



**Université de Toulouse**

**MASTER 1 GEOMATIQUE**

« **ScIences Géomatiques en environneMent et Aménagement** » (**SIGMA**)

<http://sigma.univ-toulouse.fr>

**MÉMOIRE DE RECHERCHE**

**Optimisation des calculs d'itinéraires du  
SDIS 57 par programmation des vitesses des  
bases de données.**

**BESSAGUET Moran**

Service Départemental d'Incendie et de Secours de Moselle (SDIS 57)



**Maître de stage : ARNOULD Amélie, cheffe du service SIG**

**Enseignant-référent : LE CORRE Sébastien, maître de conférences à l'UT2J**

**Septembre 2022**



## **Résumé**

Avec plus de 200 interventions quotidiennes, les Sapeurs-Pompiers du Service Départemental d'Incendie et de Secours de Moselle doivent faire face à de nombreux enjeux dans leur gestion opérationnelle. Afin de secourir les personnes au plus vite, les délais d'arrivée sur les lieux sont primordiaux. L'objectif de cette étude est de s'intéresser aux modalités de construction du graphe routier qui détermine la caserne affectée lors d'une intervention. Il s'agira donc de prendre en compte les spécificités liées à l'utilisation des véhicules en contexte d'urgence. La recherche d'un affinage des vitesses passe d'abord par l'analyse des différentes bases de données routières exploitables : la base de données interne au SDIS 57, la BD TOPO V3 de l'IGN, les données OpenStreetMap ainsi que la base routière NavStreets/HERE. Après avoir mis en évidence des attributs/champs possiblement exploitables dans la pondération des vitesses des véhicules, nous nous intéresserons à la construction d'indicateurs manuels. On s'intéresse notamment à des indicateurs de sinuosité et de pente, déjà mis en place dans d'autres SDIS, qui viendraient pondérer la vitesse pour certains tronçons avec un fort dénivelé ou des courbes importantes. La finalité de cette étude consiste ainsi à construire la grille de vitesse la plus pertinente et adaptée aux véhicules de secours au regard des données exploitables. La validation de cette grille de vitesse se fera au travers du référentiel le plus proche possible des vitesses réelles observées. A défaut de traceurs GPS ou d'un suivi des véhicules de secours du SDIS 57, nous nous appuierons essentiellement sur des temps de référence Google Maps. Une fois nos éléments de pondération testés sur le territoire mosellan, nous pourrions finalement discuter des conséquences réelles de la mise en application de nos pondérations de vitesse à différentes échelles.

## **Abstract**

Regarding more than 200 daily interventions, firefighters of the SDIS 57 in Moselle, France, have to face many issues dealing with their operational management. Arrival times on the rescue place is crucial as their main goal is to keep rescuing people or combat a fire as quickly as possible. This study aims at analyzing the modalities of the firefighting vehicles' time cost calculator, which determines which station will be affected on an intervention. Hence, we will need to figure out and acknowledge what are the own specificities of driving a vehicle during an emergency context. First, we'll focus on making a comparison between each road database that could be used in this study : the SDIS 57 internal database, IGN's TOPO V3 database, OpenStreetMap data and the HERE database. Pursuing our analysis, we are looking to create our own indicators that could improve our ways to calculate traveling time by making them more realistic. We will mainly focus on sinuosity and slope indicators which could modify a vehicle speed on roads with a steep drop or significant curves. At the end of this study, we seek to construct the most relevant and suitable speed grid for emergency vehicles regarding the usable data. As we try to validate our elements on the real ground, we need to find reference times to our emergency vehicles. With the lack of GPS trackers, we will rely on Google Maps as the travel times we aim at through adjusting our own time cost calculator. Once our speed grid and arrival times have been tested in the department we shall finally decide how to adjust every vehicle speed according to the results.

**Mots-clés** : Graphe routier, Urgence, Pondération, Sinuosité, Pente, Grille de vitesse

## **Table des matières**

<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>Table des matières</b>	<b>4</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>6</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>8</b>
<b>Lexique</b>	<b>8</b>
<b>I. Présentation et fonctionnement de la structure d'accueil</b>	<b>10</b>
1. Le SDIS 57 : un service départemental pour l'organisation des secours.	10
2. Le fonctionnement opérationnel du SDIS 57 : notions de base.	11
2.1 Un logiciel central : le Système de Gestion Opérationnelle Artemis.	12
2.2 Les Listes de Défense (LDD) :	13
2.2 La base de données interne du service SIG :	14
<b>II. Contexte de l'étude et enjeux</b>	<b>16</b>
1. La recherche d'un affinage des trajets face à un constat.	16
2. Le contexte particulier du département mosellan.	17
3. Le passage vers NexSIS : l'ouverture vers la BD TOPO.	20
4. Une première approche vers des listes de défense dynamiques.	20
<b>III. Etat de l'art</b>	<b>21</b>
1. Le peu d'expérimentations du calcul de vitesses en contexte d'urgence.	21
2. Dans un contexte plus général, la mise en évidence d'éléments pondérateurs de vitesse.	23
3. Les méthodes utilisées par d'autres SDIS.	23
4. Outils existants dans le calcul d'un graphe routier.	26
5. Problématique et hypothèses de départ.	29
<b>IV. Données disponibles et construction d'indicateurs</b>	<b>30</b>
1. Analyse et comparaison des bases de données routières	30
1.1 La base de données SIG-SGO du SDIS 57.	30
1.2 Les données IGN : la BD TOPO V3.	32
1.3 Synthèse du comparatif entre BD TOP et Base SIG-SGO.	34
1.4 La base de données HERE/NavStreets.	35
1.4 Synthèse des données exploitables	37
2. Extraction d'éléments de pondération potentiels via OSM	38

3. Des indicateurs pour qualifier l'espace.	40
4. Construction d'indicateurs à partir des données présentées	42
4.1 La sinuosité.	42
4.2 La pente.	48
4.3 Les impasses.	51
4.4 La question du redécoupage des tronçons.	52
<b>V. Mise en application des pondérations et résultats</b>	54
1. Le choix d'un référentiel pour comparer nos vitesses	54
2. Tendances des écarts de nos bases de données.	57
3. Application des pondérations au réseau routier de la Moselle.	59
3.1 Application à des bassins de couverture spécifiques.	59
4. Bilan et améliorations du graphe envisageables.	61
<b>VI. Discussion et perspectives</b>	62
1. Les limites du référentiel choisi.	62
2. La question de l'automatisation des indicateurs.	62
3. Une étude centrée autour des véhicules légers.	63
<b>Conclusion</b>	64
<b>Bibliographie</b>	65
<b>Annexes</b>	66

## Liste des figures

Figure 1 : Photo du Centre de Traitement des Appels au SDIS 57 (Site web du SDIS 57, 2017).	10
Figure 2 : Extrait de la cartographie issue du SGO Artemis centrée sur la ville de Metz (SDIS 57, 2022).	12
Figure 3 : Schéma simplifié de listes de défense pour un ensemble de communes fictives.	14
Figure 4 : Tables principales de la BD SIG-SGO dans le contexte du calcul d'un graphe routier.	15
Figure 5 : Grille de vitesse modifiée mise en place par le service SIG (SDIS 57, 2019).	17
Figure 6 : Carte de localisation des UOP et UOA en Moselle, découpage par bassins de couverture (SDIS 57, 2022)	19
Figure 7 : Schéma simplifié des modalités de calcul du coût des trajets dans une liste de défense dynamique (SDIS 57, 2022).	20
Figure 8 : Tableau des vitesses moyennes selon les tranches horaires (Soussi, 2013)	22
Figure 9 : Tableau des facteurs influant (en gras) sur de potentiels écarts dans les temps de trajets des véhicules de secours (Z. Zhang et Q. He, 2019)	23
Figure 10 : Grille de vitesses modifiée exploitée par le SDIS 76 (Chauvet, 2022.)	24
Figure 11 : Grille de vitesses modifiée étudiée par le SDIS 71 (Gardey, 2022.)	25
Figure 12 : Interface d'utilisation de l'extension QNEAT3 appliqué à la BD TOPO.	27
Figure 13 : Exemple d'une erreur de connexion entre deux niveaux de tronçons via QNEAT3.	28
Figure 14 : Diagramme de Gantt du stage au SDIS 57.	30
Figure 15 : Carte de localisation des tronçons de la BD SIG-SGO (SDIS 57).	31
Figure 16 : Carte de localisation des tronçons de la BD TOPO V3 de Mars 2022 (IGN).	33
Figure 17 : Synthèse du nombre de tronçons attribués à une vitesse moyenne et à un type de voie à l'échelle de la Moselle (BD TOPO IGN, 2022).	34
Figure 18 : Synthèse du comparatif entre les attributs de nos deux bases de données (BD TOPO IGN, SDIS 57, 2022).	35
Figure 19 : Carte de localisation des tronçons de l'échantillon HERE Roads (HERE, 2022).	36
Figure 20 : Paramètres par défaut de la base HERE dans ArcGIS.	37
Figure 21 : Méthodologie d'extraction et de filtrage des feux-rouges via OSM.	39
Figure 22 : Méthodologie d'extraction et de filtrage des ralentisseurs via OSM.	40
Figure 23 : Synthèse de l'usage du sol en Moselle selon les données Corine Land Cover de 2018.	41

Figure 24 : Exemples de tronçons, issus des deux bases, qui sont source d'erreur dans la méthodologie du nombre de points (BD TOPO, Ortho IGN, SDIS 57, 2022).	44
Figure 25 : Méthodologie de construction d'un indicateur de sinuosité via nos bases de données routières.	46
Figure 26 : Histogramme des coefficients de sinuosité selon la BD TOPO et la base SIG-SGO.	48
Figure 27 : Carte de localisation des tronçons sinueux selon notre méthodologie, centrée sur Metz.	48
Figure 28 : Histogramme des coefficients de pente selon la BD TOPO et la base SIG-SGO.	51
Figure 29 : Méthodologie d'extraction des impasses via nos bases de données routières.	52
Figure 30 : Exemple de redécoupage à 250 mètres d'un tronçon du SDIS 57.	53
Figure 31 : Interface de modification du coût des tournants dans ArcGIS.	54
Figure 32 : Exemple de poste radio embarqué en véhicule du SDIS (SDIS 42, 2013).	55
Figure 33 : Extrait du tableau comparatif entre outils de navigation et trajets réels réalisés en VL.	56
Figure 34 : Écarts moyens des temps de trajet selon la grille de vitesse du SDIS 57, découpage par bassins de couverture.	58
Figure 35 : Écarts moyens des temps de trajet selon la grille de vitesse de la BD TOPO, découpage par bassins de couverture.	58
Figure 36 : Synthèse des écarts moyens par bassin de couverture en fonction des données d'urbanisation (INSEE, SDIS 57, BD TOPO IGN)	59
Figure 37 : Extrait du tableau des temps de trajets pour le bassin de Phalsbourg en fonction des différentes pondérations appliquées à la grille de vitesse du SDIS.	60

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison de la superficie, de la densité et du nombre de casernes entre certains SDIS de catégorie A (INSEE, RP 1968-2018, sites web des SDIS) 18

Tableau 2 : Synthèse des outils de calcul de graphe routier accessibles pour notre étude. 28

Tableau 3 : Synthèse des coefficients de pente pour nos deux bases de données (IGN, SDIS 57, 2022).

## Lexique

**VL / PL** : Véhicule Léger / Poids-Lourd

**SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours

**UOP / UOA** : Unité Opérationnelle Principale / Unité Opérationnelle Adaptée

**CTA / CODIS** : Centre de Traitement des Appels / Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours

**SPP / SPV** : Sapeur-Pompier Professionnel / Sapeur-Pompier Volontaire

**SGO** : Système de Gestion Opérationnelle

**LDD** : Liste De Défense

**SDACR** : Schéma départemental d'analyse et de couverture des risques

**ETARE (plan)** : Etablissement Répertoire

**DFCI (atlas)** : Défense des Forêts Contre les Incendies

- **FPT** : Fourgon Pompe Tonne, véhicule principal dans la lutte contre les incendies



- **VSAV** : Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes, engin principal dans le secours aux personnes



(Photos issues du site web du SDIS 57)

**MNT** : Modèle Numérique de Terrain

**OSM** : OpenStreetMap

**FT/ TF** : From-To et To-From, indique le sens de circulation dans un tronçons au départ du premier sommet.



## I. Présentation et fonctionnement de la structure d'accueil

### **1. Le SDIS 57 : un service départemental pour l'organisation des secours.**

Situé à St-Julien-lès-Metz, le Service Départemental d'Incendie et de Secours de Moselle (SDIS 57) se définit comme la structure centrale de gestion du corps des pompiers à l'échelle départementale. Autrement dit, le SDIS administre l'organisation territoriale et opérationnelle des effectifs et des moyens matériels dont dispose le département (casernes, véhicules). Placé sous l'autorité du Préfet de Moselle Mr Laurent TOUVET, du Contrôleur Général Mr François VALLIER, et du Président du Conseil d'Administration, Mr Patrick WEITEN, le SDIS constitue une collectivité publique dont les compétences et les missions sont définies par la loi n° 96-369 (article L 1424-2) relative aux services d'incendie et de secours (Code général des collectivités territoriales).

De ce fait, le SDIS répond aux missions suivantes :

- la prévention et évaluation des risques de sécurité civile
- la préparation des mesures de sauvegarde et organisation des moyens de secours
- la protection des personnes, des biens et de l'environnement
- le secours d'urgence aux victimes d'accidents, de sinistres ou de catastrophes, ainsi que leur évacuation.

Outre sa gestion administrative et financière des effectifs et des moyens matériels, le SDIS assure la fonction opérationnelle en hébergeant le Centre de Traitement des Appels (CTA) ainsi que le Centre Opérationnel Départemental d'Incendie et de Secours (CODIS). Ces deux services sont centraux dans le déclenchement d'une intervention et le suivi d'une crise. En effet, le CTA traite l'ensemble des appels reçus au numéro 18. C'est dans ce centre que va être validé ou non une intervention, et si validation le déclenchement d'un ensemble de moyens au sein d'une ou plusieurs casernes. Le CODIS constitue une cellule annexe au CTA et ne se déclenche que lors d'interventions relativement importantes qui nécessitent des effectifs importants. Sa mission est d'assurer un suivi de l'intervention, et si besoin d'engager des moyens supplémentaires tout en assurant une médiation avec les élus et les acteurs locaux.

Une permanence de Sapeurs-Pompiers assure 24H/24 le suivi des appels continus reçus au CTA. En 2021, ce sont 205 465 appels qui ont été reçus dans ce service, soit 560 appels par jour ou un appel toutes les 2 minutes 33.



