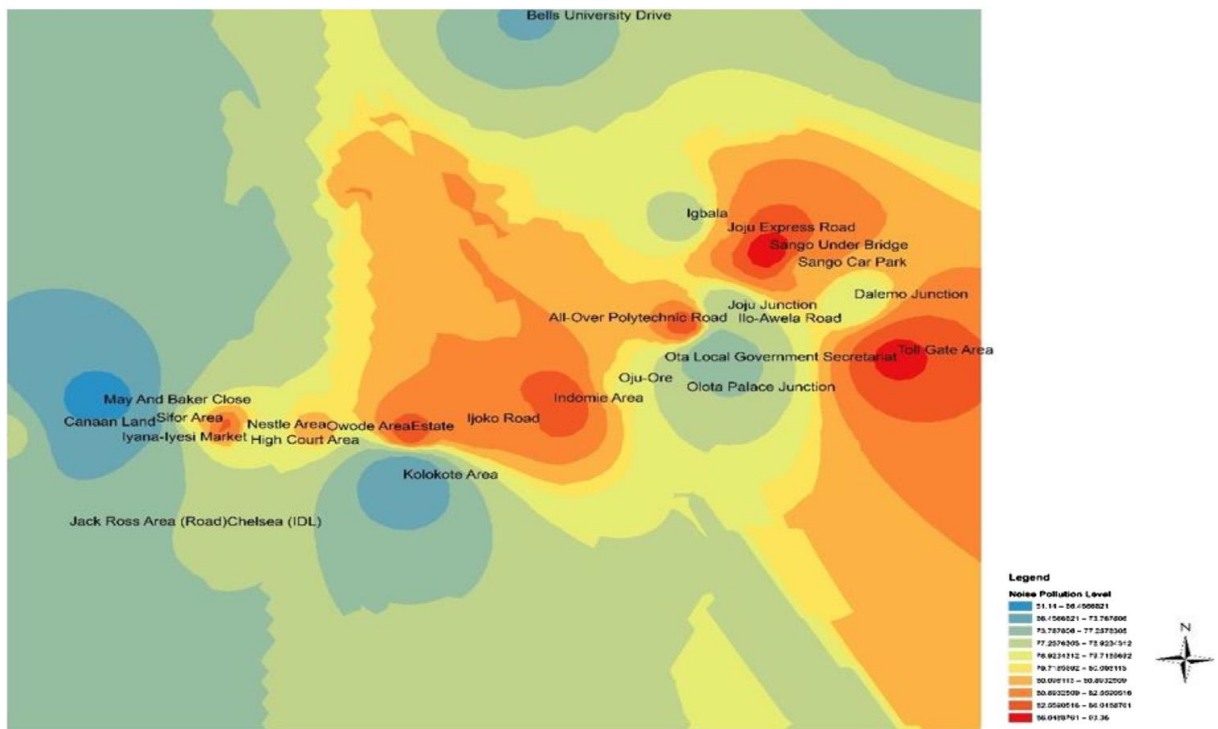
Lden en dBA	Surfaces exposées en (Km <sup>2</sup> )
≥ 55	49,3
≥ 65	12,2
≥ 75	2,1

**Figure 2.7** : Carte de bruit du réseau routier A71 du département du Cher [W<sub>15</sub>].

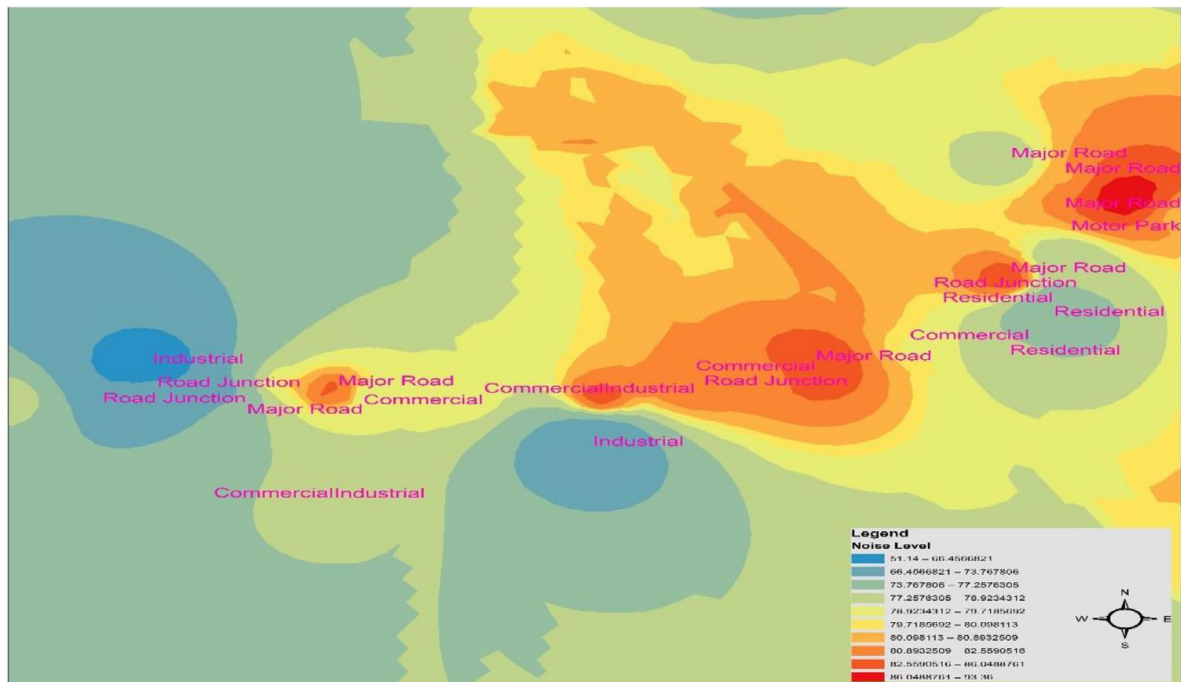
✚ Oyedepo S.O. et al. (2019) ont élaboré, par le truchement de leur article « A GIS – based method for assessment and mapping of noise pollution in Ota metropolis, Nigeria », la carte de bruit de la métropole d'Ota, l'une des principales villes du Sud-Ouest Nigéria [18]. Les instruments utilisés dans cette étude sont le sonomètre (Modèle 8922 RS232) et l'appareil GPS (Geographical Positioning System de modèle Magellan eXplorist 310) pour obtenir respectivement le niveau sonore exact du bruit ambiant et les coordonnées de chaque endroit où des relevés de niveau sonore ont été enregistrés. Le logiciel ArcGIS 10.5 a été utilisé pour développer la carte de bruit de cette métropole. Les relevés de bruit ont été mesurés à un intervalle de 30 minutes pour chaque site envisagé avec le sonomètre de précision tenu en main. La carte de bruit élaborée était

basée sur les valeurs calculées du bruit équivalent moyen (LAeq) pour les lieux sélectionnés. Les résultats de cette étude montrent que le niveau sonore pondéré A (LAeq), le niveau de bruit de fond (L10) et le niveau de bruit de crête (L90) varient selon le lieu et la période de la journée en raison des caractéristiques de la circulation, notamment le volume de la circulation, les klaxons des véhicules, les haut-parleurs montés sur les véhicules et les véhicules non silencieux aux carrefours, aux grands axes routiers, aux parcs automobiles et aux centres commerciaux. Il ressort de cette étude que seulement une (01) des 41 localités considérées est sous une situation normalement acceptable, tandis que 12 endroits sont sous une situation normalement inacceptable et que les niveaux de bruit des autres sont clairement inacceptables.

Les figures (2.8) et (2.9) ci-dessous montrent la cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d’Ota pendant deux différentes périodes de la journée.



**Figure 2.8 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d’Ota pour la période de l’après-midi [18].



**Figure 2.7 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la métropole d'Ota en période de soirée [18].

### Conclusion

Ce chapitre nous a renseigné sur les logiciels susceptibles d'être utilisés pour la réalisation des cartes de bruit en agglomération, sur les méthodes de leur conception et celles de leur mise à jour. Ces cartes peuvent être réalisées grâce aux mesures effectuées et ou aux prévisions obtenues après avoir fait des calculs. Du point de vue opérationnel, la réalisation des cartes de bruit sur la base exclusive des mesures est onéreuse mais elle demeure plus précise. C'est la recherche de cette précision qui nous a amené à choisir cette méthode pour la réalisation de la carte de bruit de la commune d'Abomey-Calavi qui ne dispose pas d'un tel outil de décision. Les moyens à utiliser pour concevoir une telle carte seront présentés et étudiés dans le chapitre suivant.

## Chapitre 3 : Méthodologie

### Introduction

Dans l'optique de mener à bien notre étude, il est apparu nécessaire de suivre une démarche appropriée pour aboutir à l'objectif assigné et aux résultats attendus. Cette démarche s'est appuyée sur trois axes essentiels, à savoir : la description du contenu des cartes de bruit, la présentation du domaine d'étude et celle de la méthodologie utilisée pour concevoir les cartes souhaitées. Toute la méthodologie décrite dans ce chapitre se base sur des normes européennes.

### 3.1 Contenu des cartes de bruit

#### 3.1.1 Indicateurs acoustiques utilisés

La valeur mesurée est le niveau sonore moyen pondéré A exprimé en dB(A) et estimé pour l'ensemble des mesures suivant trois (03) plages horaires : le jour (6h-18h), le soir (18h-22h) et la nuit (22h-6h) permettant ainsi d'obtenir respectivement les indicateurs Ld ou Level day, Le ou Level evening et Ln ou Level night [25]. Ces indicateurs sont évalués à une hauteur de quatre (04) mètres au niveau de la façade la plus exposée du bâtiment considéré et à deux (02) mètres de ce dernier [25], [W<sub>16</sub>]. Pour la réalisation des cartes de bruit, deux indicateurs ont été fixés par la Commission Européenne : le Lden et le Ln [1].

Le Lden ou Level day-evening-night est le niveau d'exposition au bruit moyenné pendant une journée type de 24 heures. Pour tenir compte des différences de sensibilité au bruit selon les périodes de la journée, une pondération de + 5 dB(A) est affectée au bruit émis en soirée (18h-22h) et une pondération de + 10 dB(A) est affectée au bruit émis la nuit (22h-6h) [25]. Cet indicateur [10] est calculé par la relation :

$$Lden = 10 \times \log \left[ \left( \frac{12}{24} \right) \times 10^{\frac{Ld}{10}} + \left( \frac{4}{24} \right) \times 10^{\frac{(Le+5)}{10}} + \left( \frac{8}{24} \right) \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}} \right] \quad (3.1)$$

Le Ln ou Level night est le niveau d'exposition au bruit moyenné pendant une nuit type de huit heures (22h-6h).

#### 3.1.2 Cartes à produire

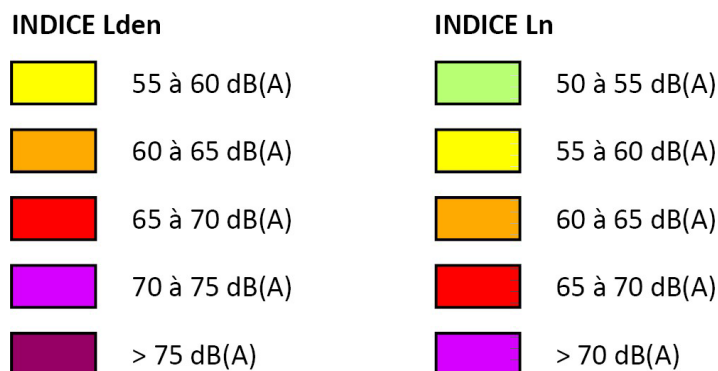
La cartographie du bruit peut être utilisée pour représenter l'état acoustique d'un espace. En effet, elle permet de transmettre sous forme graphique une quantité d'informations de façon plus explicite que celles fournies sous forme de textes ou de tableaux. Elle est, de ce fait, devenue un bon outil d'analyse, de décision et de sensibilisation.