Figure 1 : Photo du Centre de Traitement des Appels au SDIS 57 (Site web du SDIS 57, 2017).

Pour assurer les 65 842 opérations de secours et 4 932 interventions de lutte contre l'incendie, le SDIS 57 a pu disposer en 2020 d'un ensemble important de moyens matériels et humains. Ce sont en effet 3 996 sapeurs-pompiers volontaires (SPV) et 677 sapeurs-pompiers professionnels (SPP) qui ont pu permettre au SDIS de répondre à ses missions. En outre, le SDIS 57 possède 955 engins répartis sur l'ensemble de territoire afin d'assurer des missions diverses (Rapport d'activité, 2020). L'ensemble de ces effectifs sont répartis dans 37 Unités Opérationnelles Adaptées, les casernes principales qui disposent du plus de moyens matériels et humains, et dans 146 Unités Opérationnelles de Proximité : des casernes de plus petite taille destinées à assurer une couverture homogène du territoire. L'ensemble de ces casernes sont regroupées au sein de 22 bassins de couverture, un découpage territorial destiné à une organisation fonctionnelle à une échelle plus fine que celle du département.

Le SDIS 57 est défini comme étant de catégorie A avec plus d'un million d'habitants dans son emprise opérationnelle. Avec une population totale d'environ 1,046 million d'habitants en 2019 (INSEE), le département de Moselle constitue un bassin de population à protéger relativement important. Le SDIS est un témoin de la dynamique de centralisation des services des pompiers à l'échelle départementale. Il répond à la loi n° 96-369 du 3 mai 1996. Cette loi instaure le processus de départementalisation de la gestion des biens et des personnels sapeurs-pompiers. On passe donc progressivement de la multiplicité des casernes communales à l'instauration d'un service centralisé pour chaque département.

L'intégralité du stage s'est déroulée au sein du service SIG entre le 15 mars et le 15 septembre 2022. Sous la direction de Mme Amélie ARNOULD, le service SIG est directement rattaché au pôle Métiers et répond à de nombreuses missions dans le domaine de la géomatique et de la gestion de base de données. Il se doit notamment d'assurer en priorité la réponse à des besoins opérationnels spécifiques liés au déclenchement des interventions. Pour se faire, ce service assure la gestion de plusieurs types de demandes :

- la mise à jour de la cartographie opérationnelle incluant la modification ou l'ajout de données SIG, le suivi et l'incorporation dans la cartographie des arrêtés de circulation relatifs aux travaux sur la voirie,
- l'édition des atlas parcellaires (carte de localisation accompagnés de points de repères importants dans le cadre d'une intervention) destinés principalement aux unités territoriales,
- la création des atlas de Défense des Forêts Contre l'Incendie (DFCI) mais également la mise à jour et le maintien des GPS fournis aux unités opérationnelles pour le calcul d'itinéraire personnalisé vers les lieux d'intervention.

L'encadrement de ce stage s'est déroulé sous la tutelle de la cheffe du service SIG Mme ARNOULD, ainsi que sous le suivi de Mr Sébastien LE CORRE en tant qu'enseignant référent.

## **2. Le fonctionnement opérationnel du SDIS 57 : notions de base.**

Il s'agit dans cette partie d'explorer des notions et des définitions basiques dans le fonctionnement du SDIS 57 à une échelle de plus en plus fine. Ces bases vont permettre de comprendre les modalités de construction des éléments de notre étude. Dès lors, nous pourrons poursuivre notre réflexion en cherchant à modifier les modalités de fonctionnement de certains éléments mentionnés dans cette introduction.

## 2.1 Un logiciel central : le Système de Gestion Opérationnelle Artemis.

Pouvant être fourni par différents distributeurs, un Système de Gestion Opérationnelle (SGO) constitue l'application centrale dans l'organisation et l'affectation des effectifs et des moyens lors du déclenchement d'une intervention. Adopté en 2019 par le SDIS 57, le SGO Artemis constitue l'outil principal du pompier décrochant un appel au CTA. Si le pompier ayant analysé l'appel décide d'engager une intervention, l'interface d'Artemis va lui permettre de renseigner un ensemble d'informations qui vont permettre d'adapter les moyens engagés selon la nature du sinistre, sa gravité et sa localisation. A l'aide des informations fournies par l'émetteur de l'appel ou via la géolocalisation de son appareil, le pompier au CTA va permettre de visualiser rapidement les lieux d'intervention ainsi que des repères importants (établissements sensibles, points d'eau...) via une cartographie alimentée par le service SIG (parcellaire) ou selon des fonds de plans de l'IGN (Ortho photos, SCAN 25). Le SGO permet également à l'opérateur d'assurer un suivi des interventions à plusieurs échelles. Via la cartographie, il peut visualiser rapidement la position de l'ensemble des véhicules affectés dans le département. Il peut également accéder à une liste d'éléments synthétiques concernant les interventions en cours, le statut des véhicules en intervention ainsi que les personnels et moyens disponibles pour chaque caserne.

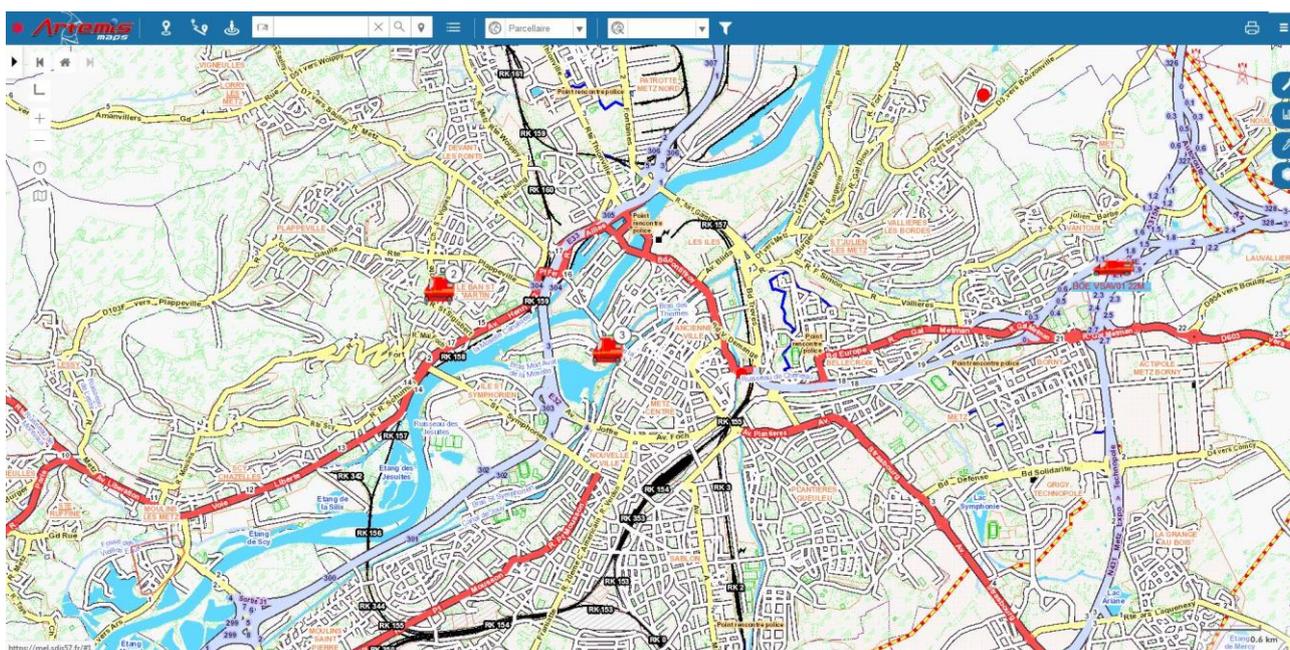


Figure 2 : Extrait de la cartographie issue du SGO Artemis centrée sur la ville de Metz (SDIS 57, 2022).

Une fois l'ensemble des renseignements fournis par l'émetteur de l'appel et par l'opérateur au CTA, notamment la nature de l'intervention, le logiciel Artemis va automatiquement choisir la caserne la plus rapide à pouvoir opérer sur les lieux d'intervention. Ce choix d'affectation d'une caserne se fait uniquement si elle remplit deux critères : le véhicule adapté à la nature de l'intervention est disponible ET il y a un nombre suffisant de personnel qualifié pour armer le véhicule présent dans la caserne ou en astreinte proche. Le SGO doit donc être en permanence relié à une base de données qui comporte le statut en temps réel des effectifs disponibles, le statut de chaque véhicule en caserne ou encore l'aptitude de chaque sapeur-pompier dans une caserne donnée.

Dans l'exemple du déclenchement d'un secours à personne, la caserne la plus proche disposant d'un VSAV et du personnel nécessaire et qualifiée sera donc retenue pour intervenir. A l'inverse, si une intervention contre un feu de broussaille se déclenche et que la caserne la plus proche dispose d'un FPT mais n'a pas assez de personnel disponible, c'est la caserne suivante qui sera affectée. Autre cas de figure, une caserne possède le FPT adapté à un feu de forêt et dispose du nombre nécessaire de pompiers pour l'opérer. Seulement l'effectif ne possède pas la formation nécessaire à son maniement correct, l'affectation est donc renvoyée à la caserne suivante.

Au-delà de la question des moyens disponibles, la liste qui va définir le rang de chaque caserne la plus proche des lieux d'intervention se nomme une liste de défense (LDD). Ces listes de défense vont être centrales dans le cas de notre étude.

## 2.2 Les Listes de Défense (LDD) :

Les listes de défense ou LDD se définissent comme le classement des casernes les plus proches selon un coût en temps pour une zone donnée. Une fois importées dans le SGO Artemis, les listes de défense vont permettre de déterminer le sens d'attribution des casernes en fonction de leur localisation les unes par rapport aux autres. Plus une caserne se rapproche du rang 1 pour une zone donnée, plus elle aura de chances d'être affectée à une intervention si elle dispose du véhicule adapté et du personnel qualifié.

A l'heure actuelle, les listes de défense sont constituées de classements fixes inscrites dans un tableur qui établissent les 40 casernes les plus proches en temps pour chaque commune du département. De ce fait, lorsque l'opérateur au CTA va déclencher une intervention sur l'emprise d'une commune, la liste de défense associée à la commune va être prise en compte dans l'affectation automatique par le SGO Artemis. Il existe une exception dans ce découpage spatial des listes de défense pour la commune de Metz : les listes de défense sont calculées par quartier en raison de la densité importante et en vue d'une meilleure répartition de la charge opérationnelle entre les différentes casernes de l'agglomération messine.

Il existe différents types de listes de défense. Selon la nature de l'intervention, une liste de défense particulière va être enclenchée automatiquement par le SGO Artemis : chaque type d'intervention appartient à une LDD adaptée. On distingue notamment la LDD des Urgences Relatives (Liste UR) et la LDD des Urgences Absolues (Liste UA). Lors d'une intervention de faible importance, comme une blessure mineure ou un malaise, la liste UR va affecter des centres secondaires ou plus en marge des lieux d'intervention. A l'inverse, la liste UA se déclenche lors d'une intervention qui nécessite la prise en main rapide par les secours, lors d'un arrêt cardiaque par exemple. Dès lors, la liste va favoriser les centres principaux les plus proches de la commune pour assurer une couverture opérationnelle rapide et adaptée à ces situations. D'autres listes de défense peuvent s'appliquer lors d'interventions qui nécessitent des effectifs et des moyens particuliers. La Liste Spé se déclenche lors d'interventions qui nécessitent des spécialistes

Le service SIG se charge de construire ces listes fixes et assure la mise à jour régulière des listes en modifiant manuellement le rang des casernes concernées par un changement de rang (temporaire ou définitif). Pour établir le rang de chaque caserne sur la liste de défense associée à une commune, on vient calculer le temps de trajet entre chaque caserne et le chef-lieu de la commune localisé dans une couche de la base de données interne (le plus souvent la mairie ou l'église de la commune). Ce calcul se fait via ArcGIS et l'extension Network Analyst, qui permet de calculer des matrices de coûts Origine - Destination. Cette

matrice peut également se définir comme un graphe routier ou un distancier, autrement dit un ensemble de coûts en temps calculés pour entre des points donnés.

Plus le temps calculé via cet outil est court, plus la caserne viendra se placer en tête du classement dans la liste de défense d'une commune. Ce calcul d'un distancier à l'échelle du département nécessite certains paramètres, notamment au niveau des vitesses affectés aux tronçons. On poursuit donc notre analyse à l'échelle des données qui vont permettre le paramétrage du calcul du graphe.

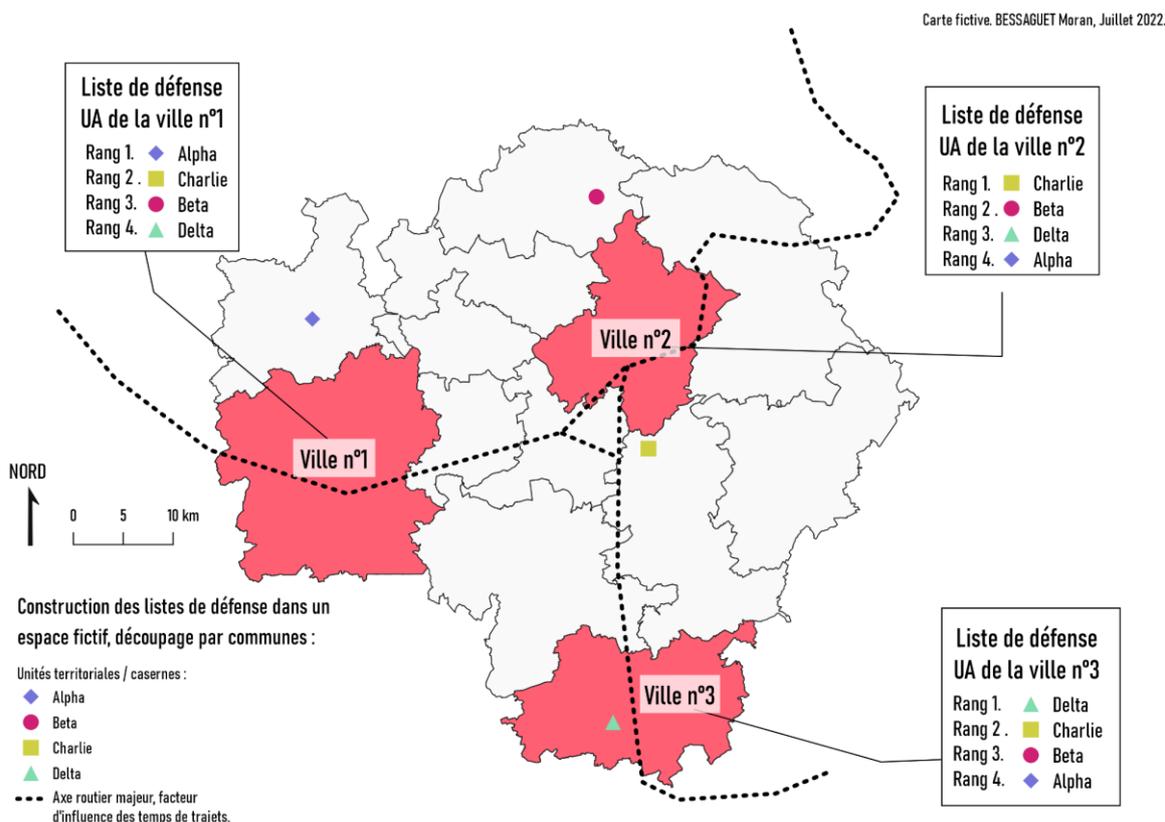


Figure 3 : Schéma simplifié de listes de défense pour un ensemble de communes fictives.

## 2.2 La base de données interne du service SIG :

L'une des missions principales du service SIG consiste à gérer, assurer la mise à jour et enrichir tout un ensemble de données SIG liées au fonctionnement opérationnel du SDIS 57. Hébergée sur un serveur PostgreSQL, la base de données SIG-SGO inclut 52 tables contenant des données diverses liées à la localisation et à la description des données opérationnelles.

Parmi ces tables, on peut mettre en évidence les jeux de données principaux qui entrent en jeu dans le calcul du distancier à l'échelle du département, et donc dans le contexte de notre étude :

- la table *a\_communes*, qui comporte l'emprise géographique et la description des communes prises en charge opérationnellement par le SDIS 57 (département + zones d'interopérabilité avec le SDIS 54 et le SDIS 67). On y retrouve le champ *a\_l\_def\_code* qui indique la liste de défense associée à cette commune.
- la table *chefs\_lieux*, qui comporte notamment les coordonnées des points centraux des communes utilisés dans le calcul des temps de trajets au départ de chaque caserne.

- la table *a\_centres\_secours*, qui comporte la localisation de l'ensemble des casernes (actives et anciennes) prises en charge, ou en coopération interdépartementale, avec le SDIS 57.
- la table *a\_voies\_et\_troncons*, qui u les données centrales dans notre analyse en comportant les attributs et la localisation de l'ensemble des tronçons routiers à l'échelle du département. Parmi ses attributs, on retrouve notamment : la nature de la voie, les restrictions appliquées aux véhicules, la position du tronçon par rapport au sol ainsi que les différentes vitesses appliquées à chaque tronçon (vitesse légale, vitesse spécialisée VL, vitesse spécialisée PL)

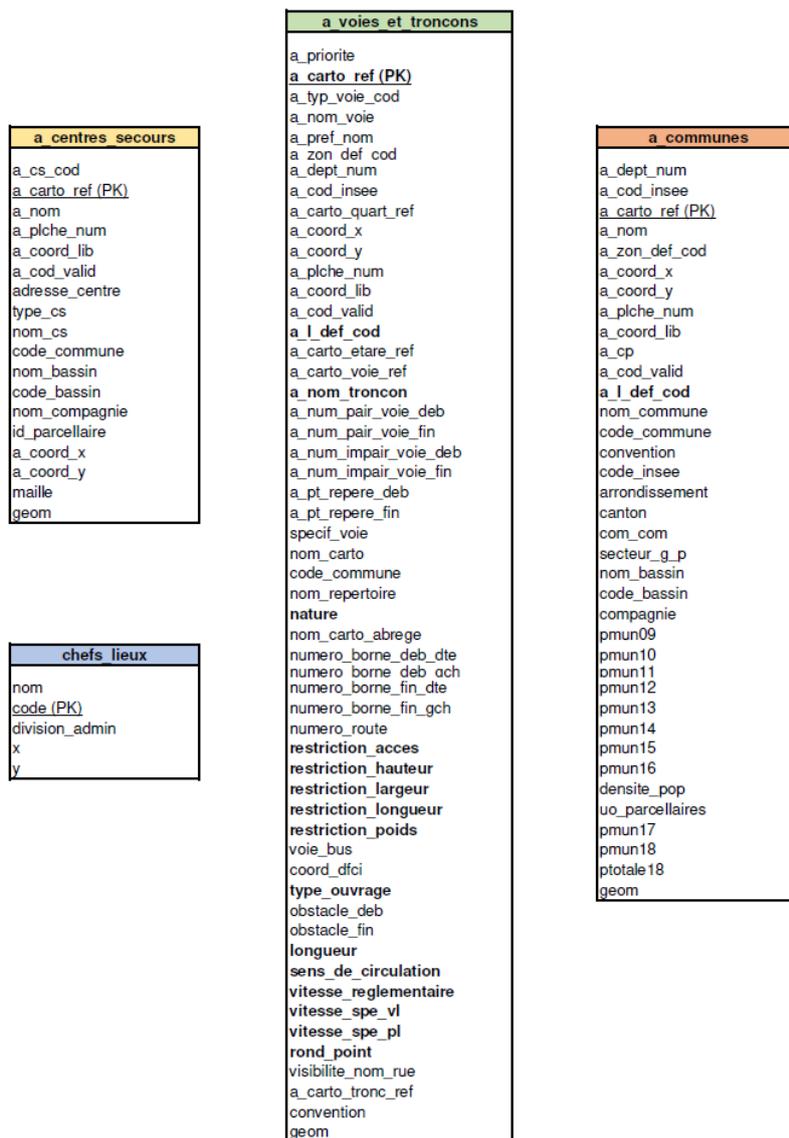


Figure 4 : Tables principales de la BD SIG-SGO dans le contexte du calcul d'un graphe routier.

C'est au travers de la spécificité de ces données, et des modalités de fonctionnement d'Artemis que va se poser le contexte de notre étude.

## **II. Contexte de l'étude et enjeux**

### **1. La recherche d'un affinage des trajets face à un constat.**

Ce stage a été mis en place par le service SIG du SDIS 57 dans le but de répondre à plusieurs problématiques en lien avec le paramétrage des véhicules du SDIS. Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'affectation d'une caserne lors d'une intervention va être déterminée par sa rapidité à se rendre sur les lieux. Cette hiérarchie des casernes dans la rapidité d'intervention est définie par le calcul d'un graphe routier via des données internes dont une grille de vitesse pour chaque tronçon. On peut alors se poser la question de la fiabilité des temps de trajets calculés via les logiciels SIG et s'il est possible d'affiner la précision de nos coûts de trajet en manipulant nos données.

La mission de ce stage se recentre donc autour de l'évaluation de la qualité des données utilisées dans le cadre du calcul des graphes routiers dans le département. Afin de mettre en évidence des pistes possibles dans l'amélioration du paramètre de vitesse et dans l'affinage des temps de trajet calculés, on répond à plusieurs objectifs :

- la réalisation d'un état de l'art, incluant des méthodologies adoptées par d'autres SDIS, afin de mettre en évidence des paramétrages existants dans le contexte d'un véhicule de secours en intervention
- l'évaluation des données SIG internes au SDIS 57 utilisés dans le cadre du calcul de graphe routier, et la comparaison avec d'autres bases de données exploitables
- la construction de nouveaux indicateurs qui viendraient pondérer ou débrider la vitesse sur certains tronçons : on souhaite notamment mettre en place des indicateurs de sinuosité et de pente, deux facteurs pouvant influencer le comportement d'un véhicule sur la route
- un état des lieux des écarts constatés pour chaque grille de vitesse exploitable dans nos bases de données, afin d'en dégager des tendances globales et d'ajuster les éléments de pondération nécessaires pour chaque jeu de données
- l'analyse et la modification de la grille de vitesse exploitée par le SDIS 57 dans le calcul de ses temps de trajets, en la comparant à d'autres grilles de vitesses disponibles ou à un référentiel donné.

Cette réflexion trouve son origine dans un constat fait par le service SIG du SDIS 57 dès octobre 2019. Face à des écarts importants entre des temps de trajets réels et des temps calculés, le service SIG décide de mener une étude afin de produire une grille de vitesse plus pertinente. Destinée à *“corriger les temps de trajets surévalués, notamment en milieu urbain, et les temps sous-évalués sur des trajets longs autoroutiers”*, cette grille de vitesse propose deux tables de vitesses spécifiques à l'utilisation d'un VL ou d'un PL. Chaque vitesse de tronçon est désormais définie selon sa nature et certains attributs présents sur la voie.

Type de Voie	Sous type	Vitesse réglementaire	Vitesse spécifique VL	Vitesse spécifique PL
<b>Cas particuliers</b>	Accès de service	10 km/h	4 km/h	4
	Passage à niveau	30 km/h	24 km/h	15
	Péage (selon longueur tronçon)	20/30/50/70 km/h	16/24/34/60 km/h	14/15/31/49
	Rond-Point	30 km/h	24 km/h	15
	Tous les types sauf les Rues	20 ou 30 km/h	16 km/h	14
	Sortie de route, stop, cédez-le-passage, boucle, entrée et sortie aire repos.... (selon longueur du tronçon)	50 km/h 70 km/h	34 km/h 60 km/h	31 49
<b>Rues</b>	Agglomération	50 km/h	29 km/h	17
	Agglomération (piéton, lotissement, rues limitées à 30 km/h)	30 km/h	24 km/h	15
<b>Départementales</b>	Sections à vitesse réglementée	90 km/h	78 km/h	66
	Routes spécifiques (route sinueuse, fort dénivelé, sortie agglomération)	70 km/h	60 km/h	49
	Traversée d'agglomération	50 km/h	34 km/h	31
	Zones piétonnes, section réglementée à 30 km/h	30 km/h	24 km/h	15
<b>Nationales</b>	Sections à vitesse réglementée	110 km/h	98 km/h	80
	Sections à vitesse réglementée	90 km/h	78 km/h	66
	Sections à vitesse réglementée ou cas particuliers	70 km/h	60 km/h	49
	Traversée d'agglomération, Sections à vitesse réglementée ou cas particulier	50 km/h	34 km/h	31
	Sections à vitesse réglementée ou cas particuliers	30 km/h	24 km/h	15
	Cas particuliers	20 km/h	16 km/h	14
<b>Autoroutes/VCS</b>	Sections à vitesse réglementée	130 km/h	106 km/h	80
	Sections à vitesse réglementée	110 km/h	98 km/h	80
	Sections à vitesse réglementée ou cas particuliers	90 km/h	78 km/h	66
		70 km/h	60 km/h	49
		50 km/h	34 km/h	31
		30 km/h	24 km/h	15
		20 km/h	16 km/h	14
10 km/h	4 km/h	4		

Figure 5 : Grille de vitesse modifiée mise en place par le service SIG (SDIS 57, 2019).

La conclusion de l'étude vient poser les bases de ce stage en souhaitant une poursuite de l'optimisation du réseau en incluant de nouveaux éléments de pondération : largeur des routes, double sens de circulation, sinuosité, pente, coûts des tournants et prise en compte des zones fortement pratiquées.

## 2. Le contexte particulier du département mosellan.

Si la question se pose de devoir affiner les temps de trajet au départ des casernes, c'est également parce que le département mosellan possède certaines particularités source d'enjeux pour la gestion opérationnelle. D'abord, le nombre de casernes de pompiers présentes dans le département constitue une problématique dans la nécessité de précision des listes de défense. En effet, quand on compare le parc immobilier du SDIS 57 aux autres SDIS de catégorie A on met facilement en évidence le nombre très important de casernes malgré une densité et une superficie comparable à d'autres départements. On dénombre 183 casernes (dont 37 UOA et 146 UOP) réparties sur l'ensemble du département.

<b>SDIS</b>	44	35	29	31	76	<b>57</b>	34	83	59	13	67	69
<b>Superficie km<sup>2</sup> (2018)</b>	6880	6775	6733	6309	6278	<b>6216</b>	6101	5973	5743	5087	4755	2715
<b>Densité km<sup>2</sup> (2018)</b>	205	157	135	218	200	<b>168</b>	190	178	454	400	239	572
<b>Casernes (2022)</b>	92	83	60	37	79	<b>183</b>	71	67	112	60	239	101

Tableau 1 : Comparaison de la superficie, de la densité et du nombre de casernes entre certains SDIS de catégorie A (INSEE, RP 1968-2018, sites web des SDIS)

On pourrait expliquer cette multiplicité des casernes par la densité moyenne relativement faible par rapport aux autres départements. Une densité moyenne plutôt faible suppose une population plus diffuse à l'échelle du département et donc la nécessité d'un nombre plus important de casernes pour assurer une couverture opérationnelle optimale. Mais en comparant à des départements comme l'Ille-et-Vilaine (35) ou le Var (83) ayant des densités moyennes équivalentes, le nombre de casernes reste bien plus élevé. Il en est de même pour la question de la superficie totale du département qui n'explique pas le nombre élevé de casernes en Moselle. Pour des superficies équivalentes dans des départements comme l'Hérault (34) ou la Seine-Maritime (76), le nombre de casernes du SDIS 57 est à nouveau multiplié par deux.

C'est en observant les SDIS voisins au département de la Moselle que l'on arrive à dégager quelques pistes pouvant expliquer cette tendance particulière dans l'organisation territoriale des pompiers. En effet, on peut mettre en évidence un chiffre particulièrement élevé dans le département du Bas-Rhin avec un total de 239 casernes pour une superficie départementale plus faible qu'en Moselle. On pourrait donc supposer que cette multiplicité des casernes se traduit par des héritages historiques dans la région, avec une présence encore forte des casernes à l'échelle communale malgré le processus de départementalisation des services. Cette dynamique se confirme dans le SDIS du Haut-Rhin (68), également voisin proche de la Moselle. Au-delà des 41 unités opérationnelles (centres de secours principaux et centres de secours), l'organisation territoriale du SDIS fait appel à plus de 200 "*centres de première intervention*", des anciennes casernes "*datant d'avant départementalisation et rattachées à un CIS*" (SDIS 68). Cette multitude de casernes à l'échelle communale ou intercommunale témoigne de cette ancienne organisation territoriale, désormais centrée autour de bassins de couverture à une plus large échelle.

Il est néanmoins important de nuancer cette distinction entre le SDIS 57 et les autres départements. Le processus de regroupement opérationnel des casernes autour des bassins de couverture s'opère également en Moselle, entraînant au passage la disparition de certaines casernes communales. On dénombrait un total de 287 casernes en 2009, pour 235 casernes en 2018 et enfin 183 casernes en 2022 (Rondelli, 2009. SDACR, 2018. SDIS 57, 2022).