L'ensemble des cartes est fourni au format .shp et on en distingue trois (03) types :

### Cartes d'exposition des populations (Cartes A)

Les cartes d'exposition des populations, également appelées cartes de type A, localisent les zones exposées au bruit, à l'aide de courbes isophones par pas de 5 dB(A) : de 55 dB(A) à plus de 75 dB(A) pour l'indice Lden et de 50 dB(A) à plus de 70 dB(A) pour l'indice Ln [25].

L'échelle des couleurs des isophones doit respecter la norme en vigueur (NF S31-130) pour l'établissement des cartes de bruit. Les courbes sont alors représentées grâce à l'échelle des couleurs indiquée sur la figure 3.1.



**Figure 3.1** : Echelle de couleurs utilisées pour les cartes A [W<sub>15</sub>].

### Cartes de dépassement des valeurs limites (Cartes C)

Les cartes de dépassement de seuil, aussi appelées cartes de type C, présentent les zones où les valeurs limites sont dépassées. L'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement définit des valeurs limites pour les sources routières à savoir 68 dB(A) pour l'indice Lden et 62 dB(A) pour l'indice Ln. Les courbes sont représentées grâce à l'échelle de couleurs indiquée sur la figure 3.2.



**Figure 3.2** : Echelle de couleurs utilisées pour les cartes C [W<sub>15</sub>].

### Cartes de classement sonore (Cartes B)

Les cartes de classement sonore, également appelées cartes de type B, présentent les secteurs affectés par le bruit de part et d'autre de la voie. Les secteurs affectés par le bruit représenté ne sont pas comparables avec les cartes de niveaux sonores. Elles sont issues d'une autre méthodologie de

calcul et n'ont pas les mêmes objectifs [W<sub>17</sub>]. Le classement sonore constitue un dispositif réglementaire préventif. Ces secteurs dépendent de la catégorie de la voie comme le montre le tableau 3.1.

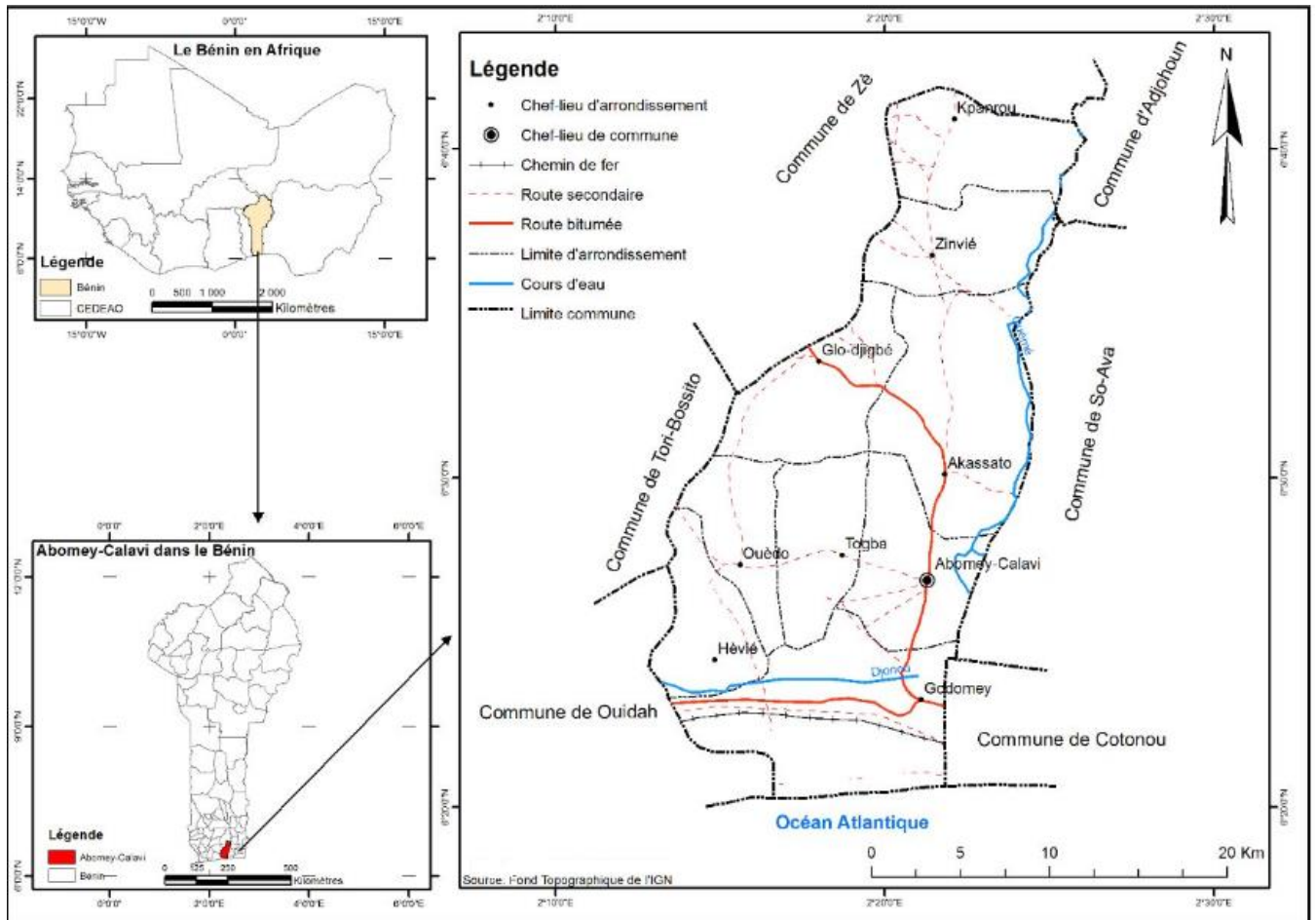
**Tableau 3.1** : Largeur des secteurs affectés par le bruit en fonction de la catégorie [W<sub>15</sub>].

Catégorie de l'infrastructure	Largeur maximale des secteurs affectés par le bruit de part et d'autre de l'infrastructure
1	300 m
2	250 m
3	100 m
4	30 m
5	10 m

### 3.2 Présentation du domaine d'étude

Notre étude s'est déroulée dans la commune d'Abomey-Calavi. Cette dernière est une ville du sud du Bénin, située dans le département de l'Atlantique. Elle est son propre chef-lieu. Située à 18 kilomètres au Nord de Cotonou, la capitale économique du Bénin, elle est comprise entre les parallèles 6°22' et 6°30' de latitude Nord et les méridiens 2°15' et 2°22' de longitude Est [2]. Avec une population de 656358 habitants en 2013 et une superficie de 639 km<sup>2</sup>, elle est la deuxième commune la plus peuplée du Bénin juste après Cotonou [4].

La carte de la figure 3.3 nous montre la situation géographique de la commune d'Abomey-Calavi.



**Figure 3.3 :** Situation géographique de la commune d'Abomey-Calavi.

### 3.3 Méthodologie employée

#### 3.3.1 Campagne de mesures

La campagne de mesures s'est déroulée du 02 avril 2020 au 28 avril 2020 dans la commune d'Abomey-Calavi, sur un total de 40 sites. Les mesures ont été faites à l'aide d'un sonomètre pour les intensités sonores et d'un portable android de marque Infinix NOTE 5 pour les coordonnées GPS des différents points de mesure grâce à l'application « mobile topographer ». Ces deux types de mesures sont faits successivement. Le sonomètre était tenu confortablement à la main, le microphone étant pointé vers la source de bruit comme le montre chacune des photos ci-après :



**Photo 3.1 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au centre de santé de Kpanroun.



**Photo 3.2 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au complexe scolaire Jean Piaget II.



**Photo 3.3 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour IITA.



**Photo 3.4 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au CEG Zinvié.



**Photo 3.5 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour Campus.



**Photo 3.6 :** Mesure de l'intensité sonore du bruit routier au carrefour Tankpè.

La durée de l'enregistrement du son varie de cinq (05) à dix (10) minutes par site de mesure. Quant aux coordonnées GPS, la durée de chaque mesure dépend du temps de réception des signaux satellitaires qui ont varié entre sept (07) minutes et quinze (15) minutes par site. Ces lieux de mesures qui se trouvent dans des endroits typiques sur le plan sonore et bien différenciables se présentent comme suit :

- douze centres de santé publics et privés situés au bord des voies principales à savoir : le centre de santé d'Akassato, le centre de santé de Calavi, le centre de santé de Glo-Djigbé, le centre de santé de Godomey, la polyclinique Biosso, la polyclinique Coopérative, le centre de santé de Hêvié, le centre de santé de Kpanroun, le centre de santé de Ouèdo, le centre de santé de Togba, le centre de santé de Zinvé et l'hôpital de zone d'Abomey-Calavi.

- dix établissements d'enseignement secondaire publics et privés situés au bord des voies principales que sont : le CEG<sub>1</sub> Abomey-Calavi, le CEG la Verdure, le CEG Zinvié, le CEG Kpanroun, le CEG Godomey, le Complexe Scolaire Sainte Thérèse, le Complexe Scolaire Jean Michel le Faucon, le Complexe Scolaire Jean Piaget II, SOS Abomey-Calavi et le CEG Zoca.

- dix-huit carrefours : le carrefour Hêvié, le carrefour Gbôdjè, le carrefour de la pharmacie Concorde, le carrefour Logoounkpa, le carrefour Séminaire, le carrefour du CEG Godomey, le carrefour de l'arrondissement de Godomey, le carrefour Houédonou, le carrefour IITA, le carrefour Campus, le carrefour Bidossessi, le carrefour Tankpè, le carrefour Kpota, le carrefour Ayitchédji, le

carrefour Arconville, le carrefour pavé Kérékou, le carrefour Missessinto et le carrefour haute tension (LIBS).

Ces différents sites de mesures sont indiqués sur la figure 3.4.



Figure 3.4 : Situation géographique des sites de mesures.

### 3.3.2 Outils utilisés pour la conception des cartes

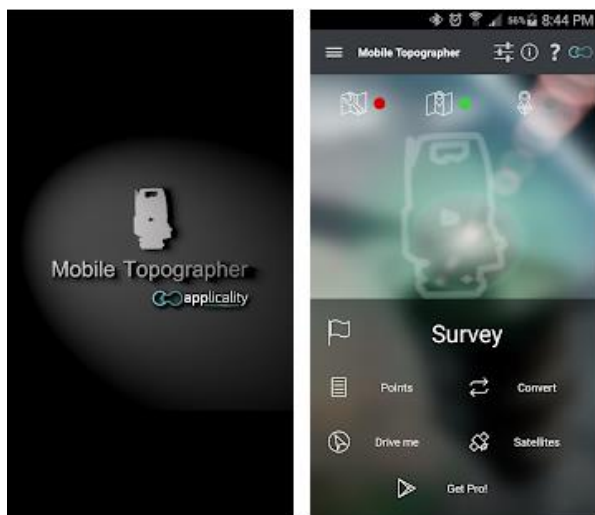
- **Instruments de mesures**

Les mesures des intensités sonores sont faites à l'aide du sonomètre de marque LANGLOIS SL-4001 présenté sur la photo 3.7.