Figure 6 : Carte de localisation des UOP et UOA en Moselle, découpage par bassins de couverture (SDIS 57, 2022)

Ce nombre de casernes élevées, propre au département de la Moselle, constitue un véritable enjeu pour notre étude. La proximité entre les différentes casernes nécessite en effet une précision importante afin de déterminer l'unité la plus proche des lieux d'intervention. Cette problématique de la proximité des casernes se révèle d'autant plus à travers la carte de localisation des différentes UOP et UOA du département. La multitude des casernes dans le bassin de couverture de Thionville, de Forbach Freyming Merlebach ou de Sarrebourg nécessite un affinage important du graphe routier dans le cadre d'un déclenchement d'intervention. D'autant plus lors de l'utilisation des listes de défense d'Urgence Absolue où chaque minute compte, et où il est vital d'avoir su déterminer la caserne la plus proche via notre distancier amélioré. La problématique de la prise en compte de nouveaux éléments de pondération dans le graphe comme la sinuosité ou la pente des tronçons s'applique également dans ce contexte de proximité des casernes. L'est du département est marqué par la présence de zones montagneuses dans le massif Vosgien, impliquant la présence de routes de forêts qui abordent régulièrement des courbes et un dénivelé important. Ce type de route va influencer la vitesse des VL, et surtout des PL du SDIS, et possiblement fausser le classement des listes de défense dans ces zones. Dès lors, il est important de venir affiner nos temps de trajets en ajoutant ces nouveaux éléments afin de garantir à nouveau l'affectation de la caserne la plus proche des lieux d'une intervention.

### 3. Le passage vers NexSIS : l'ouverture vers la BD TOPO.

Cette étude s'inscrit également dans un contexte particulier qui explique certaines missions du stage. En effet, l'évaluation des données du SDIS 57 et la comparaison à d'autres bases de données exploitables font écho à une possible migration des données internes vers une nouvelle base de données. Cette transition s'explique essentiellement par la mise en place progressive d'un SGO national, commun à l'ensemble des SDIS : NexSIS. Dirigé par l'Agence Numérique de la Sécurité Civile, ce programme national est défini par le décret n° 2019-19 du 9 janvier 2019. Parmi les nombreux objectifs de ce projet, on retrouve notamment une transition progressive des données internes aux SDIS vers une base de données unifiée fournie par l'IGN, semblable à la BD TOPO actuelle.

Dans ce contexte d'évolution des données, cette étude constitue donc pour le SDIS 57 une première approche dans l'analyse et l'évaluation de la qualité des données fournies par l'IGN. On va notamment s'intéresser à la BD TOPO au travers de la construction d'un graphe routier, afin d'avoir une première approche sur la grille de vitesse proposée par l'IGN. A ce titre, on pourra établir un premier comparatif entre la qualité de ces deux jeux de données en y dégagant les atouts et les faiblesses de chacun. Il s'agira également de mettre en évidence les obstacles rencontrés ainsi que les perspectives possibles pour ces deux bases de données. Dès lors, on pourra en dégager un premier bilan qui favorise ou non la migration des données internes vers les données de la BD TOPO, dans le cadre de l'amélioration du calcul de graphes routiers à l'échelle du département.

### 4. Une première approche vers des listes de défense dynamiques.

Toujours dans son objectif d'améliorer la précision du graphe routier, cette étude s'inscrit également dans le contexte particulier d'un passage possible vers des listes de défense dynamiques. Ce projet du SDIS 57 vise à remplacer les listes de défense en place à l'heure actuelle, en prenant en compte de nouveaux facteurs dans le calcul du temps de trajet d'une caserne vers les lieux d'une intervention. La LDD dynamique inclurait une évolution automatisée du classement des casernes en prenant en compte deux facteurs principaux : la géolocalisation du véhicule lors du déclenchement de l'intervention ainsi que le statut des personnels disponibles pour chaque caserne (notamment en appliquant une pénalité sur les personnels en astreinte).

Le schéma ci-dessous synthétise les répercussions de la mise en place de ces listes :



Figure 7 : Schéma simplifié des modalités de calcul du coût des trajets dans une liste de défense dynamique (SDIS 57, 2022).

Cette mise à jour régulière des données au sein des LDD dynamiques n'est pas encore mise en place par le SDIS 57, mais les travaux de ce stage constituent une étape préliminaire au développement du projet. En effet, en s'interrogeant sur la qualité des données routières exploitables, et en proposant des améliorations qui précisent la vitesse pour chaque tronçon, on tend à valider ce nouveau système de coûts de départs. Concernant le calcul des temps de trajets à partir de la géolocalisation des véhicules, la précision apportée par le graphe routier pourra aider dans le choix entre plusieurs véhicules proches d'une intervention dans des zones restreintes tel qu'un environnement urbain

dense. De la même manière, les travaux effectués dans ce stage peuvent permettre d'adapter les pénalités de départ en fonction des astreintes dans chaque type de zone du département. On pourrait supposer que le graphe amélioré calculerait des pénalités de départ plus importantes pour des effectifs en astreinte dans des zones urbaines très fréquentées ou des zones montagneuses fortement pondérées par la sinuosité. Dès lors, les différentes missions de ce stage entrent en jeu dans l'instauration progressive des listes de défense dynamiques en permettant de s'assurer du bon fonctionnement des nouveaux calculs de graphe routier. On peut cependant mentionner le fait que certains SDIS ayant mis en place des sites de défense dynamiques fixent la position des casernes dans les premiers rangs afin de s'assurer du maintien d'une caserne proche dans les listes dans l'éventualité où le classement dynamique fonctionnerait mal.

Il s'agit désormais de réaliser un état des lieux permettant de dégager des éléments pertinents dans le cadre du paramétrage des vitesses au sein d'un graphe routier, avec idéalement un contexte lié à l'utilisation d'un véhicule de secours.

### **III. Etat de l'art**

#### **1. Le peu d'expérimentations du calcul de vitesses en contexte d'urgence.**

L'état de l'art met en évidence un manque important d'expérimentations liées au paramétrage des vitesses dans un contexte de véhicule d'urgence. On recense très peu d'articles universitaires qui cherchent à affiner les temps de trajets dans le domaine universitaire français. On parvient difficilement à retenir des éléments pertinents dans le cadre de la construction d'un graphe. En s'intéressant aux articles universitaires liés à l'utilisation de véhicules dans un contexte d'urgence, les domaines sont variés et tendent à rendre notre analyse hors-sujet : recherche d'un meilleur calculateur d'itinéraire (Iglesias, 2017), analyse des risques suivis par les ambulances en intervention (Gormley, 2012), suivi des patients en cours de route vers les urgences (Wan, 2008). D'autres articles, bien que centrés sur de notre thématique, deviennent également inaccessibles face aux moyens nécessaires et aux méthodes employées : utilisation de l'intelligence artificielle et la réalité augmentée pour améliorer les temps de trajets (Bram-Larbi, 2020) ou encore utilisation du Deep Learning (Pereira, 2019) et d'autres systèmes poussés pour prédire les temps de trajet précisément (Zhao, Guo, 2016). Le déploiement de ces moyens à l'échelle du SDIS 57 n'est donc pas envisageable et l'on va privilégier des données plus accessibles.

Au travers de la construction de l'état de l'art nous avons pu tout de même mettre en évidence des éléments pertinents et plus accessibles dans le cadre de notre étude. C'est principalement la thèse de M. Soussi soutenue en 2013, sous la direction du laboratoire L2G de Nantes, que l'on va s'appuyer pour la suite de notre analyse. La thèse "Conception et réalisation d'un système d'information pour le calcul d'itinéraires destiné aux services d'urgence" nous permet de mettre en évidence un ensemble d'éléments qui pourraient nous aider à affiner la précision de nos temps de trajets en les pondérant selon certains critères. L'étude menée par M. Soussi consiste à l'élaboration d'un jeu de données GPS qui va suivre un véhicule du SMUR pendant plusieurs mois dans l'agglomération du Mans. A travers ces données, l'auteur analyse les temps moyens et met en évidence une pondération plus ou moins importante causés par certains éléments. Ces éléments sont notamment issus de la BD TOPO fournie par l'IGN : importance du tronçon, largeur du tronçon, nombre de voies, nature de la voie. D'autres éléments appartenant au paysage urbain viennent pondérer les temps moyens et se révèlent au travers de tableaux synthétiques. Il mentionne la distinction

entre tranches horaires “pleines” et tranches horaires “creuses” en notion avec la présence plus ou moins importante de trafic routier, ainsi que la présence des feux rouges.

Tranches horaires	Vitesse moyenne (km/h)	Ecart-type km/h	Vitesse médiane (km/h)
7h-9h	77	31	77
11h30-14h	78	34	78
16h30-19h	84	35	87
Reste de la journée	85	34	90

Tableau 4 Récapitulatifs des vitesses moyennes, des écarts types et des vitesses médianes observées en fonction des tranches horaires

Figure 8 : Tableau des vitesses moyennes selon les tranches horaires (Soussi, 2013)

Sans chercher à établir une grille de vitesses à partir de ces travaux, on retient les indicateurs mentionnés comme éléments potentiels de la pondération des vitesses. On réutilisera ces données dans la suite de notre analyse en essayant de les extraire à l'échelle du département de la Moselle. Il est également important certaines faiblesses dans cette thèse qui limitent l'exploitation des données. Outre la vieillesse des bases de données utilisées (BD ROUTE 500 et RGE de l'IGN), le manque d'explications sur certains éléments ne nous permet pas d'exploiter entièrement les possibilités de ces travaux. La thèse mentionne par exemple la présence d'un indice de sinuosité dans les données sans jamais expliquer sa source. D'autre part, plusieurs éléments présents dans l'étude ne sont pas applicables au sein du fonctionnement opérationnel du SDIS 57, notamment concernant la prise en compte d'horaires différentes dans le calcul des temps de trajet, ou la possibilité d'un service de suivi du trafic en temps réel.

D'autres éléments qui sont accessibles à notre échelle ont pu être mis en évidence dans le cadre de l'analyse d'éléments pondérateurs de la vitesse des véhicules sur un tronçon. Au travers de l'utilisation d'algorithmes complexes et d'intelligences artificielles, certaines thèses ont pu mettre en avant l'importance de certains éléments dans la réduction de la vitesse des véhicules de secours en intervention. Ces éléments physiques sont cependant facilement accessibles et exploitables à l'échelle du département en se basant sur des bases de données comme Open Street Map ou certains paramétrages de graphe que nous verrons par la suite.

On a notamment pu dégager de ces articles des éléments pondérateurs comme les ralentisseurs : *“Atkins & Coleman (1997) mentioned that different speed bumps lead to different delays for the rescue vehicles [...] Other factors that might have effects on the travel time are traffic lights, stop signs, traffic conditions, etc. (Budge & Ingolfsson, 2010)”* dans la thèse de I. Pereira et de G. Ren (2019), chercheurs à l'institut royal de technologie de Suède.

On a également pu dégager des éléments comme les tournants à gauche selon un article de 2019 produit par Z. Zhang et Q. He et issue de la revue *Journal of Intelligent Transportation Systems*. Ce coût des tournants est susceptible d'être paramétrable dans certains outils de calcul de graphe comme ArcGIS et reste donc une piste intéressante dans l'affinage de nos temps de trajets :

**Table 5.** Relations and significance levels of influential factors to travel time reliability.

	Influential factor	Estimate	Sd	t value	Pr(> t )
Link features	<b>Link length</b>	<b>- 0.0007</b>	<b>0.0001</b>	<b>- 5.49</b>	<b>0.000</b>
	<b>Number of left turn lanes</b>	<b>0.1693</b>	<b>0.0926</b>	<b>1.829</b>	<b>0.067</b>
	Number of through lanes	- 0.0216	0.0888	- 0.243	0.808
Traffic features	Number of right turn lanes	0.2114	0.1617	1.307	0.191
	Occupancy on left turn lanes*	- 0.0004	0.0019	- 0.187	0.852
	Occupancy on through lanes	0.002	0.0021	0.94	0.347
	Occupancy on right turn lanes	- 0.0051	0.0035	- 1.469	0.142
	<b>Volume on left turn lanes</b>	<b>- 0.0007</b>	<b>0.0004</b>	<b>- 1.827</b>	<b>0.068</b>
	Volume on through lanes	0.0001	0.0001	0.811	0.417
	Volume on right turn lanes	0.0008	0.0006	1.482	0.138
Time features	Intersection capacity utilization (ICU)	- 0.0968	0.256	- 0.378	0.705
	AMpeak_weekday	- 0.089	0.1804	- 0.493	0.622
	PMpeak_weekday	- 0.0813	0.1106	- 0.735	0.463
	Noon_weekday	0.0954	0.1667	0.572	0.567
	AMpeak_weekend	- 0.5102	0.5954	- 0.857	0.392
	PMpeak_weekend	0.137	0.2356	0.581	0.561
	Noon_weekend	0.0454	0.2238	0.203	0.839

Note. We use Pr(>|t|) as the symbol to indicate if a variable is significant or not. All bold lines are significant variables with Pr(>|t|) value less than or near 0.05.  
\*There are more than one directional lanes on a link. The occupancy and volume in our analysis refer to the average value.

Figure 9 : Tableau des facteurs influant (en gras) sur de potentiels écarts dans les temps de trajets des véhicules de secours (Z. Zhang et Q. He, 2019)

## 2. Dans un contexte plus général, la mise en évidence d'éléments pondérateurs de vitesse.

On a également pu mettre en évidence un article universitaire qui concerne plus généralement le calcul de coût dans le cadre d'un graphe routier. L'article "ODOMATRIX. Calcul de distances routières intercommunales" est produit en 2010 par le laboratoire CESAER, sous la direction de l'Institut national de la recherche agronomique. Destiné à la création d'un logiciel de calcul d'itinéraire à l'échelle nationale, les travaux de cet article permettent de mettre en évidence plusieurs éléments exploitables et pertinents dans le cadre de notre analyse. D'abord parce que l'étude propose une grille de vitesses qui se fonde sur plusieurs éléments qui pourraient être appliqués à l'échelle de la Moselle : le découpage en aires urbaines, le type de voie ainsi que l'horaire d'emprunt de la voie. L'article fait également mention de l'utilisation des données d'usage du sol comme facteurs de pondération. Il propose notamment l'utilisation des données Corine Land Cover pour découper l'espace et pondérer la vitesse des véhicules selon le paysage traversé. On retient cette idée d'une pondération du sol pour la suite de notre analyse.