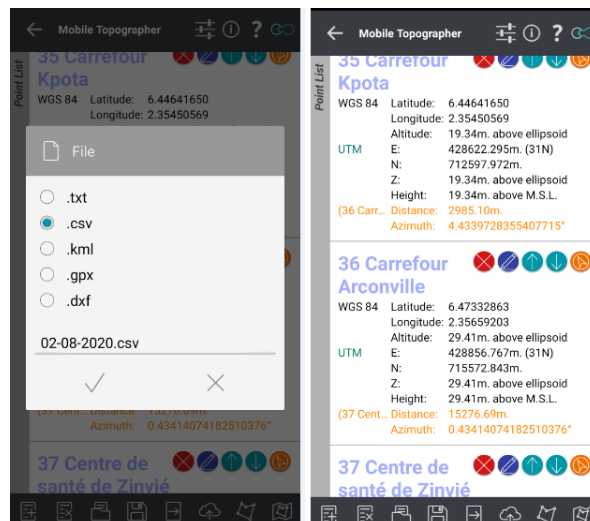


**Photo 3.7 :** Sonomètre de marque LANGLOIS SL-4001.

L'application « mobile topographer », installée sur le portable android de marque Infinix NOTE 5, a été utilisée pour obtenir les coordonnées GPS exactes de chaque endroit où des relevés de niveau sonore ont été enregistrés. Grâce à cette application, les relevés des latitudes, des longitudes et des altitudes ont été obtenus. Ces coordonnées géographiques ont été prises là où il n'y a aucune obstruction du signal. La photo 3.8 ci-dessous montre l'interface de cette application.



**Photo 3.8 :** Interface de l'application « mobile Topographeur ».

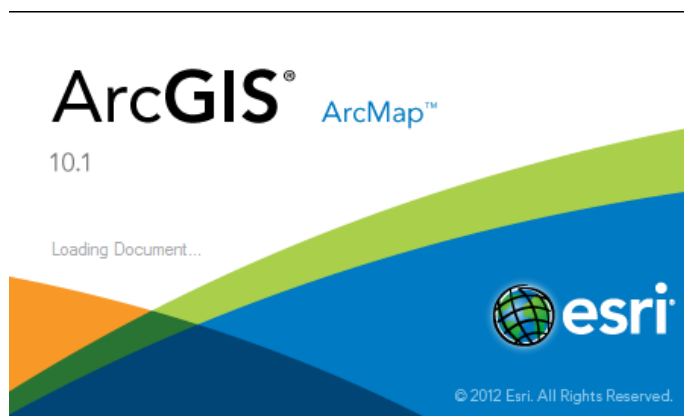


**Photo 3.9 :** Enregistrement des coordonnées géographiques.

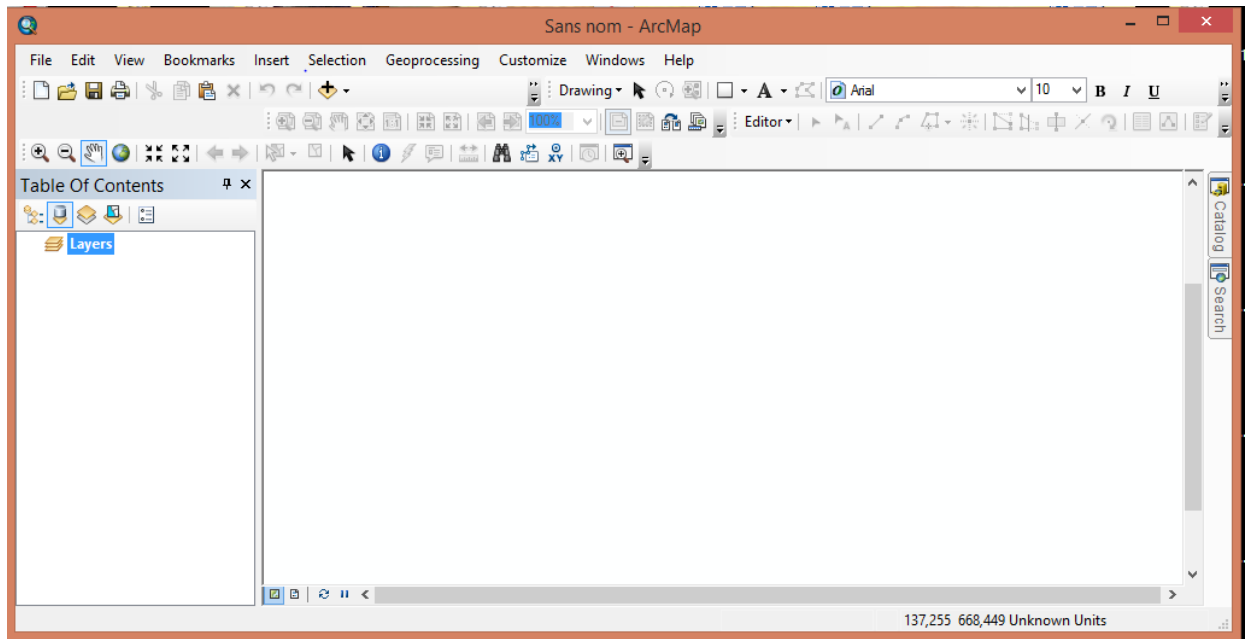
Chaque mesure réalisée est enregistrée avec une dénomination. Ainsi, l'ensemble des mesures est enregistré sous le format .csv comme l'indique la photo 3.9 ci-dessus. Cet enregistrement fait sous le format .csv permet de l'obtenir sous la forme d'un fichier Excel qui par la suite est transformé en fichier .shp avec le logiciel ArcGIS 10.1.

- **Logiciel utilisé : ArcGIS 10.1**

Ce logiciel utilisé pour faire notre étude a permis d'abord de convertir les données précédemment en fichiers Word et Excel en format shp. La photo 3.10 et la figure 3.5 montrent respectivement le logo et l'interface de ce logiciel.



**Photo 3.10 :** Logo du logiciel ArcGIS.



**Figure 3.5 :** Interface du logiciel ArcGIS 10.1.

Ensuite, les mesures n'étant pas faites sur toute la surface du domaine d'étude, la méthode d'interpolation spatiale IDW a été exploitée pour générer les informations aux points de l'espace non enquêtés. Cela a enfin permis la réalisation de la cartographie spatiale du bruit sur le domaine d'étude et son analyse en 2D.

### 3.4 Méthode d'évaluation des incertitudes

Les incertitudes évaluées sont celle de type A et l'incertitude-type composée. Cette dernière est appliquée à l'indicateur Lden tandis que l'incertitude de type A est appliquée aux indicateurs Ld, Le et Ln.

#### 3.4.1 Incertitude de type A

Cette incertitude se base sur le traitement statistique des mesures effectuées. Dans ce document, vu que la taille de l'échantillon est petite, la loi de Student a été utilisée pour le calcul des incertitudes de type A. L'équation ci-dessous est l'expression de l'incertitude de type A.

$$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} * t_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (3.2)$$

Avec :

$n$  : Taille de l'échantillon

$\sigma$  : Ecart-type expérimental

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

$\alpha$  : Niveau de signification de l'évaluation. Pour une confiance de 95 %, le niveau de risque ou de signification de l'évaluation est de 5 %,

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$  : t est la variable de Student avec n-1 degré de liberté

### 3.4.2 Incertitude-type composée

L'incertitude-type composée regroupe toutes les incertitudes de type A suivant la loi de propagation des incertitudes définie dans le guide international d'évaluation des incertitudes de mesures [26].

D'après la loi de propagation des incertitudes de mesures, l'incertitude-type composée sur le mesurande Lden est définie par la relation ci-dessous (équation 3.4) :

$$\Delta Lden = \left[ \left( \frac{\partial(Lden)}{\partial(Ld)} \times \Delta(Ld) \right)^2 + \left( \frac{\partial(Lden)}{\partial(Le)} \times \Delta(Le) \right)^2 + \left( \frac{\partial(Lden)}{\partial(Ln)} \times \Delta(Ln) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Avec :

$\Delta(Lden)$  : Incertitude type composée sur le mesurande Lden

$\Delta(Ld)$ ,  $\Delta(Le)$ ,  $\Delta(Ln)$  : Incertitudes de type A respectives aux variables Ld, Le et Ln

$\frac{\partial(Lden)}{\partial(Ld)}$ ,  $\frac{\partial(Lden)}{\partial(Le)}$ ,  $\frac{\partial(Lden)}{\partial(Ln)}$  : Coefficients de sensibilité du mesurande Lden relatifs respectivement aux variables Ld, Le et Ln.

En tenant compte de l'expression de l'indicateur Lden (équation 3.1), on a :

$$\frac{\partial(Lden)}{\partial(Ld)} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \times 10^{\frac{Ld}{10}}}{\frac{1}{2} \times 10^{\frac{Ld}{10}} + \frac{1}{6} \times 10^{\frac{(Le+5)}{10}} + \frac{1}{3} \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}}} \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial(Lden)}{\partial(Le)} = \frac{\left(\frac{1}{6}\right) \times 10^{\frac{(Le+5)}{10}}}{\frac{1}{2} \times 10^{\frac{Ld}{10}} + \frac{1}{6} \times 10^{\frac{(Le+5)}{10}} + \frac{1}{3} \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}}} \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial(Lden)}{\partial(Ln)} = \frac{\left(\frac{1}{3}\right) \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}}}{\frac{1}{2} \times 10^{\frac{Ld}{10}} + \frac{1}{6} \times 10^{\frac{(Le+5)}{10}} + \frac{1}{3} \times 10^{\frac{(Ln+10)}{10}}} \quad (3.7)$$

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la méthodologie des différentes mesures effectuées et de celle de l'utilisation du logiciel ArcGIS 10.1. Sa mise en œuvre nous a permis d'obtenir des résultats qui seront présentés dans le chapitre suivant, suivis de leur analyse et des difficultés rencontrées au cours de ce travail de recherche.

## Chapitre 4 : Résultats, analyse et difficultés rencontrées

### Introduction

Ce chapitre est le lieu pour nous de présenter les résultats des mesures, de procéder à l'analyse des données et de relever les difficultés rencontrées.

### 4.1 Résultats

#### 4.1.1 Coordonnées géographiques

Grâce à l'application « mobile topographer », les coordonnées des quarante (40) points de mesures ont été obtenues. Le tableau 4.1 ci-dessous nous renseigne sur ces coordonnées.

**Tableau 4.1** : Coordonnées géographiques des sites de mesures.

Points	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Carrefour LIBS	6.53880635	2.34348574	46.90
Carrefour Missessinto	6.51528066	2.36294689	25.89
Centre de santé d'Akassato	6.50865486	2.36328262	29.67
Carrefour pavé Kérékou	6.49451977	2.36125066	41.68
Polyclinique Biosso	6.39105395	2.34235109	27.17
Hôpital de zone d'Abomey-Calavi	6.47250860	2.34336357	36.96
CEG Zoca	6.46686257	2.35076608	37.43
Polyclinique Coopérative	6.45654235	2.35652336	22.86
Complexe scolaire J.M le Faucon	6.45533063	2.35561920	20.90
Complexe scolaire Ste Thérèse	6.45387679	2.35541636	19.94
Centre de santé d 'Abomey-Calavi	6.44836559	2.35339631	16.43
Carrefour Ayitchédji	6.45300093	2.33790525	26.31
Complexe scolaire Jean Piaget II	6.45499297	2.33165269	25.25
Centre de santé de Togba	6.46350987	2.30423284	15.91
Carrefour Somè	6.46340758	2.30160039	19.47
CEG la Verdure	6.45735394	2.28380576	20.40
Centre de santé de Ouèdo	6.45687737	2.25671590	18.17
Centre de santé de Hèvié	6.44315585	2.24666086	23.63
Carrefour Hèvié	6.39088644	2.27204646	11.50
Carrefour Gbôdjè	6.38669132	2.28692891	6.55
Carrefour Pharmacie Concorde	6.38815242	2.30002245	14.02
Carrefour Platinium	6.38888719	2.31309336	11.32
Carrefour Séminaire	6.38793361	2.32138892	10.49

Carrefour CEG Godomey	6.38041710	2.34094027	14.71
CEG Godomey	6.38056767	2.34064891	11.54
Carrefour Arrondissement Godomey	6.38482191	2.34704675	7.93
Centre de santé de Godomey	6.38978778	2.34615836	10.85
Carrefour Houédonou	6.39371981	2.34674178	11.83
Carrefour Tankpè	6.42391826	2.32061858	25.58
Carrefour IITA	6.40551577	2.34191153	9.02
Carrefour Campus	6.41333995	2.34510296	15.09
Carrefour Bidossessi	6.42801426	2.34980399	7.84
SOS Village des enfants	6.44068667	2.35315667	13.00
CEG1 Abomey-Calavi	6.44111660	2.35325442	11.68
Carrefour Kpota	6.44641650	2.35450569	19.34
Carrefour Arconville	6.47332863	2.35659203	29.41
Centre de santé de Zinvié	6.61146440	2.35763877	46.57
Centre de santé de Kpanroun	6.67527809	2.36489057	42.65
CEG Kpanroun	6.67117522	2.36260299	62.57
CEG Zinvié	6.60813227	2.35861933	40.91
Centre de santé de Glo-Djigbé	6.55839052	2.30318292	46.71

#### 4.1.2 Intensités sonores

Au total, quatre cent quatre-vingt (480) mesures ont été prises à raison de quatre (04) séries de mesures par site pour chacune des trois plages horaires énoncées au chapitre 3 et correspondant à chacun des trois indicateurs (Ld, Le et Ln). Pour chaque série de mesures, une valeur minimale et une valeur maximale sont relevées au niveau de chaque site. La moyenne de ces deux (02) valeurs constitue la valeur d'une mesure. La valeur de chaque indicateur par site est obtenue en faisant la moyenne des quatre valeurs issues des quatre (04) séries de mesures (Tableaux A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> en annexe). La valeur de l'indicateur Lden (Tableau A<sub>4</sub> en annexe) est obtenue en effectuant le calcul conformément à l'équation (3.1). Les incertitudes de ces différents indicateurs ont été également calculées en exploitant l'équation (3.2) pour les indicateurs Ld, Le et Ln, et l'équation (3.4) pour l'indicateur Lden.

Les valeurs moyennes obtenues pour les indicateurs Ln et Lden nous ont permis de tracer les courbes ci-dessous des figures 4.1 et 4.2. Ces dernières montrent que les intensités sonores relevées aux différents sites de mesures varient clairement pendant la nuit ou pendant une journée entière.

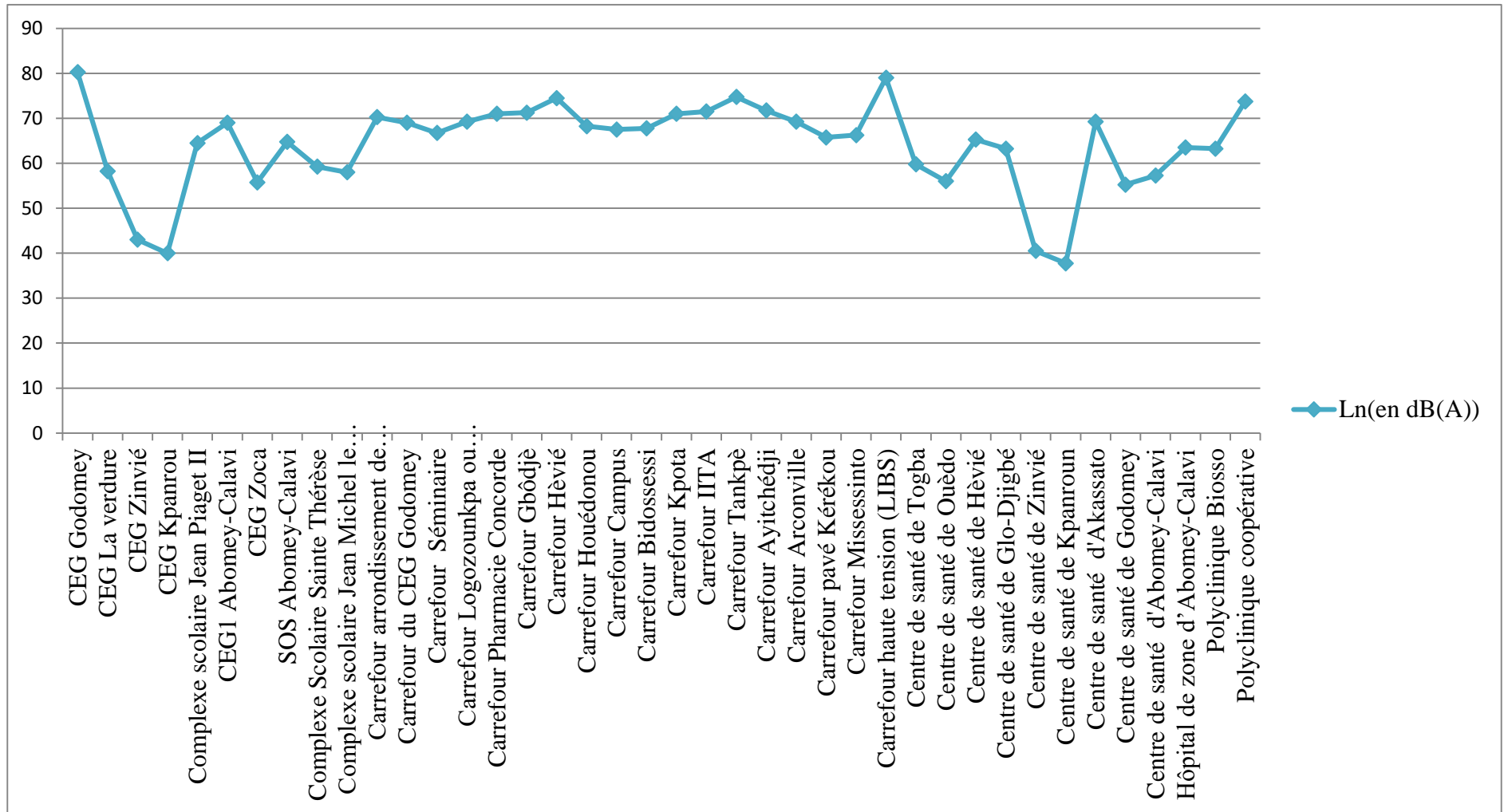


Figure 4.1 : Valeurs de l'indicateur Ln aux différents sites de mesures.

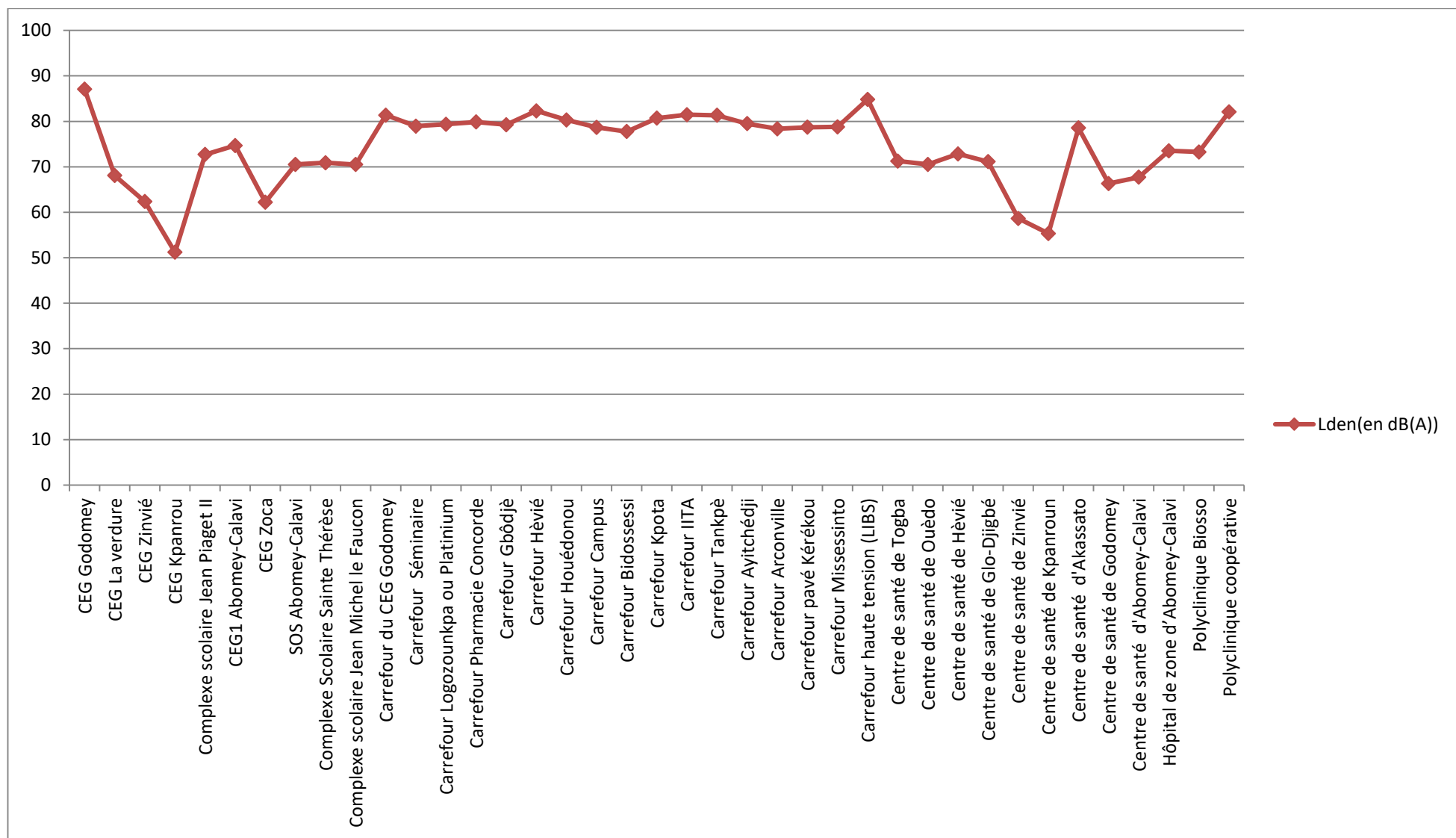
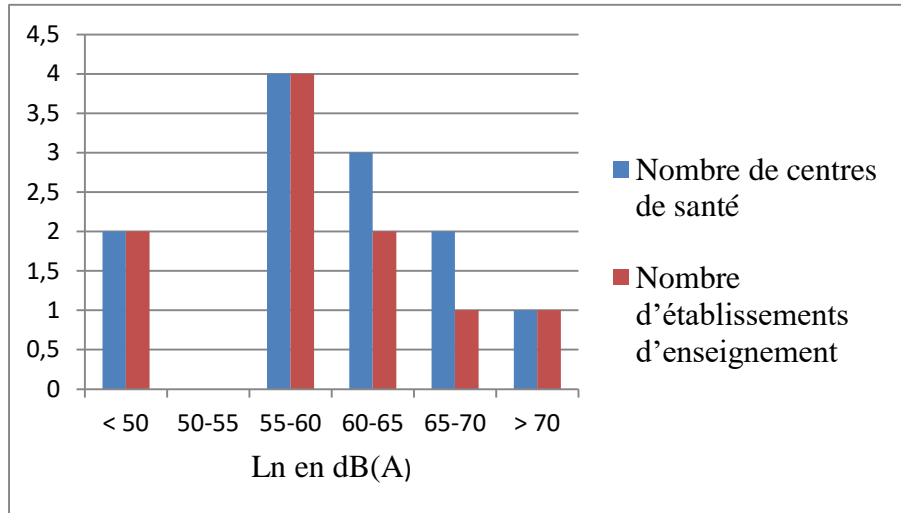


Figure 4.2 : Valeurs de l'indicateur Lden aux différents sites de mesures.