Cet article est également important pour le reste de l'analyse car il est le seul à proposer une méthodologie de calcul de la sinuosité et de la pente pour chaque tronçon. La méthode de calcul de l'indicateur de sinuosité consiste à calculer le rapport entre la distance planimétrique et la distance réelle du tronçon. On laisse de côté leur méthodologie de calcul des pentes afin de se concentrer sur cette construction d'un indicateur de sinuosité dans la suite de notre analyse. Il s'agira de vérifier la validité de cette méthode à l'échelle du département. Malgré l'ancienneté de la donnée et un contexte qui n'est pas directement lié à aux services d'urgence, cet article est une source importante d'éléments qui pourront être analysés plus profondément dans la suite de notre étude.

## 3. Les méthodes utilisées par d'autres SDIS.

Au regard du manque d'articles universitaires accessibles qui se spécialisent dans l'étude des vitesses dans un contexte de secours, il est pertinent de s'intéresser aux méthodes employées par d'autres SDIS. Ayant pu assister au cours de ce stage à deux conférences réunissant une grande partie des géomaticiens des SDIS de France, on a pu observer que la thématique de l'amélioration du calcul des temps de trajets constitue une problématique

importante pour un certain nombre de départements. Ce qui a également pu ressortir dans cet état des lieux de problématique du paramétrage des vitesses, c'est l'hétérogénéité des méthodes employées entre les différents services. Certains SDIS n'appliquent aucune grille de vitesse modifiée et utilisent les vitesses réglementaires, d'autres mettent en place des pondérations plus ou moins poussées sur leur base de données internes ou sur les données de la BD TOPO. Enfin, certains SDIS font appel à des fournisseurs de données routières payantes tel que Navstreets afin de s'assurer de la mise à jour et de la pertinence de leur grille de vitesse.

Dans le cadre de notre étude, on s'intéresse essentiellement aux SDIS ayant pu appliquer des pondérations similaires à celles des objectifs de ce stage. Après avoir pris contact avec plusieurs, nous avons pu dégager un ensemble de méthodologies que l'on pourra analyser par la suite.

Le SDIS de Seine-Maritime a pu mettre en place certains éléments intéressants dans sa manière de pondérer les vitesses en exploitant les données de la BD TOPO. D'abord, le SDIS 76 a différencié deux listes de défense selon les horaires en calculant un graphe routier en journée et l'autre de nuit. De cette manière, la fermeture de certains tronçons et notamment d'un ferry maritime va être prise en compte dans les pénalités des temps de trajets réalisés de nuit. D'une certaine façon, cela suit les éléments présents dans la thèse de M. Soussi (2013) qui soulignent l'importance de prendre en compte les horaires de départ dans le calcul des temps de trajets. Ici, le SDIS 76 s'est adapté à la fermeture régulière de certains tronçons la nuit afin de prendre en compte les délais rallongés dans son SGO. Il est cependant important de rappeler que, comme expliqué précédemment, la mise en place de ces listes de défense selon l'horaire reste impossible à l'échelle du SDIS 57 pour des raisons techniques. détailler en spécifiant l'échelle fine des horaires

Le SDIS 76 applique une pondération sur ses vitesses essentiellement basée sur la présence d'un tronçon en zone urbaine ou non, sur la nature de la voie empruntée ainsi que sur l'importance du tronçon. L'emprise de la zone urbaine est cependant calculée à partir de plusieurs critères et jeux de données : Corine Land Cover, champ "Urbain" dans la couche des tronçons IGN, couche des zones d'habitation de la BD TOPO, buffer autour des bâtiments (plus de 20 m<sup>2</sup>) pour simuler la tache urbaine. Il s'agira donc de poursuivre nos travaux dans le cadre d'une pondération par appartenance à une zone urbaine, spécifiquement calculée afin d'en tirer une grille de vitesse semblable au SDIS 76 :

SDIS76												
Importance	1		2		3		4		5		6	
	Urbain	Non Urbain										
Type autoroutier	85	90	80	85	75	80						
Route à 2 chaussées	50	75	50	70	45	60	40	65	35	60		
Route à 1 chaussée	45	60	50	55	45	55	40	50	30	35		
Bretelle	40	45	45	45	45	45	45	45	30	30		
Rond-point	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
Bac ou liaison maritime sauf bac de duclair (3km/h)												
Route empierrée			10	10	10	10	10	10	10	10		
Chemin									1	1		
Sentier												
Piste cyclable												
Escalier												

Figure 10 : Grille de vitesses modifiée exploitée par le SDIS 76 (Chauvet, 2022.)

Le SDIS de Saône-et-Loire a également pu réaliser un ensemble de travaux dans le cadre de la vérification de la construction d'une grille de vitesses personnalisée. En s'appuyant

sur les données de la BD TOPO, le SDIS 71 a réalisé en 2021 une série de travaux cherchant à établir les vitesses moyennes par tronçon selon plusieurs comparatifs. Notamment en pratiquant une série de prises de chronos en insistant sur la diversité des horaires de passage, des distances de trajets, ainsi que sur types de routes variés. Après avoir établi une hiérarchie des tronçons dans la BD TOPO selon l'importance et la nature de la voie, le SDIS 76 a pu finalement établir une grille de vitesses modifiée pour chaque type et niveau de route en prenant en compte d'autres attributs qui viennent s'appliquer à certains tronçons. Par exemple, le niveau 1 des tronçons se construit en regroupant l'ensemble des routes en service d'importance 4 ainsi que les bretelles d'importance 1. On se retrouve alors avec une grille de vitesses complète dans sa manière de pondérer selon la hiérarchie du tronçon, en plus d'être vérifiée par une série de temps de référence construite par le SDIS. Ces travaux sont d'autant plus pertinents pour notre étude car ils s'intéressent aux vitesses PL en appliquant une surpondération de 25 % à chacune des vitesses calculées pour un VL.

Type GC	Véhicule léger						
	Vitesse par défaut	sens=Double sens	inclusion avec les objets ign.zone d'habitation	intersection avec les objets ign.zone_activité	accès_vl = Physiquement impossible	accès_vl = Restreint aux ayants droit	nature = Rond-point
Autoroute	125						
Route niv1	105	80					30
Route niv2	80		40	65			30
Route niv3	70		40	65			20
Route niv4	60		40	60			20
Route niv5	40		30		0	15	15
Route empierrée	30				0	15	
Chemin	10				0		
Sentier	0						
Piste cyclable	0						
Escalier	0						
En_construction	0						
En_projet	0						

Figure 11 : Grille de vitesses modifiée étudiée par le SDIS 71 (Gardey, 2022.)

Par la suite, on a également pu mettre en évidence certains travaux pertinents de la part d'un autre SDIS au regard de la création d'indicateurs de pente et de sinuosité. On s'est notamment intéressé à la mise en place de ces indicateurs au sein du SDIS des Hautes-Alpes, un département où les enjeux liés à la prise en compte du relief sont d'autant plus importants. Au-delà d'une grille de vitesse modifiée issue des données de la BD TOPO, le SDIS 05 a pu mettre en place une pondération de 0 à - 20 % des vitesses sur certains tronçons en fonction d'un coefficient de sinuosité et de pente calculé en amont. Dans le cadre du calcul de la sinuosité des tronçons, le SDIS 05 se base sur le nombre de points numérisés par tronçon divisé par la longueur du tronçon. Autrement dit, cette méthode présuppose une bonne qualité de la donnée, où la numérisation des tronçons dans un SIG s'est faite correctement. Cela implique donc que plus un tronçon possède de points, plus

l'on suppose qu'il possède une ou plusieurs courbes. Dans un autre registre, le SDIS 05 a également pu mettre en place un indicateur de pente selon la formule :

$$(altitude\ max - altitude\ min) / longueur\ du\ tronçon$$

Autrement dit, on va rapporter le dénivelé de chaque tronçon à sa longueur totale pour en déduire des voies plus ou moins pentues. Il s'agira donc d'exploiter ces méthodologies en les appliquant au département de la Moselle et en vérifiant leur pertinence au regard de la pondération des vitesses des véhicules du SDIS 57.

#### **4. Outils existants dans le calcul d'un graphe routier.**

Dans le cadre de la construction d'un graphe routier, nous disposons de plusieurs outils afin de calculer une matrice de coût sur une série d'itinéraires. On distingue les outils de calcul de graphe aux plateformes de calcul d'itinéraire comme Maps ou Waze. En effet, le calcul d'un graphe va permettre d'insérer une grille de vitesse personnalisée afin de calculer le coût en temps ou en distance pour un ou plusieurs itinéraires donnés. En manipulant nos données de vitesse, nous pourrions faire en sorte que les coûts calculés via nos outils de calcul de graphe correspondent au mieux à un référentiel donné. A l'inverse, les plateformes de calcul d'itinéraire comme Waze ou Google Maps ne nous permettent pas d'accéder à la grille de vitesse exploitée dans le calcul du graphe. De ce fait, on ne peut pas modifier nos paramètres en modifiant nos données de vitesse via ces outils-là.

De nombreux outils permettent de calculer un graphe via des logiciels de SIG. Via ArcGIS, l'extension Network Analyst nous propose de nombreux outils d'analyse du réseau : calcul d'isochrones, chemin le plus court, calcul d'une matrice de coûts OD. De la même manière, les extensions QNEAT3 et Valhalla dans QGIS proposent les mêmes traitements d'analyse de réseau. QGIS inclut également des outils d'analyse de réseau dans ses dernières versions.

On met de côté l'outil Valhalla dans le cadre de cette étude car l'extension nécessite la création d'un compte Mapbox et clé API pour pouvoir utiliser l'intégralité des fonctionnalités du paramétrage. Néanmoins, Valhalla reste un outil dans QGIS complet et en cela il constitue une perspective envisageable dans le cadre d'autres études liées au paramétrage d'un graphe routier.

Dans le contexte de cette étude, il est nécessaire de choisir un seul outil de calcul de graphe que l'on utilisera tout au long de nos travaux afin de ne pas fausser les résultats. En effet, le calcul du coût en temps pour un trajet donné peut varier entre deux outils. Ces variations s'expliquent par la prise en compte de coûts d'entrée et de sortie pour chaque tronçon emprunté, mais également par des différences possibles dans les paramètres d'accélération progressive du véhicule à chaque changement de tronçon. Par conséquent, on peut se retrouver avec deux temps de trajets différents pour un même itinéraire donné. On peut paramétrer ces types de coûts dans ArcGIS, là où QNET ne permet pas le paramétrage de ces coûts et ne spécifie pas leur méthode de calcul dans la documentation disponible. Il en est de même pour les outils d'analyse de réseau intégrés à QGIS, qui fournissent uniquement un coût total sans spécifier les coûts en entrée/sortie, ni leurs modalités de calcul.

L'atout principal de QNEAT3 réside dans sa facilité d'utilisation lors de calculs d'un graphe routier. Une fois la couche du réseau sélectionnée, il suffit de renseigner les règles de sens de circulation ainsi qu'un champ de vitesse pour pouvoir mettre en place n'importe quelle requête. L'extension QNEAT3 se distingue alors des outils de Network Analyst dans ArcGIS qui nécessitent un paramétrage plus complexe. Afin de pouvoir exécuter des requêtes

d'analyses de réseau comme le calcul d'une matrice de coûts OD, ArcGIS nécessite la construction d'un jeu de données réseau en amont. Lors de la création de cette couche, l'utilisateur doit spécifier manuellement un ensemble de paramètres afin d'établir manuellement la méthode de calcul des coûts en temps et en distance, les restrictions applicables aux tronçons du réseau (hauteur maximale, poids maximal...), les règles de sens de circulation et tout autre hiérarchie, restriction, descripteur ou coût que l'on souhaite appliquer dans notre graphe routier. Cette procédure de paramétrage manuel du jeu de données réseau nécessite une certaine maîtrise de la part de l'opérateur qui souhaite utiliser les outils de Network Analyst (à noter cependant que la plupart des paramètres sont calculés automatiquement si l'on incorpore des données routières ESRI comme celles de la base Navstreets/HERE).

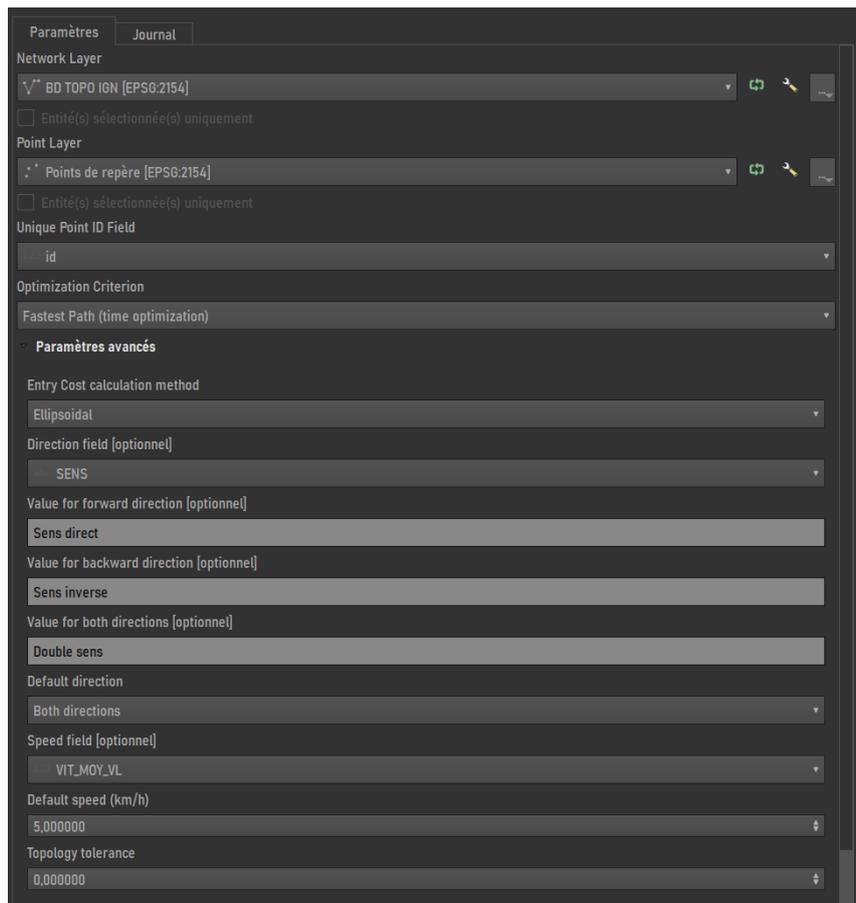


Figure 12 : Interface d'utilisation de l'extension QNEAT3 appliqué à la BD TOPO.