### 4.1.3 Estimations des expositions au bruit

Grâce aux valeurs moyennes des indicateurs Ln et Lden, les estimations des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit sont faites (Tableaux A5 et A6).

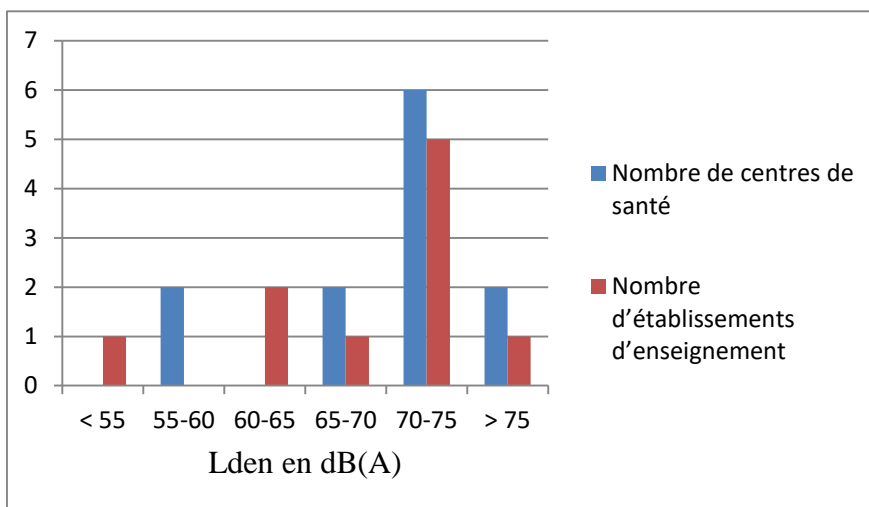
La figure 4.3 renseigne sur les estimations relatives à la valeur moyenne de l'indicateur Ln.



**Figure 4.3 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour la valeur moyenne de l'indicateur Ln.

Nous remarquons que deux (02) centres de santé et deux (02) établissements d'enseignement sont exposés à des intensités sonores inférieures à 50 dB(A) tandis qu'un (01) centre de santé et un (01) établissement d'enseignement sont soumis aux intensités sonores supérieures à 70 dB(A).

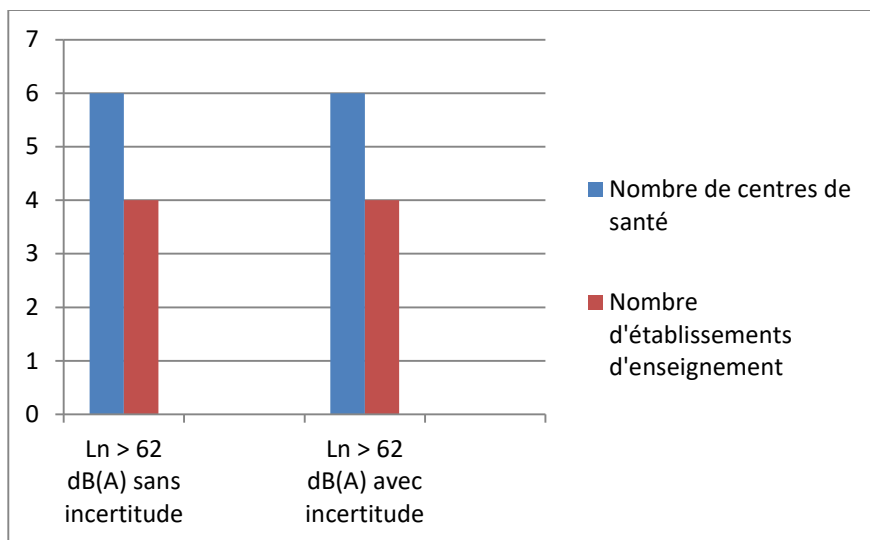
La figure 4.4 renseigne sur les estimations relatives à la valeur moyenne de l'indicateur Lden.



**Figure 4.4 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour la valeur moyenne de l'indicateur Lden.

Cette figure montre qu'il ya seulement un site de mesure (le centre de santé de Kpanroun) où l'intensité sonore est inférieure à 50 dB(A) et qu'il ya plus de sites exposés aux intensités sonores comprises entre 70 dB(A) et 75 dB(A).

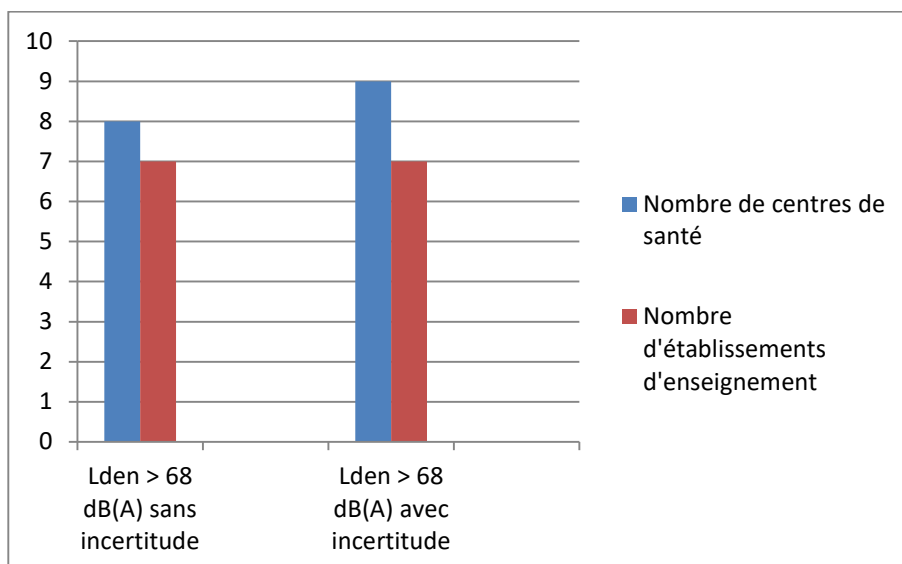
La figure 4.5 renseigne sur les estimations relatives aux dépassements de la valeur limite de l'indicateur Ln.



**Figure 4.5 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour les dépassements de la valeur limite de l'indicateur Ln.

Ce résultat montre que, sans tenir compte des incertitudes, il y a des dépassements de la valeur limite de l'indicateur Ln au niveau de six (06) centres de santé et de quatre (04) établissements d'enseignement. Ces nombres demeurent également les mêmes lorsque nous tenons compte des incertitudes.

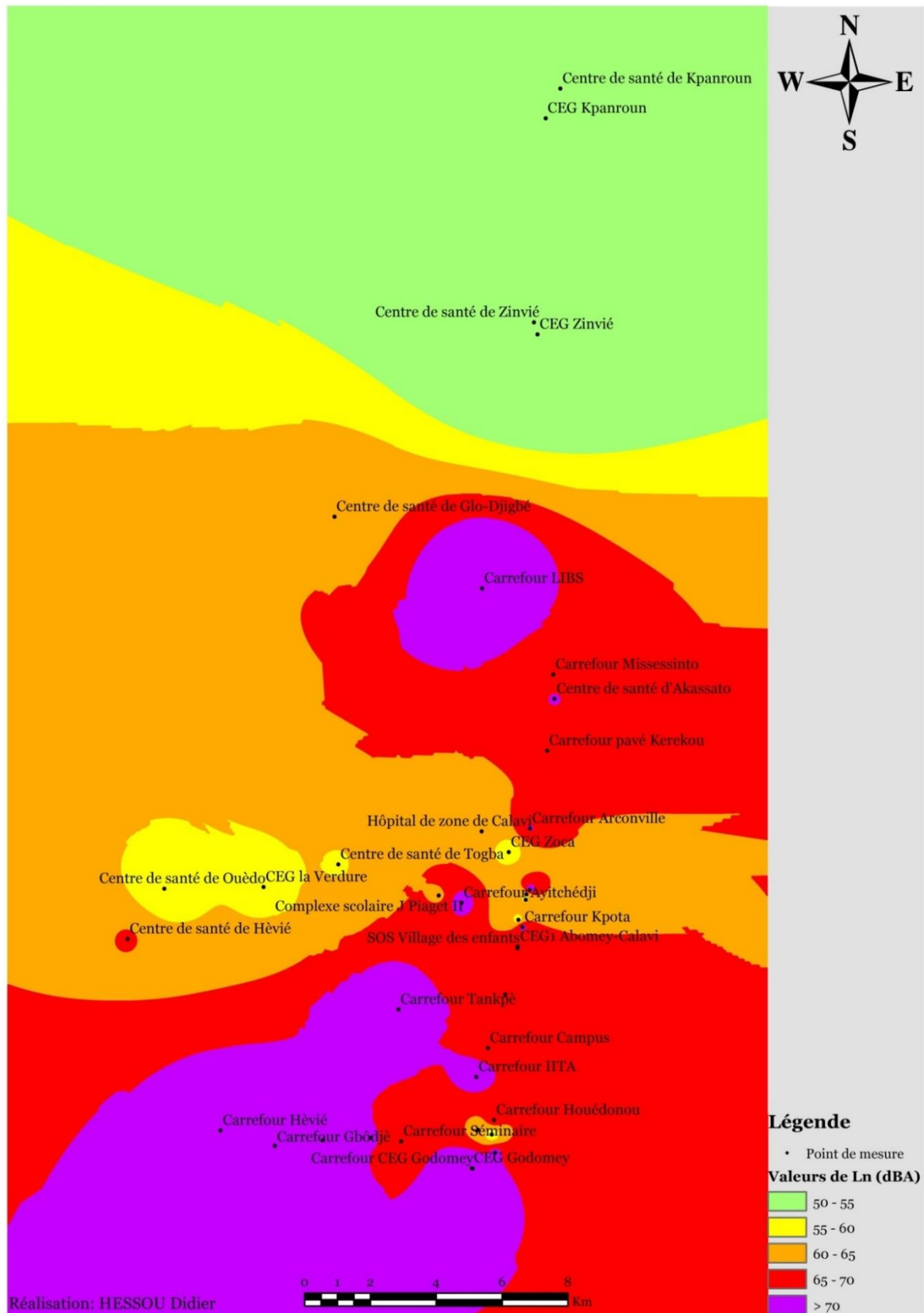
La figure 4.6 ci-dessous renseigne sur les estimations relatives aux dépassements de la valeur limite de l'indicateur Lden. Elle nous montre que le nombre de centres de santé dépassant la valeur limite de 68 dB(A) pour cet indicateur passe de huit (08) à neuf (09) tandis que celui des établissements d'enseignement demeure sept (07) lorsque nous tenons compte des incertitudes.



**Figure 4.6 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour les dépassements de la valeur limite de l'indicateur Lden.

#### 4.1.4 Cartes obtenues

Le logiciel ArcGIS 10.1 a été exploité dans cette étude pour élaborer la carte de bruit de la commune d'Abomey-Calavi. Grâce à ce logiciel, la méthode d'interpolation par pondération inverse des distances (IDW) a été utilisée. Cette méthode a permis d'estimer les intensités sonores du bruit routier aux endroits où elles n'ont pas été mesurées. Ainsi, les deux (02) cartes d'exposition des populations (figures 4.7 et 4.8) et les deux (02) cartes de dépassement des valeurs limites (figures 4.9 et 4.10) ont été réalisées.