Le défaut principal de l'extension QNEAT3, qui va favoriser l'utilisation des outils Network Analyst pour la suite de nos travaux, réside dans le fait qu'il ne prend pas en compte les différences de niveaux entre les tronçons lors de ses calculs. En effet, la prise en compte d'une dimension Z est essentielle lors du calcul d'un itinéraire afin de ne pas fausser les temps de trajets finaux. Sans tenir compte de la hauteur entre nos différents tronçons, le graphe routier va faussement s'attribuer des raccourcis non-empruntables dans la vie réelle. Ces erreurs se retrouvent notamment au niveau des autoroutes dans QNEAT3 où l'itinéraire passe d'une autoroute à une voie qui la surplombe, supprimant tout l'enjeu des accès d'entrée et de sortie propres aux autoroutes. Cette problématique ne s'applique pas dans le cas des calculs via ArcGIS, car l'outil va prendre en compte ces différences de niveau en demandant en amont le paramétrage de la dimension Z : soit par l'utilisation d'un système de projection, soit en renseignant les champs qui contiennent les valeurs des niveaux.

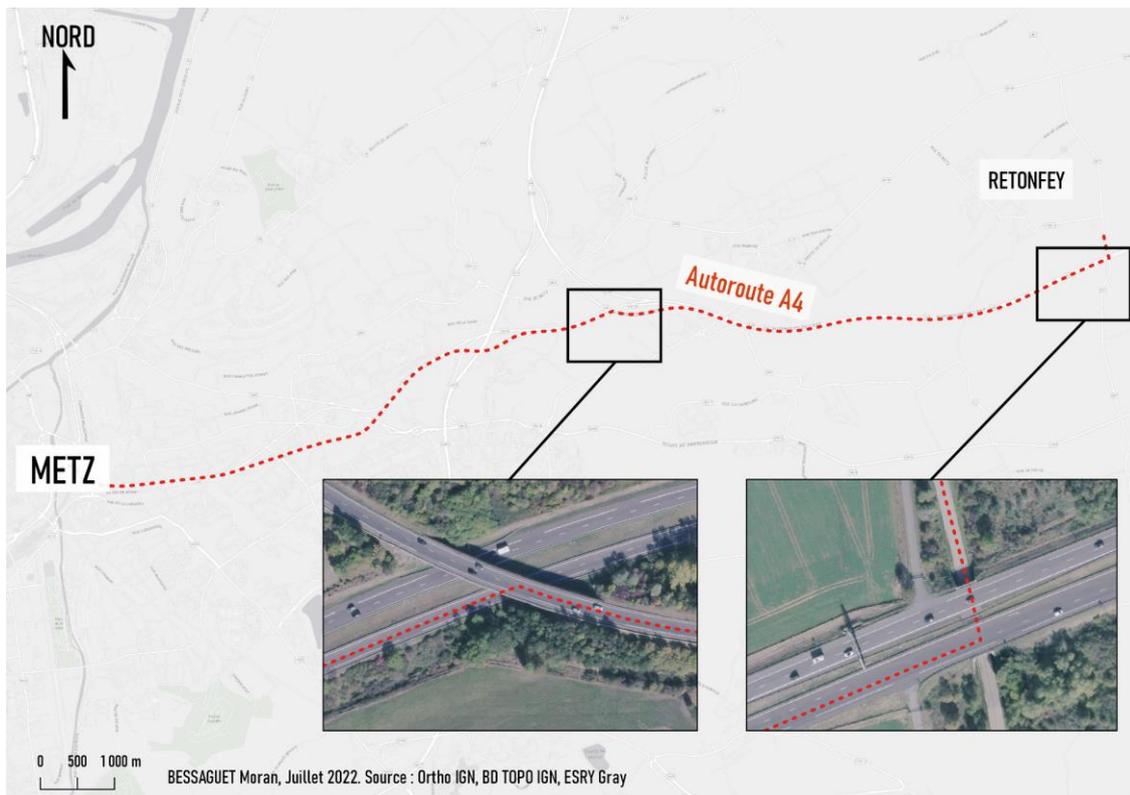


Figure 13 : Exemple d'une erreur de connexion entre deux niveaux de tronçons via QNEAT3.

On dresse alors le bilan des outils de calcul de graphe suivant :

Outil de calcul du graphe	Nécessite une licence/clé ?	Unités du coût en temps	Prise en compte de la dimension Z	Facilité d'utilisation	Paramétrage des coûts en entrée/sortie	Documentation
Network Analyst (ArcGIS)	Licence nécessaire	Paramétrable	Oui	Maîtrise nécessaire	Oui	Complète
QNEAT3 (QGIS)	Non	Secondes	Non	Simple	Non	Partielle
Outils Analyse de Réseau (QGIS)	Non	Heure	?	Simple	Non	Complète
Valhalla (QGIS)	Clé API nécessaire	?	?	?	?	Complète

Tableau 2 : Synthèse des outils de calcul de graphe routier accessibles pour notre étude.

## 5. Problématique et hypothèses de départ.

Tout au long de nos travaux, une problématique centrale va faire converger l'ensemble de nos réflexions :

**En considérant les données routières exploitables, et en intégrant la faisabilité opérationnelle de sa mise en place par le SDIS 57, quelles améliorations peuvent être apportées dans le paramétrage des vitesses à l'échelle du département ?**

Cette problématique cherche à synthétiser l'ensemble des éléments recueillis dans l'état de l'art, tout en essayant de répondre à aux missions de ce stage. Deux notions importantes apparaissent au travers de cette problématique : le caractère exploitable des données ainsi que la possibilité réaliste d'une mise en place des améliorations au sein du SDIS. La dimension exploitable des données met en avant le fait que les bases de données qui seront étudiées et comparées doivent rester accessibles (récupération facilitée) et présenter une qualité de la donnée plus ou moins élevée. Tout cela afin d'envisager une possible migration de ces données extérieures vers la base de données interne au SDIS 57. Sans ces prérequis de qualité et d'accessibilité, on ne pourrait pas envisager la maintenance des données dans le temps et donc de l'ensemble des traitements qui en découlent. La deuxième notion concernant la mise en place réaliste des améliorations est également essentielle. L'état de l'art a su mettre en avant des éléments très efficaces dans l'amélioration de la précision des temps de trajets et de la rapidité d'intervention d'un véhicule. Il est cependant nécessaire que ces éléments restent envisageables avec les moyens dont disposent le SDIS 57 et son service SIG. On fait notamment référence à des éléments comme la mise en place de listes dynamiques selon des horaires creuses ou pleines, l'instauration d'un service dédiée à l'analyse et à la gestion du trafic en temps réel (M. Soussi, 2013) ou encore à la mise en place d'algorithmes de Deep Learning dédié à l'analyse des temps de trajets des secours (Kherraki, 2022) nécessitant une formation complète du service SIG dans ces nouvelles compétences.

Face à la multitude des éléments recueillis dans ce premier état des lieux, on peut dresser une liste d'hypothèses de départ concernant certaines pistes d'amélioration du graphe routier. Ces hypothèses vont constituer nos différentes étapes de travail, où l'on va tenter d'appliquer chacun de ces éléments au territoire de la Moselle afin d'en vérifier la validité et la pertinence face à l'objectif de rendre plus précis nos calculs de temps de trajet. On cherche ainsi à dresser un bilan pour chacune des hypothèses suivantes :

- La grille de vitesse fournie par la BD TOPO de l'IGN propose des temps de trajets plus précis que ceux calculés grâce aux paramétrages que l'on a pu étudier.
- Plusieurs facteurs de pondération de la vitesse peuvent être appliqués à l'échelle de la Moselle : l'occupation des sols, la présence d'impasses, de feux rouges ou de ralentisseurs.
- La méthodologie employée par le SDIS 05 dans le calcul des coefficients de sinuosité et de pente reste la plus fiable possible pour nos bases de données.
- Au vu des caractéristiques de la base de données interne au SDIS 57, le basculement vers une base de données extérieures comme la BD TOPO ou HERE semble essentiel pour la construction de notre graphe routier.

Il s'agira donc, tout au long de nos travaux, de répondre à l'ensemble de ces hypothèses afin de les valider et de mettre en évidence leur invalidité. L'ensemble des étapes de travail, de l'état de l'art jusqu'à la mise en place des pondérations dans le département, en passant par la récupération et construction des indicateurs, sont détaillés dans le diagramme suivant :

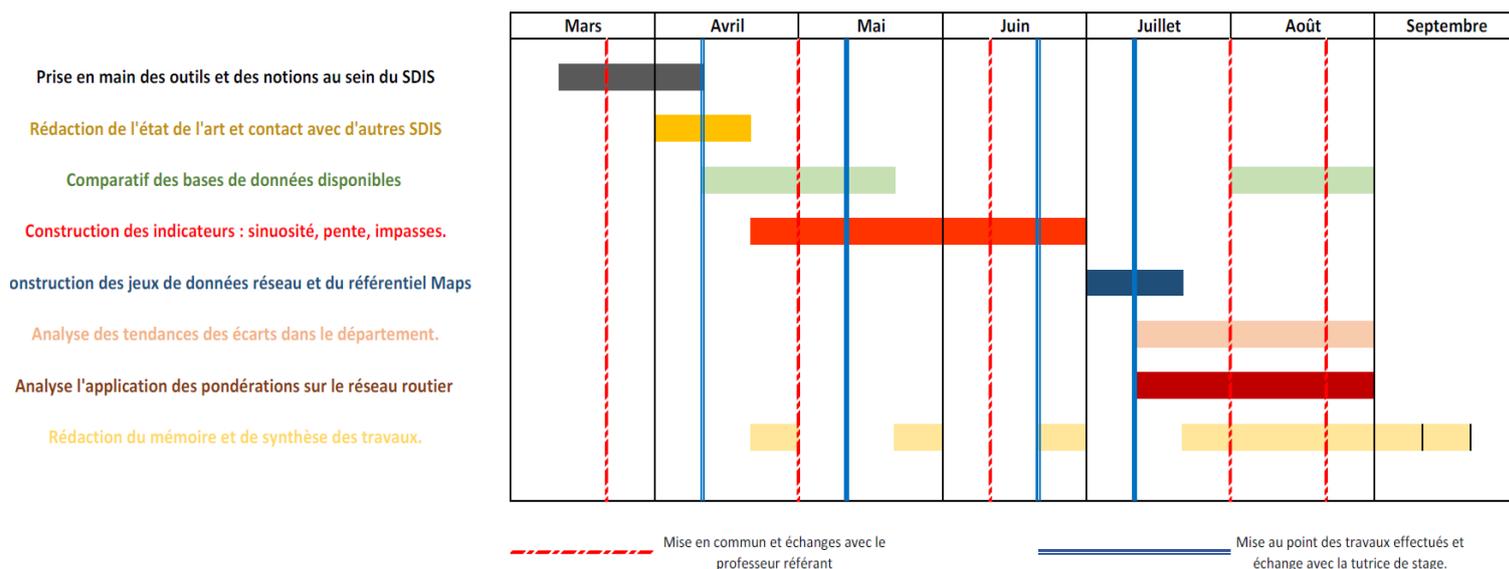


Figure 14 : Diagramme de Gantt du stage au SDIS 57.

## IV. Données disponibles et construction d'indicateurs

### 1. Analyse et comparaison des bases de données routières

En établissant un comparatif des différentes bases de données exploitables, on cherche à mettre en évidence les points forts/faiblesses de chacun des jeux de données sous le prisme de la construction d'un graphe routier. Cette partie de l'analyse vise notamment à évaluer la qualité des données du SDIS 57 par rapport à celles qui peuvent être fournies par l'IGN ou d'autres services. La finalité de cette analyse vise notamment à prouver la nécessité de conserver les données internes au SDIS, ou à privilégier une migration vers un fournisseur de données plus précises et pertinentes. Une base de données routière se définit comme un jeu de données réunissant un ensemble de tronçons pour une emprise géographique déterminée, en précisant leur géométrie et les attributs qui les concernent à un degré de précision plus ou moins élevé. Peu de bases de données sont accessibles dans le cadre du réseau routier, notre recherche nous conduit à réaliser un comparatif entre trois jeux de données aux caractéristiques hétérogènes. C'est sur ces données que l'on cherche à appliquer par la suite nos traitements et notre grille de vitesse améliorée.

#### 1.1 La base de données SIG-SGO du SDIS 57.

Comme mentionné précédemment, les données routières de la base interne au SDIS 57 se concentrent au sein de la table *a\_voies\_et\_troncons*. Intégrées dans la cartographie du SGO Artemis, ces données cherchent surtout à répondre à des besoins opérationnels dans le contexte des sapeurs-pompiers. Cela se traduit par des champs essentiellement destinés à localiser rapidement les lieux au travers des intitulés des voies, fournissant des indices sur la direction de la voie et sur des points de repère environnants (surtout sur des portions rurales, les rues en zone urbaines sont mentionnées par leur intitulé). Quelques exemples

de tronçons de la table mettent en évidence cette spécificité, qui rend au passage le travail de correspondance relativement complexe avec d'autres bases de données :

- 2X2 D654 > TREVES / BASSE HAM PR00
- VERS BOUSSE (D1)
- CHEMIN D'EXPLOITATION (D77 FAXE)
- DE LA ZI VERS ALTVILLER
- ROND POINT ENTRE GUENANGE ET AY SUR MOSELLE (D1)
- ENTRE MARIMONT ET DOMNON (D27)
- 021.1 T BOULANGE > FONTOY

L'emprise géographique des tronçons renseignés dans la base de données se concentre au sein du département de la Moselle, avec seulement l'essentiel des tronçons hors du département centrés autour de l'autoroute A4 qui relie la Moselle en traversant le Bas-Rhin, et dans les zones d'interopérabilité entre les SDIS du 54 et du 67. En juin 2022, on dénombre ainsi 121 639 tronçons valides pour une couverture spatiale de plus de 20 000 km de long.

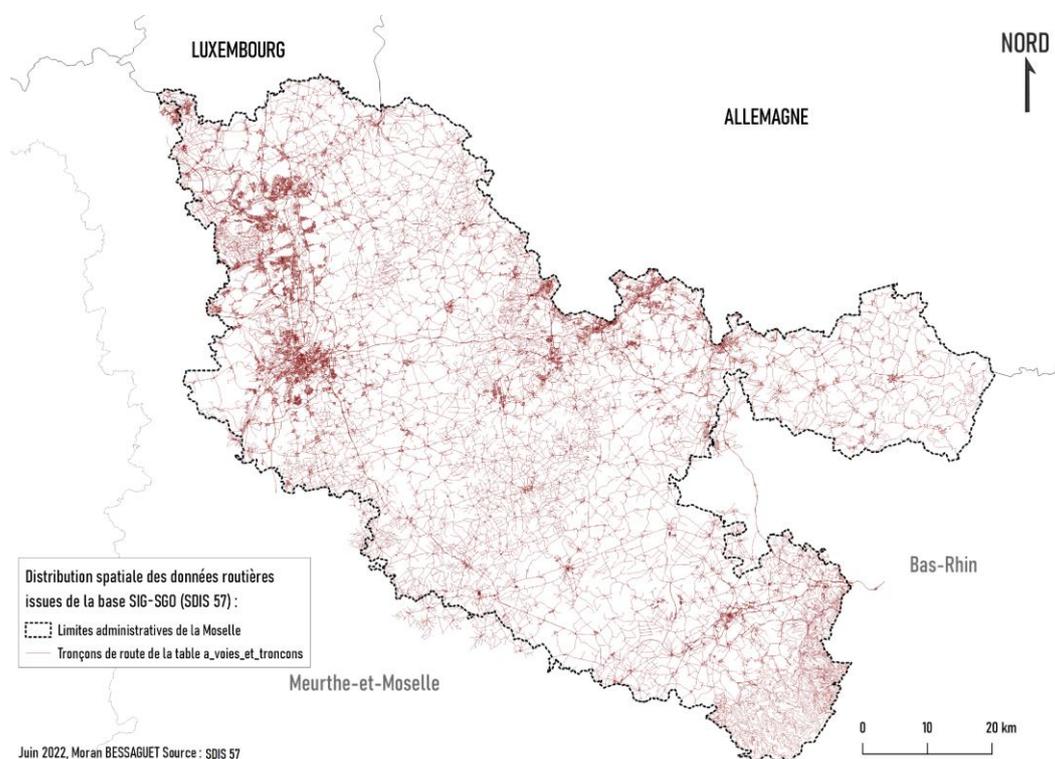


Figure 15 : Carte de localisation des tronçons de la BD SIG-SGO (SDIS 57).

La mise à jour de cette base de données est assurée par un suivi constant du service SIG. Cette modification continue des données se fait également via les remontées des sapeurs-pompiers intervenant lors d'une opération, permettant de corriger de possibles erreurs concernant certains tronçons. Il peut s'agir d'une correction de vitesse, d'une alerte sur le manque d'une voie récemment construite, d'un manque d'accessibilité constaté ou encore d'une erreur de sens de circulation. Ce système de remontées, doublé par la prise en compte manuelle des arrêtés de circulation envoyés au service SIG, constituent l'atout principal de cette base de données.

La donnée n'est pas directement applicable à un graphe routier, nous devons la rendre carrossable en supprimant les voies piétonnes libellées "PIET" dans le champ a\_typ\_voie.

## 1.2 Les données IGN : la BD TOPO V3.

Dans la logique du passage progressif vers NexSIS, marqué par l'ouverture aux données de l'IGN, il semble important de réaliser un comparatif avec les données routières déjà existantes qui sont fournies par ce service. Parmi le catalogue de données proposé par l'IGN, la BD TOPO V3 semble le jeu de données le plus pertinent dans le cadre de notre analyse. Cette base de données se définit comme la *“description vectorielle, structurée en objets, des éléments du territoire et de ses infrastructures, de précision métrique”* (IGN, Juin 2022). Parmi ces vecteurs se trouve l'ensemble des tronçons à une échelle donnée ainsi qu'une série d'attributs pour les décrire. On peut s'assurer de la qualité des données fournies par une agence gouvernementale au travers de la documentation complète accessible en ligne, qui vient résumer les sources et la méthodologie de construction de chacune des données. On vient récupérer sur le site de l'IGN les données de la BD TOPO V3 du département de la Moselle (millésime de mars 2022).

En mars 2020, des travaux avaient déjà été effectués en collaboration avec l'IGN afin de mesurer l'impact d'une migration des données internes au SDIS vers celle de la BD TOPO. La conclusion de ces travaux a pu mettre en évidence la complexité d'un appariement entre les deux bases de données sans la création d'une table de correspondance (notamment via un ETL). Néanmoins, l'hybridation des deux jeux de données viendraient renforcer des données non-présentes (attributs et géométries) dans la BD TOPO, en plus de permettre l'intégration d'un système collaboratif de signalements/extractions avec l'IGN. La migration vers les données IGN n'était donc pas obligatoire mais fortement recommandée.

Les données issues de la BD TOPO V3 du département 57 se distinguent assez fortement de la BD du SDIS 57. En premier lieu par la couverture spatiale du jeu de données : la couche *TRONCON\_DE\_ROUTE* intègre l'ensemble des tronçons dans une zone tampon de 5km autour du département. On dénombre ainsi 345 127 tronçons, dont 269 988 voies au sein du département. Cela met déjà en évidence l'atout principal des données IGN avec plus du double de la couverture spatiale que fournit la BD du SDIS à une échelle équivalente. En tout, les tronçons de la BD TOPO couvrent plus de 52 000 kilomètres.

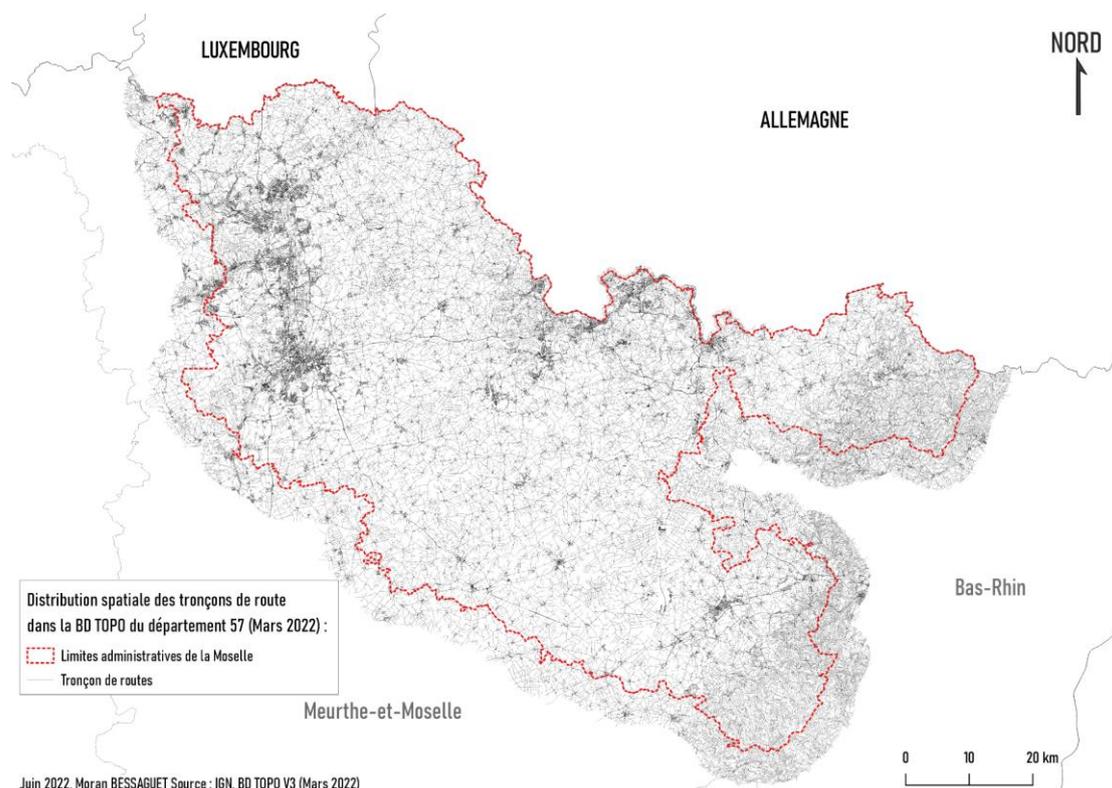


Figure 16 : Carte de localisation des tronçons de la BD TOPO V3 de Mars 2022 (IGN).

A nouveau, les données routes de la BD TOPO ne sont pas directement intégrables dans un graphe routier. Afin de filtrer les tronçons carrossables, le champ "Accès VL" nous renseigne sur les tronçons impraticables en véhicule léger (ni en poids-lourd logiquement) avec la valeur "Physiquement impossible.". Une fois ces 53 398 tronçons supprimés, on se retrouve donc avec un réseau routier navigable en VL.

La principale faiblesse de la BD TOPO réside dans sa fréquence d'actualisation par rapport à la BD SIG-SGO. En effet, la publication des données de la BD TOPO se réalise avec un intervalle de plusieurs mois (environs 3 mois), là où les mises à jour du SDIS 57 sont poussées dans le SGO sur une fréquence hebdomadaire. Les écarts entre les fréquences de mises de la BD TOPO constituent également un problème d'égalité entre territoires ruraux profonds et des espaces moins marginaux en sachant que ces données permettent le fonctionnement opérationnel le plus efficace des sapeurs-pompiers mais que :

*"la mise à jour des tronçons de routes de type autoroutier, national et départemental permet un décalage maximum de 6 mois avec la réalité terrain. Le réseau routier portant un nom de voie est actualisé au maximum tous les ans. Le reste du réseau routier peut avoir une actualité allant jusqu'à 3 ou 4 ans". (IGN, Juin 2022).*

Au travers de ces données routières, l'IGN fournit dans la documentation de la BD TOPO une grille de vitesses pour véhicule léger basée sur plusieurs critères : la nature de la voie, son importance dans le réseau, sa localisation en zone urbaine/rurale et l'appartenance ou non à une autoroute. Il se distingue ici de la grille du SDIS 57 en proposant des vitesses automatiquement plus basses dans des zones urbaines et en établissant une hiérarchie des voies basée sur les connectivités qu'elles apportent (liaison entre métropoles, liaisons départementales, liaisons intercommunales.). On vient donc à distinguer plusieurs vitesses selon un même type de route (ex : bretelle d'importance 5 à 35 km/h contre 45 pour les belles de plus grande importance) ce qui semble détailler le niveau de précision dans le calcul, reste à vérifier les conséquences sur l'amélioration des temps de trajets. L'explication des modalités de calcul des vitesses moyennes par tronçon nous permet de construire la grille de vitesses suivantes (disponible en annexe) :

ZONE	Type de voie	Vitesse moyenne attribuée	Nombre de tronçons attribués
URBAIN	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 1	100	297
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 2	95	0
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 3	90	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 1	95	27
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 2	90	11
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 3	85	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 4	67	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 5	67	0
	Route à 1 chaussée et Importance 1	50	0
	Route à 1 chaussée et Importance 2	50	2873
	Route à 1 chaussée et Importance 3	45	7147
	Route à 1 chaussée et Importance 4	40	15610
	Route à 1 chaussée et Importance 5	30	74351
	Route à 1 chaussée et Importance 6	??	381
	Route à 2 chaussées et Importance 1	50	0
	Route à 2 chaussées et Importance 2	50	543
	Route à 2 chaussées et Importance 3	45	407
Route à 2 chaussées et Importance 4	40	221	
Route à 2 chaussées et Importance 5	35	160	
RURAL	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 1	125	984
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 2	115	0
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 3	100	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 1	105	233
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 2	100	149
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 3	95	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 4	90	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 5	90	0
	Route à 1 chaussée et Importance 1	67	0
	Route à 1 chaussée et Importance 2	67	3167
	Route à 1 chaussée et Importance 3	63	6325
	Route à 1 chaussée et Importance 4	58	13550
	Route à 1 chaussée et Importance 5	35	42723
	Route à 1 chaussée et Importance 6	??	113
	Route à 2 chaussées et Importance 1	80	6
	Route à 2 chaussées et Importance 2	75	778
	Route à 2 chaussées et Importance 3	67	480
Route à 2 chaussées et Importance 4	67	185	
Route à 2 chaussées et Importance 5	65	149	
AUTRES	Rond-point	25	2950
	Route empierrée	10	39265
	Bretelle Importance 1	45	88
	Bretelle Importance 2	45	291
	Bretelle Importance 3	45	457
	Bretelle Importance 4	45	194
	Bretelle Importance 5	35	95
	Chemin importance 5	1	74890
	Sentier	0	49923
	Piste cyclable	0	2046
Escalier	0	719	

Figure 17 : Synthèse du nombre de tronçons attribués à une vitesse moyenne et à un type de voie à l'échelle de la Moselle (BD TOPO IGN, 2022).

### 1.3 Synthèse du comparatif entre BD TOP et Base SIG-SGO.

On réalise une synthèse du comparatif des champs entre les deux jeux de données (disponible en annexe) :

La BD TOPO va admettre une pondération selon l'espace traversé, ici en dissociant les tronçons en zone urbaines et rurales. Il s'agira de poursuivre et d'affiner ce découpage du territoire dans la suite de l'analyse.

Champ	TYPE DE TRONÇON	ACCES RESTREINT	LIMITE HAUTEUR	LIMITE LARGEUR	LIMITE LONGUEUR	LIMITE POIDS	PRESENCE D'OBSTACLES	SENS DE CIRCULATION	VITESSE LEGALE	VITESSE VL	VITESSE PL	ROND POINT	HIERARCHIE DU RESEAU	NOMBRE DE VOIES	LARGEUR	ACCES POSSIBLE EN VL	PAYSAGE TRAVERSE
Nom de la voie dans la base SIG-SGD	a_type_voie	restriction_acces	restriction_hauteur	restriction_largeur	restriction_longueur	restriction_poids	obstacle_debut/fin	sens_de_circulation	vitesse_reglee_montree	vitesse_spe_vf	vitesse_spe_pl	round_point					
Valeurs uniques du champ	VCS, VC, RN, RD, PIET, CHE, AUT	NULL	NULL 4 m - 6,8 m	NULL 2 m - 4,4 m	NULL 3,5 m - 4,5 m	NULL 11 - 25 t	NULL Bornes, Bornes Amovibles, Chaines Barrières	N, FT	130, NULL, 70, 40, 10, 110, 50, 20, 90, 30	0,34,98,4, NULL, 40, 106, 10, 14, 8, 16, 24, 60, 29	0,66,4, NULL, 10, 45, 14, 15, 80, 17, 49, 19, 31	NULL 1	X	X	X	X	X
Nom de la voie dans la BD TOPO	Nature	Nature de la restriction	Restriction de hauteur	Restriction de largeur	Restriction de longueur	Restriction de poids total		Sens de circulation		Vitesse moyenne VL		X	Importance	Nombre de voies	Largeur de chaussée	Accès véhicule léger	Urbain
Valeurs uniques du champ	Escalier, Type autoroutier, Piste cyclable, Chemin, Route empierrée, Sentier, Bretelle, Route à 1 chaussée, Route à 2 chaussées, Rond point	NULL Passage barré Voie verte Entrée avec gardien	NULL 1,8 m - 4,8 m	NULL	NULL	NULL 1,5 t - 40 t	X	Double sens, Sens direct, Sens inverse	X	0, 1, 10, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 58, 63, 65, 67, 70, 75, 80, 90, 95, 100, 105, 125	X	Précisé dans nature	1 à 6	NULL 0, 1, 2, 3, 4, 5	NULL 0 m - 14 m	Physiquement impossible/Restr. ent. aux ayants droit/A. péage/Libre	OUI, NON

La nature des tronçons est plus détaillée dans la BD TOPO que dans les données du SDIS 57. On pourrait plus facilement distinguer une tendance globale selon le type de voie.