**Figure 4.7 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période de **nuit**.

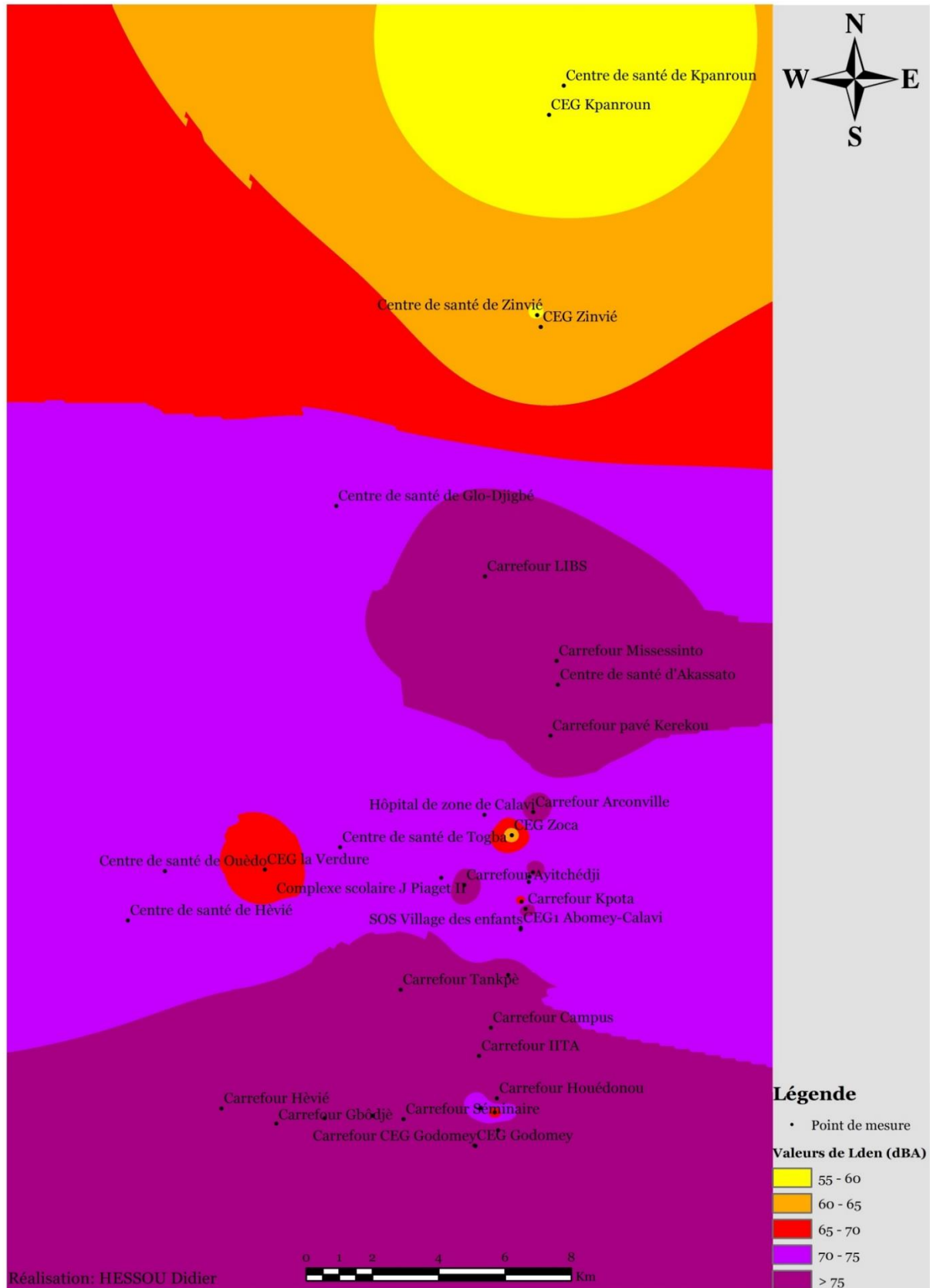


Figure 4.8 : Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période d'une **journée entière**.



**Figure 4.9 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit limites dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période de **nuit**.



**Figure 4.10 :** Cartographie des variations spatiales des niveaux de bruit limites dans la commune d'Abomey-Calavi pour la période d'une **journée entière**.

## 4.2 Analyse des cartes

De l'analyse de la carte de la figure 4.7, il ressort de la distribution spatiale de l'intensité sonore du bruit routier pendant la période de la nuit que le Nord de la commune d'Abomey-Calavi est la zone la plus calme avec une intensité située entre 50 dB(A) et 55dB(A). Cela peut s'expliquer par la faible fréquentation de la voie routière principale traversant cette partie de la commune. Cette situation évitera aux usagers des centres de santé des arrondissements de Zinvié et de Kpanroun des désagréments liés aux bruits routiers nocturnes. Par contre, l'intensité sonore est assez élevée dans le Sud de la commune notamment aux différents carrefours situés sur les tronçons Cotonou-Lomé et Cotonou-Parakou où elle atteint une valeur supérieure à 65 dB(A) exposant ainsi les habitants situés aux abords de ces voies inter-Etats aux effets nuisibles du bruit. Deux des centres de santé de cette zone (le centre de santé de l'arrondissement de Godomey et la polyclinique Biosso) connaissent une situation un peu plus calme, surtout au niveau du centre de santé de Godomey. En ce qui concerne la polyclinique Biosso, l'intensité est plus élevée à cause de l'importance du flux de circulation. Au centre de la commune, on note une diversité de tendance des niveaux sonores allant d'une situation relativement calme (de 55 dB(A) à 60 dB(A)) à une situation assez bruyante de près de 70 dB(A). Sur les huit (08) centres de santé situés dans cette zone, on a seulement trois (les centres de santé des arrondissements de Ouèdo, de Togba et d'Abomey-Calavi) où les intensités sonores sont comprises entre 55 dB(A) à 60 dB(A). Ces valeurs moins élevées se justifient par le fait que les bâtiments soient un peu éloignés de la voie mais aussi parce que la partie de la double voie située du côté du centre de santé de Ouèdo ne soit pas opérationnelle lors de nos mesures. L'hôpital de zone d'Abomey-Calavi et le centre de santé de Glo-Djigbé connaissent une situation légèrement bruyante que les trois précédents établissements de soin. Ensuite, le centre de santé de Hèvié suit avec une intensité plus importante due surtout à la proximité du bâtiment cible avec la voie. Quant au centre de santé d'Akassato et à la polyclinique Coopérative, les intensités sonores sont les plus élevées à cause non seulement de leur situation géographique mais surtout de leur grande proximité avec la voie inter-Etat Cotonou-Parakou. Ce qui n'est pas le cas au niveau du centre de santé de Glo-Djigbé. Tous les carrefours sont assez bruyants avec des intensités sonores comprises entre 65 dB(A) et 80 dB(A).

La carte de la figure 4.8, issue de la répartition spatiale des intensités sonores du bruit routier pendant une journée entière, montre que le Nord de la commune d'Abomey-Calavi est la zone la plus calme. Par ordre croissant d'intensité sonore, on a d'abord la zone de Kpanroun suivie ensuite de celle de Zinvié et enfin de la zone située entre Zinvié et Glo-Djigbé. Les usagers des deux centres de santé et des deux établissements d'enseignement de cette partie de la commune sont moins exposés au bruit routier. Par contre, le Centre et le Sud de la commune sont exposés à des

intensités sonores assez élevées variant entre 70 dB(A) et plus 75 dB(A), une situation justifiable par la présence des voies inter-Etats et susceptible de créer des dommages sanitaires aux usagers des établissements de soin et d'enseignement qui s'y trouvent sans oublier la population riveraine de ces artères. A l'exception du CEG Zoca où on a une valeur située dans la tranche 55 dB(A) – 60 dB(A), tous les sept autres établissements d'enseignement et les dix autres centres de santé connaissent une situation sonore de plus de 65 dB(A). De même, tous les carrefours sont exposés à une intensité sonore de plus de 75 dB(A).

De la carte de la figure 4.9, nous remarquons que, pour cet indicateur nocturne de bruit, toute la zone septentrionale de la commune est calme. Malgré cette période de la journée, on note un dépassement de la valeur limite des intensités sonores dans le reste du domaine d'étude à l'exception des quatre établissements d'enseignement que sont le CEG Zoca, le CEG la Verdure, le complexe scolaire Sainte Thérèse et le complexe scolaire Jean Michel le Faucon et des quatre centres de santé des arrondissement de Togba, de Ouèdo, d'Abomey-Calavi et de Godomey.

Quant à la carte de la figure 4.10, elle montre que toute la zone septentrionale de la commune est calme contrairement au reste du domaine d'étude où les intensités sonores sont supérieures à 68 dB(A) sauf au niveau du CEG Zoca et du centre de santé de l'arrondissement de Godomey.

### 4.3 Difficultés rencontrées

Nos travaux n'ont pas été effectués sans difficultés. L'accès à certains centres de santé pour prendre les mesures dans la tranche horaire 22h-06h nous a été difficile car les responsables desdits centres n'acceptaient pas être réveillés au-delà de minuit. Nous avons même été renvoyés par certains d'entre eux malgré la détention d'une autorisation d'accès aux centres délivrée par le médecin coordonnateur de la zone sanitaire Abomey-Calavi/Sô-Ava. Par ailleurs, disposant d'un unique sonomètre, nous n'avons pu avoir qu'une seule équipe pour effectuer toutes les séries de mesures au niveau des sites retenus. Aussi, faut-il préciser que le manque de données relatives à la densité de la population au niveau des sites de mesures ne nous a pas permis de faire une bonne estimation des populations exposées au bruit.

### Conclusion

La campagne de mesures, qui a duré vingt-sept (27) jours (du 02 avril 2020 au 28 avril 2020), nous a conduit à des valeurs dont l'exploitation a permis d'avoir des résultats. De ces résultats, nous notons que les niveaux sonores varient, de façon générale, selon le lieu et la période de la journée à l'exception de la partie septentrionale du domaine d'étude qui demeure la zone la plus calme quels que soient les indicateurs acoustiques considérés. Seulement cinq (05) des quarante (40) sites considérés, à savoir les deux sites de Zinvié, les deux sites de Kpanroun et le CEG Zoca sont sous une situation acceptable. Ainsi, les usagers de ces lieux restent sans dangers face aux bruits routiers. Par contre, les riverains de tous les carrefours ciblés et les usagers du centre de santé

d'Akassato et de la polyclinique Coopérative sont exposés aux effets nuisibles de ces bruits car leurs niveaux sonores y sont assez élevés. Parmi les établissements d'enseignement ciblés, seul le CEG Godomey reste dans une situation déplorable.

### Conclusion générale et perspectives

La cartographie du bruit à l'aide d'un logiciel est un outil utile pour analyser la situation sonore d'une zone urbaine. Un système de cartographie du bruit constitué d'un sonomètre, d'un récepteur GPS et du logiciel ArcGIS, utilisant les intensités sonores mesurées et les données GPS est exploité pour produire la carte du bruit d'Abomey-Calavi basée sur les bruits du trafic routier. Les cartes obtenues montrent que :

- les intensités sonores dépendent des situations géographiques des sites de mesures et de la période de la journée ;
- la zone la plus calme de la commune est la zone septentrionale donc la population de cette partie de la commune et les usagers des quatre sites qui s'y trouvent sont moins exposés aux effets néfastes du bruit ;
- la zone la plus bruyante est la zone méridionale traversée par des voies inter-Etats ;
- les populations du sud et du centre de la commune sont plus exposées aux nuisances sonores ;
- le CEG Godomey connaît une situation sonore inacceptable ;
- les riverains de tous les carrefours, qui sont assez bruyants, sont également exposés aux nuisances sonores.

D'après l'article 86 de la loi n°98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement en république du Bénin, des dispositions doivent être prises pour éviter l'émission de bruit susceptible de causer une gêne excessive à la nature, d'incommoder la population ou nuire à sa santé [3]. C'est pour cette raison que cette étude devrait servir à contrôler la pollution sonore due à la circulation routière dans la commune d'Abomey-Calavi afin de permettre à la population de vivre dans un environnement sonore sain. Pour ce faire, la première action à mener consistera à sensibiliser la population. Cette sensibilisation a pour objectif de rappeler à chacun que la qualité de l'environnement sonore est en grande partie une question de comportement, qu'il peut tour à tour être gêneur, et gêné et que le bruit est l'affaire de tous, individus et collectivités. Après cette phase de sensibilisation, il faut agir. Cette action a pour but d'améliorer l'environnement sonore en priorisant la suppression ou l'atténuation des sources de bruit routier, à travers l'aménagement de l'espace public, le développement des mobilités durables et d'amélioration des véhicules. Il s'agira de :

- limiter le trafic et la vitesse des véhicules sur les routes et autoroutes par des dispositions réglementaires et/ou des aménagements de voirie ;

- réduire le bruit de contact pneumatique/chaussée par l'emploi de revêtement routier absorbant ;
- limiter le nombre de véhicules lourds et insonoriser les moteurs ;
- disposer de réseaux de transport routiers en tranchée enterrée couverte ou semi-enterrée ;
- utiliser des écrans antibruits (absorbants ou réfléchissants) correctement implantés ou dimensionnés qui laissent augurer des gains de 15dB(A) au maximum ;
- respecter les limitations de vitesse en ville (au-delà de 50 km/h, le bruit de roulement devient prédominant) ;
- multiplier les "zones 30" et d'interdire rigoureusement la circulation à des heures données à certaines catégories de véhicules telles que les véhicules poids lourds.

Pour le cas spécifique du CEG Godomey, seul établissement d'enseignement à être à un carrefour aussi stratégique, nous suggérons qu'il soit déplacé vers un autre site plus calme, et que celui qu'il occupe présentement soit transformé en une galerie marchande.

Afin de compléter au mieux notre étude dans l'élaboration de la carte de bruit de la commune d'Abomey-Calavi, nous suggérons la prise en compte d'autres données :

- le volume du trafic ;
- la vitesse des véhicules ;
- l'allure des véhicules ;
- la rampe ou le profil en long ;
- la nature du revêtement de chaussée ;
- l'émission sonore d'infrastructure industrielle.

Références bibliographiques

- [1] PARLEMENT EUROPEEN, CONSEIL EUROPEEN, « Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement », Journal Officiel des Communautés Européennes, n°189 du 18 juillet 2002, 14 p.
- [2] Benin, « Décret N°2001-294 du 08 Aout 2001 portant réglementation du bruit en République du Bénin », Aout-2001.
- [3] Benin, « Loi n°98-030 du 12/02/1999 portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin », 1999.
- [4] GROUPEMENT ECOPLAN -TRIOMPHE AFRIQUE, « PDC3\_Abomey-Calavi ».
- [5] R. Lamoral, « Problèmes d'acoustique des salles et des studios », 189 p. Edition Chiron, Chiron. Paris, 1967.
- [6] J.-C. Pascal, « Vibrations et acoustique 1 », ENSIM 2A., vol. 1. FRANCE, 2007.
- [7] Cathérine Potel et M. Bruneau, « Acoustique générale. Equations différentielles et intégrales, solutions en milieux fluides et solides, applications », Ellipses; 2è édition. Université du Maine, 2006.
- [8] S. Léwy, « Acoustique industrielle et aéroacoustique », 560 p., Hermes Science Publications. Paris, 2001.
- [9] Xavier V., « Cours d'acoustique et mécanique ondulatoire », I.U.P. GDP Option GET, 2012 2013.
- [10] S. Pujol, « Le bruit environnemental en milieu urbain: exposition d'une population d'enfants et performances scolaires », 205 p., 2012.
- [11] B. Grehant, « Acoustique et Bâtiment », Paris 11 rue Lavoisier, 1994.
- [12] C. S. DIALLO, « Cartographie des caractéristiques physiques et chimiques des nappes d'eau souterraine du sud ouest du BURKINA FASO », 79 p., 2008.
- [13] P. Alina, T. Claudia, F. Ricardo Gey, N. Florin, et I. Oana, « Noise prediction, calculation and mapping using specialized software », *j. eng. stud. res.*, vol. 21, n° 3, août 2016.
- [14] Tomozei, C., Panainte, M., Lazar, G., Nedeff, F., Nedeff, V., « Reducerea poluării fonice în mediul industrial, Alma Mater Bacau », p. 132-137, 2014.
- [15] Kaliski, K., Duncan, E., Cowan, J., « Community and Regional Noise Mapping in the United States, Sound and Vibration », p. 14-17, 2007.
- [16] Hadzi-Nikolova M., Mirakovski D., Delipetrov T., Arsov P., « Noise Dispersion Modelling in Small Urban Areas with CUSTIC 3.2 Software », International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, p. 84-88, 2012.
- [17] Martínez, E.; Recuero, M., « Comparison of Computer Software for External Noise Prediction », 19<sup>th</sup> International Congress on Acoustics Madrid, 2-7 September 2007.

- [18] S. O. Oyedepo *et al.*, « A GIS – based method for assessment and mapping of noise pollution in Ota metropolis, Nigeria », *MethodsX*, vol. 6, p. 447-457, 2019.
- [19] D. S. Cho, J. H. Kim, et D. Manvell, « Noise mapping using measured noise and GPS data », *Appl. Acoust.*, vol. 68, n° 9, p. 1054-1061, sept. 2007.
- [20] P. Mioduszewski, J. A. Ejsmont, J. Grabowski, et D. Karpiński, « Noise map validation by continuous noise monitoring », *Appl. Acoust.*, vol. 72, n° 8, p. 582-589, juill. 2011.
- [21] M. Szczodrak, J. Kotus, B. Kostek, et A. Czyżewski, « Creating Dynamic Maps of Noise Threat Using PL-Grid Infrastructure », *Arch. Acoust.*, vol. 38, n° 2, p. 235-242, juin 2013.
- [22] T. Liu, Y. Zheng, L. Liu, Y. Liu, et Y. Zhu, « Methods for Sensing Urban Noises », p. 4, 2014.
- [23] Liu, L., and Zhu, Y., iCal, « Intervention-free calibration for measuring noise with smartphones », Submitted to *Globecom*, 2014.
- [24] M. Cai, Y. Yao, et H. Wang, « A traffic-noise-map update method based on monitoring data », *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 141, n° 4, p. 2604-2610, avr. 2017.
- [25] CERTU, « Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération – Mettre en œuvre la directive 2002/49/CE ». 120p.
- [26] JCGM 100 : 2008, « Evaluation des données de mesure – Guide pour l’expression de l’incertitude de mesure », 132p, 2008.

### Webographies

- [W<sub>1</sub>] [http://www.isere.gouv.fr/content/download/10676/69998/file/Generalites sur le bruit.pdf](http://www.isere.gouv.fr/content/download/10676/69998/file/Generalites%20sur%20le%20bruit.pdf), consulté le 07/07/20 à 22 h 55 min 36 s.
- [W<sub>2</sub>] [https://environnement.brussels/sites/default/files/user\\_files/vademecum\\_f10\\_tech\\_fr.pdf](https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f10_tech_fr.pdf), consulté le 04/09/2020 à 00 h 46 min 42 s.
- [W<sub>3</sub>] [http://www.isere.gouv.fr/content/download/10678/70006/file/les effets du bruit sur la santé.pdf](http://www.isere.gouv.fr/content/download/10678/70006/file/les%20effets%20du%20bruit%20sur%20la%20sant%C3%A9.pdf), consulté le 07/07/20 à 20 h 39 min 11 s.
- [W<sub>4</sub>] [http://download.woelfel.de/fileadmin/ftp/Downloads/IMMI\\_Downloads/Datenblaetter\\_Englisch/IMMI\\_product\\_information.pdf](http://download.woelfel.de/fileadmin/ftp/Downloads/IMMI_Downloads/Datenblaetter_Englisch/IMMI_product_information.pdf), consulté le 05/09/20 à 22 h 08 min 29 s.
- [W<sub>5</sub>] <https://www.01db.com/fr/nos-solutions/nos-produits/logiciel-prevision-du-bruit-en-exterieur/> consulté le 31/08/20 à 01 h 15 min 48 s.
- [W<sub>6</sub>] <http://www.bksv.com/Products/EnvironmentManagementSolutions/Noise%20Mapping%20and%20Prediction/predictor-lima-7810>, consulté le 05/09/20 à 01 h 11 min 32 s.

- [W<sub>7</sub>] <http://www.bruel.hu/doksik/bp1602combined.pdf> “Product Data: Predictor-LimA Software Suite Type 7810 (bp1602)”, consulté le 03/09/20 à 22 h 33 min 01 s.
- [W<sub>8</sub>] <http://www.bksv.com/Products/EnvironmentManagementSolutions/Noise%20Mapping%20and%20Prediction/acoustic-determinator-7816>, consulté le 03/09/20 à 22 h 48 min 11 s.
- [W<sub>9</sub>] <http://geomod.fr/gmd-societe/gt-accueil/gt-logiciels/gt-log-mithra-suite/gt-log-mithra-sig/>, consulté le 15/03/20 à 21 h 10 min 02 s.
- [W<sub>10</sub>] <https://logiciels.cstb.fr/sante-confort/acoustique-environmentale-et-urbaine/mithrasig/>, consulté le 14/09/20 à 19 h 50 min 52 s.
- [W<sub>11</sub>] <http://www.soundplan.eu/english/soundplan-acoustics/>, consulté le 14/03/20 à 21 h 42 min 22s.
- [W<sub>12</sub>] <http://www.acoustics.gr/SoundPlan.pdf>, consulté le 14/03/20 à 21 h 45 min 15 s.
- [W<sub>13</sub>] <http://www.euphonia.fr/SoundPLAN/Brochure-SoundPLAN.pdf>, consulté le 31/08/2020 à 00h 19 min 31 s.
- [W<sub>14</sub>] <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>, consulté le 05/04/20 à 20 h 55 min 24 s.
- [W<sub>15</sub>] [https://www.cher.gouv.fr/content/download/21491/151288/file/Resume\\_non\\_technique\\_A71\\_Cofiroute.pdf](https://www.cher.gouv.fr/content/download/21491/151288/file/Resume_non_technique_A71_Cofiroute.pdf), consulté le 24/02/20 à 00 h 25 min 12 s.
- [W<sub>16</sub>] [http://www.hautegoulaine.fr/fileadmin/Haute-Goulaine/2-QUOTIDIEN/G-Environnement/5-Prevention-du-bruit/2G5.Notice\\_explicative.pdf](http://www.hautegoulaine.fr/fileadmin/Haute-Goulaine/2-QUOTIDIEN/G-Environnement/5-Prevention-du-bruit/2G5.Notice_explicative.pdf), consulté le 24/02/20 à 23 h 44 min 55 s.
- [W<sub>17</sub>] [https://www.bry94.fr/IMG/pdf/cartographie\\_du\\_bruit\\_et\\_ses\\_documents\\_annexes\\_doc\\_complet.pdf](https://www.bry94.fr/IMG/pdf/cartographie_du_bruit_et_ses_documents_annexes_doc_complet.pdf), consulté le 31/08/20 à 01 h 02 min 41s.

## Annexes

**Tableau A1 : Valeurs de l'indicateur Ld.**

<b>Numéros</b>	<b>Lieux</b>	<b>Ld (en dB(A))</b>
01	CEG Godomey	79,50 ± 2,76
02	CEG La verdure	66,00 ± 2,25
03	CEG Zinvié	63,50 ± 3,05
04	CEG Kpanrou	51,00 ± 1,30
05	Complexe scolaire Jean Piaget II	68,25 ± 2,00
06	CEG1 Abomey-Calavi	59,50 ± 2,05
07	CEG Zoca	56,25 ± 3,53
08	SOS Abomey-Calavi	54,75 ± 0,80
09	Complexe Scolaire Sainte Thérèse	68,50 ± 2,05
10	Complexe scolaire Jean Michel le Faucon	68,00 ± 3,67
11	Carrefour arrondissement de Godomey	78,75 ± 1,52
12	Carrefour du CEG Godomey	79,00 ± 1,30
13	Carrefour Séminaire	77,00 ± 2,60
14	Carrefour Logozounkpa ou Platinium	75,75 ± 2,39
15	Carrefour Pharmacie Concorde	75,50 ± 2,05
16	Carrefour Gbôdjè	77,00 ± 2,25
17	Carrefour Hèvié	77,25 ± 2,00
18	Carrefour Houédonou	78,50 ± 2,05
19	Carrefour Campus	75,50 ± 3,31
20	Carrefour Bidossessi	77,00 ± 2,25
21	Carrefour Kpota	75,25 ± 2,00
22	Carrefour IITA	77,75 ± 2,39
23	Carrefour Tankpè	76,00 ± 2,91
24	Carrefour Ayitchédji	72,00 ± 2,25
25	Carrefour Arconville	74,50 ± 3,79
26	Carrefour pavé Kérékou	77,25 ± 3,28
27	Carrefour Missessinto	77,50 ± 1,59
28	Carrefour haute tension (LIBS)	77,25 ± 2,00
29	Centre de santé de Togba	67,50 ± 2,76
30	Centre de santé de Ouèdo	71,75 ± 3,53
31	Centre de santé de Hèvié	70,25 ± 3,98
32	Centre de santé de Glo-Djigbé	68,00 ± 3,44
33	Centre de santé de Zinvié	59,50 ± 2,76
34	Centre de santé de Kpanroun	55,75 ± 3,53
35	Centre de santé d'Akassato	78,00 ± 2,25
36	Centre de santé de Godomey	65,00 ± 2,91
37	Centre de santé d'Abomey-Calavi	65,50 ± 0,92
38	Hôpital de zone d'Abomey-Calavi	68,00 ± 1,30
39	Polyclinique Biosso	71,25 ± 2,72
40	Polyclinique coopérative	76,75 ± 3,28

**Tableau A2 : Valeurs de l'indicateur Le.**

<b>Numéros</b>	<b>Lieux</b>	<b>Le (en dB(A))</b>
01	CEG Godomey	80,25 ± 3,28
02	CEG La verdure	63,25 ± 3,76
03	CEG Zinvié	57,00 ± 2,91
04	CEG Kpanrou	45,25 ± 3,28
05	Complexe scolaire Jean Piaget II	67,50 ± 2,76
06	CEG1 Abomey-Calavi	63,75 ± 3,28
07	CEG Zoca	52,75 ± 1,52
08	SOS Abomey-Calavi	60,50 ± 2,76
09	Complexe Scolaire Sainte Thérèse	67,50 ± 2,76
10	Complexe scolaire Jean Michel le Faucon	67,50 ± 3.31
11	Carrefour arrondissement de Godomey	79,00 ± 2,60
12	Carrefour du CEG Godomey	81,25 ± 2,72
13	Carrefour Séminaire	78,50 ± 3,31
14	Carrefour Logozoukpa ou Platinum	78,75 ± 2,39
15	Carrefour Pharmacie Concorde	78,50 ± 2,76
16	Carrefour Gbôdjè	74,50 ± 2,05
17	Carrefour Hèvié	79,75 ± 2,00
18	Carrefour Houédonou	79,75 ± 1,52
19	Carrefour Campus	78,50 ± 3,79
20	Carrefour Bidossessi	74,50 ± 2,05
21	Carrefour Kpota	80,50 ± 3,31
22	Carrefour IITA	80,75 ± 2,72
23	Carrefour Tankpè	75,00 ± 2,25
24	Carrefour Ayitchédji	77,75 ± 3,53
25	Carrefour Arconville	77,00 ± 2,91
26	Carrefour pavé Kérékou	78,25 ± 2,72
27	Carrefour Missessinto	78,00 ± 2,91
28	Carrefour haute tension (LIBS)	73,50 ± 3,31
29	Centre de santé de Togba	71,50 ± 3,79
30	Centre de santé de Ouèdo	66,75 ± 2,00
31	Centre de santé de Hèvié	67,25 ± 2,72
32	Centre de santé de Glo-Djigbé	67,25 ± 2,72
33	Centre de santé de Zinvié	56,75 ± 3,53
34	Centre de santé de Kpanroun	54,00 ± 3,44
35	Centre de santé d'Akassato	73,50 ± 2,76
36	Centre de santé de Godomey	64,75 ± 2,00
37	Centre de santé d'Abomey-Calavi	66,50 ± 2,05
38	Hôpital de zone d'Abomey-Calavi	73,50 ± 2,05
39	Polyclinique Biosso	71,50 ± 3,79
40	Polyclinique coopérative	80,50 ± 3,31

**Tableau A3 : Valeurs de l'indicateur Ln.**

<b>Numéros</b>	<b>Lieux</b>	<b>Ln (en dB(A))</b>
01	CEG Godomey	80,25 ± 1,52
02	CEG La verdure	58,25 ± 2,00
03	CEG Zinvié	43,00 ± 2,60
04	CEG Kpanrou	40,00 ± 2,60
05	Complexe scolaire Jean Piaget II	64,50 ± 3,31
06	CEG1 Abomey-Calavi	69,00 ± 3,44
07	CEG Zoca	55,75 ± 2,72
08	SOS Abomey-Calavi	64,75 ± 0,80
09	Complexe Scolaire Sainte Thérèse	59,25 ± 2,39
10	Complexe scolaire Jean Michel le Faucon	58,00 ± 2,60
11	Carrefour arrondissement de Godomey	70,25 ± 2,00
12	Carrefour du CEG Godomey	69,00 ± 1,30
13	Carrefour Séminaire	66,75 ± 3,28
14	Carrefour Logozounkpa ou Platinium	69,25 ± 1,52
15	Carrefour Pharmacie Concorde	71,00 ± 2,25
16	Carrefour Gbôdjè	71,25 ± 1,52
17	Carrefour Hèvié	74,50 ± 1,59
18	Carrefour Houédonou	68,25 ± 3,01
19	Carrefour Campus	67,50 ± 3,31
20	Carrefour Bidossessi	67,75 ± 3,28
21	Carrefour Kpota	71,00 ± 2,25
22	Carrefour IITA	71,50 ± 2,05
23	Carrefour Tankpè	74,75 ± 2,72
24	Carrefour Ayitchédji	71,75 ± 2,00
25	Carrefour Arconville	69,25 ± 2,72
26	Carrefour pavé Kérékou	65,75 ± 1,52
27	Carrefour Missessinto	66,25 ± 3,53
28	Carrefour haute tension (LIBS)	79,00 ± 2,25
29	Centre de santé de Togba	59,75 ± 1,52
30	Centre de santé de Ouèdo	56,00 ± 3,44
31	Centre de santé de Hèvié	65,25 ± 2,72
32	Centre de santé de Glo-Djigbé	63,25 ± 2,00
33	Centre de santé de Zinvié	40,50 ± 1,59
34	Centre de santé de Kpanroun	37,75 ± 1,52
35	Centre de santé d'Akassato	69,25 ± 2,72
36	Centre de santé de Godomey	55,25 ± 3,53
37	Centre de santé d'Abomey-Calavi	57,25 ± 2,39
38	Hôpital de zone d'Abomey-Calavi	63,50 ± 2,05
39	Polyclinique Biosso	63,25 ± 3,01
40	Polyclinique coopérative	73,75 ± 3,53

**Tableau A4 : Valeurs de l'indicateur Lden.**

Numéros	Lieux	Lden (en dB(A))
01	CEG Godomey	87,07 ± 1,28
02	CEG La verdure	68,09 ± 1,42
03	CEG Zinvié	62,34 ± 2,41
04	CEG Kpanrou	51,19 ± 1,16
05	Complexe scolaire Jean Piaget II	72,71 ± 2,09
06	CEG1 Abomey-Calavi	74,69 ± 3,23
07	CEG Zoca	62,21 ± 2,23
08	SOS Abomey-Calavi	70,52 ± 0,76
09	Complexe Scolaire Sainte Thérèse	70,89 ± 1,38
10	Complexe scolaire Jean Michel le Faucon	70,49 ± 1,96
11	Carrefour arrondissement de Godomey	80,59 ± 1,24
12	Carrefour du CEG Godomey	81,35 ± 1,47
13	Carrefour Séminaire	78,93 ± 1,91
14	Carrefour Logozounkpa ou Platinium	79,36 ± 1,31
15	Carrefour Pharmacie Concorde	79,87 ± 1,49
16	Carrefour Gbôdjè	79,26 ± 1,11
17	Carrefour Hèvié	82,31 ± 1,10
18	Carrefour Houédonou	80,31 ± 1,16
19	Carrefour Campus	78,68 ± 2,24
20	Carrefour Bidossessi	77,76 ± 1,53
21	Carrefour Kpota	80,71 ± 1,87
22	Carrefour IITA	81,45 ± 1,49
23	Carrefour Tankpè	81,34 ± 2,05
24	Carrefour Ayitchédji	79,50 ± 1,68
25	Carrefour Arconville	78,36 ± 1,76
26	Carrefour pavé Kérékou	78,71 ± 1,76
27	Carrefour Missessinto	78,78 ± 1,56
28	Carrefour haute tension (LIBS)	84,82 ± 1,98
29	Centre de santé de Togba	71,27 ± 2,21
30	Centre de santé de Ouèdo	70,53 ± 2,41
31	Centre de santé de Hèvié	72,85 ± 1,96
32	Centre de santé de Glo-Djigbé	71,14 ± 1,49
33	Centre de santé de Zinvié	58,65 ± 2,06
34	Centre de santé de Kpanroun	55,32 ± 2,37
35	Centre de santé d'Akassato	78,54 ± 1,53
36	Centre de santé de Godomey	66,31 ± 1,60
37	Centre de santé d'Abomey-Calavi	67,71 ± 1,12
38	Hôpital de zone d'Abomey-Calavi	73,51 ± 1,29
39	Polyclinique Biosso	73,25 ± 1,88
40	Polyclinique coopérative	82,09 ± 2,16

**Tableau A5 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour l'indicateur Ln.

Ln en dB(A)	Nombre de centres de santé	Nombre d'établissements d'enseignement
< 50	02	02
50-55	00	00
55-60	04	04
60-65	03	02
65-70	02	01
> 70	01	01
Dépassement de la valeur limite 62 sans l'incertitude	06	04
Dépassement de la valeur limite 62 avec l'incertitude	06	04

**Tableau A6 :** Estimation des centres de santé et des établissements d'enseignement exposés au bruit pour l'indicateur Lden.

Lden en dB(A)	Nombre de centres de santé	Nombre d'établissements d'enseignement
< 55	00	01
55-60	02	00
60-65	00	02
65-70	02	01
70-75	06	05
> 75	02	01
Dépassement de la valeur limite 68 sans l'incertitude	08	07
Dépassement de la valeur limite 68 sans l'incertitude	09	07