Malgré le nombre égal de champs de restriction, une analyse des valeurs montre de très fortes disparités dans le renseignement de ces données (IGN/SDIS) :  
 Hauteur : 314 / 127  
 Largeur : 0 / 36  
 Longueur : 0 / 2  
 Poids : 692 / 92  
 Ces données sont pourtant des enjeux importants dans l'accessibilité de certains véhicules du SDIS dans des zones contraintes. La mise en commun de ces données semble recommandée.

La BD TOPO ne renseigne pas la présence d'obstacles sur le tronçon, cela peut jouer sur l'accessibilité des véhicules lors d'une intervention.

Seule les données du SDIS 57 proposent une grille de vitesse spécialisée pour les PL. Il ne sera pas possible d'établir un comparatif de cette grille avec les données de l'IGN. D'autant plus que le travail de correspondance de la grille de vitesse VL entre le SDIS et l'IGN reste déjà assez complexe.

La BD TOPO trouve des atouts dans sa description plus poussée des tronçons, qui peut mener à un pondération plus détaillée en fonction de ces champs. Ces trois champs sont notamment exploités dans la thèse de Soussi (2013).

Les deux jeux de données nécessitent d'être transformés en données carrossables afin de pouvoir les utiliser dans un graphe. Au delà de cet aspect, on peut voir que la prise en compte des voies exceptionnellement utilisables par les secours est effective dans la BD TOPO en les distinguant par la valeurs "Restreint aux ayants droit".

Figure 18 : Synthèse du comparatif entre les attributs de nos deux bases de données (BD TOPO IGN, SDIS 57, 2022).

### 1.4 La base de données HERE/NavStreets.

Exploitée par plusieurs SDIS en France, la base de données HERE (anciennement Navstreets) constitue le troisième jeu de données de notre comparatif. Produite par la société HERE, cette base de données payantes possède de nombreux atouts dans la recherche d'une précision des temps de trajets. De la même manière que Google Maps ou d'autres services de calcul d'itinéraires, la base HERE va se baser sur une série de trajets sur un ensemble de tronçons pour en déterminer un coût moyen par véhicule. Ce coût se calcule sur "la collecte de milliards de points de données réunis à partir d'observations des vitesses des véhicules s'étalant sur plusieurs années, y compris des enregistrements de données de sondes GPS" (Korem, 2022).

Cette précision dans le calcul des temps de trajet se renforce au travers de HERE Traffic, une base de données secondaire qui vient adapter la vitesse en fonction des horaires. En s'appuyant sur des données historiques de trafic sur toute l'année, le calcul de coût d'un itinéraire va s'adapter au trafic moyen enregistré à une période donnée (ex : horaires des migrations pendulaires en début de matinée/fin d'après-midi).

L'analyse de cette base de données, et le comparatif vis-à-vis des deux autres jeux de données va cependant être limité. L'arrivée tardive de l'échantillon de données, ainsi qu'une emprise géographique limitée a pu freiner l'exploration totale de cette base de données, qui reste une perspective à l'issue de ce stage. Au travers de l'étude de cet échantillon, on cherche à mettre en évidence les champs exploitables et les spécificités qui pourraient conduire à l'amélioration des paramétrages de notre graphe routier.

L'emprise fournie dans l'échantillon de données HERE ne permet pas une analyse complète des tendances à l'échelle du département. Les tronçons renseignés se situent uniquement dans l'agglomération de Metz. A emprise équivalente (enveloppe convexe), on dénombre

41 006 tronçons pour HERE, 37 584 pour la BD TOPO et 25 389 pour la BD SIG-SGO. Le nombre de tronçons apparaît donc comme bien plus important, sans vouloir dire que plus de voies sont renseignées mais que les modalités de vectorisation des tronçons peuvent être différentes.

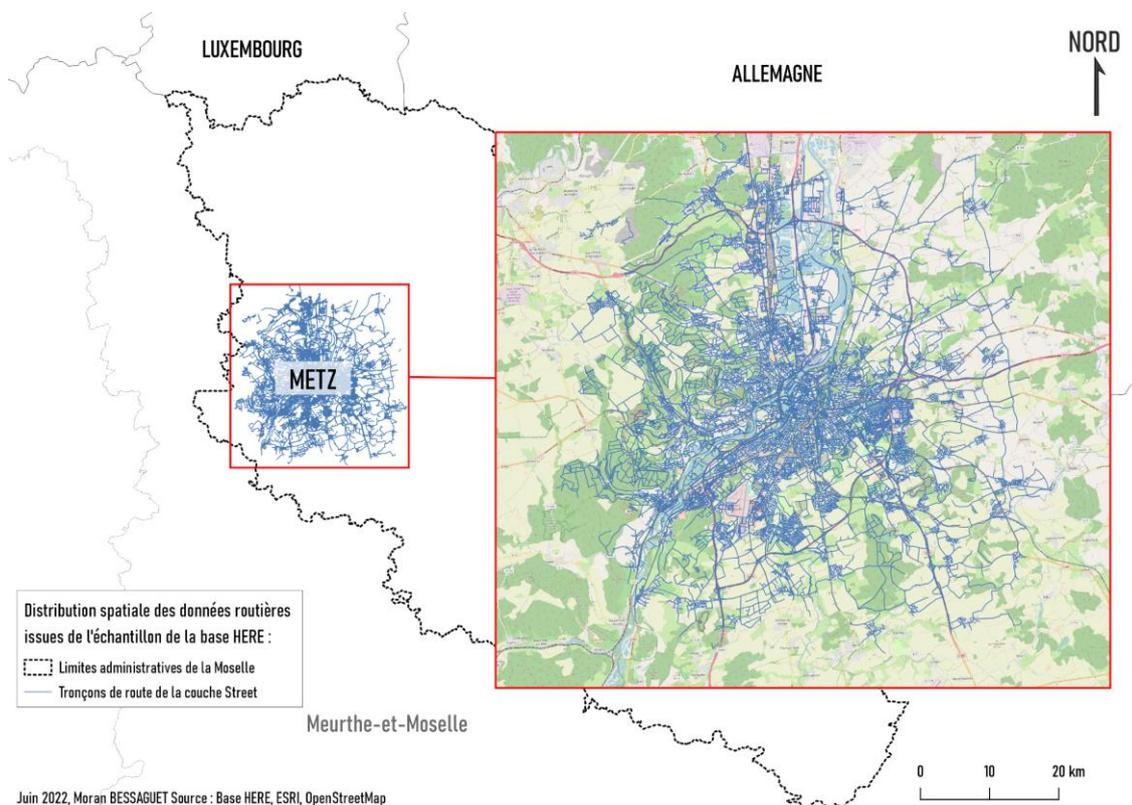


Figure 19 : Carte de localisation des tronçons de l'échantillon HERE Roads (HERE, 2022).

La base de données HERE présente quelques spécificités au niveau de ses attributs :

- Le nombre d'attributs par tronçons est extrêmement élevé : plus de 200 champs par tronçons.
- Parmi cette variété d'attributs, on peut notamment mettre en évidence le nombre très importants de restrictions activables dans un sens ou dans l'autre du tronçon (chaque restriction est visée en deux champs avec un champ TF et un champ FT). En cela, il permettrait de modéliser au mieux le réseau routier selon chaque type de véhicule. On dénombre plus une trentaine de types de restriction allant de la hauteur du véhicule au contenu transporté par l'engin (ex : explosif, corrosif...) Reste à savoir si toutes ces restrictions sont pertinentes à l'échelle du département, et si elles sont vraiment applicables à certains tronçons mosellans.
- La BD HERE distingue une variété importante de tronçons exclusivement empruntables par certains véhicules : taxis, covoiturages, poids-lourds ou encore service d'urgences. Après vérification, la BD HERE prend bien en compte les possibilités d'usage de certains tronçons par les services de secours et le réseau n'est pas carrossable uniquement si l'accès physique est impossible en véhicule (champ "Accès Piétons" avec la valeur Y et le reste des champs de voies restreintes avec la valeur N)
- Au-delà de calculer les temps de trajet par tronçon via un ensemble de tracés GPS, la BD HERE va distinguer un coût en temps et une vitesse selon les deux sens de circulation (FT et TF) Cela ouvre une piste pour la problématique de sens des pentes que nous analyserons plus tard dans l'étude.

La spécificité de la base HERE se base donc sur deux champs qui constituent la grille de vitesse / la matrice des coûts en temps pour chaque tronçon dans la zone. Le champ des vitesses "FT\_Average\_Speed" n'étant pas complet, il est possible de s'appuyer sur le champ des coûts en minutes pour déterminer une grille de vitesse à l'échelle du tronçon :

$$("Meters" / 1000) / ("TF_Minutes" / 60)$$

Ce nouveau champ vitesse sera exploitable dans le cadre d'un calcul de graphe via d'autres outils qu'ArcGIS ou si l'on cherche à établir des tendances dans les vitesses pour construire une grille de vitesses basée sur certains attributs (nature de la voie, importance de la voie...). A ce stade de l'analyse, il n'est pas possible de réaliser cette étude car l'emprise de l'échantillon ne permet pas de dégager des tendances globales dans le département car elle concerne des tronçons essentiellement urbains ou périurbains donc pas un panel entier des types de routes exploitables dans un graphe.

Par ailleurs, la base HERE est directement intégrable dans ArcGIS lors de la construction d'un jeu de données réseau. Cela facilite l'implantation de nouveaux paramètres, notamment certaines restrictions en appliquant notre graphe à certains types d'engins comme les PL.

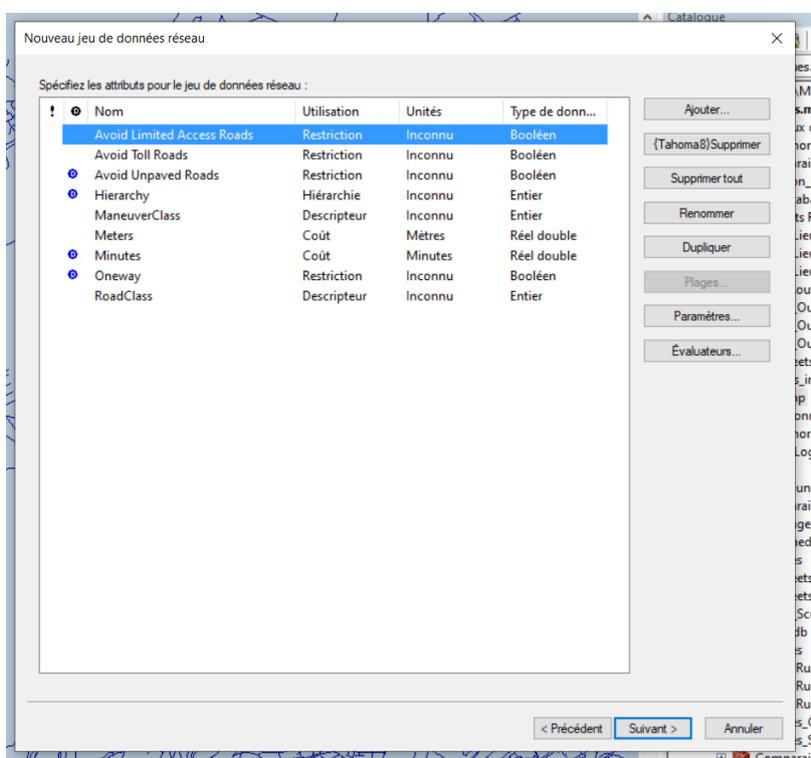


Figure 20 : Paramètres par défaut de la base HERE dans ArcGIS.

Concernant les modalités de mise à jour de la base HERE, la documentation ne fournit pas d'éléments permettant de savoir la fréquence de rafraîchissement des données. Cela peut devenir un enjeu si la mise à jour de la donnée n'est pas régulière.

## 1.4 Synthèse des données exploitables

Malgré une couverture spatiale réduite et certains attributs manquants vis-à-vis des jeux de données extérieurs, la migration de la base SIG-SGO vers des bases comme la BD TOPO ou HERE ne semble pas obligatoire. L'atout des données du SDIS réside dans sa mise à jour régulière en comparaison aux autres fournisseurs de données. Il serait néanmoins

recommandé de réaliser un appariement entre les données de la BD TOPO et celles du SDIS 57, face au constat du nombre bien plus important de géométries présentes dans les données IGN à l'échelle du département. D'autant plus qu'un certain nombre d'attributs sont mieux renseignés dans la BD TOPO, notamment certains attributs de restriction d'utilisation de certains véhicules pouvant conduire à des soucis d'accessibilité en intervention.

Les données HERE trouvent leur point fort dans leur méthode de calcul des temps moyens par tronçons, par rapport à des modalités plus théoriques du côté de la BD TOPO et du SDIS 57. Mais concernant les attributs de restriction ou certains éléments propres à la pondération dans un graphe routier, on ne peut pas établir de grosse supériorité vis à vis d'une base de données comme la BD TOPO. A ce stade de l'analyse, il n'est cependant pas possible de privilégier une base de données vis-à-vis de sa grille de vitesse proposée. Sans un référentiel pertinent on ne peut pas affirmer qu'une grille de vitesse sera mieux qu'une autre.

## **2. Extraction d'éléments de pondération potentiels via OSM**

Au cours de l'élaboration de l'état de l'art, il avait établi qu'un ensemble d'éléments en zone urbaines pouvaient avoir un impact plus ou moins significatif sur la vitesse des véhicules en contexte d'urgence. On a pu notamment dégager la problématique des ralentisseurs (Pereira, 2019) ainsi que des feux rouges (M. Soussi, 2013). Ces éléments caractéristiques en zones urbaines peuvent constituer des freins à la vitesse, en cela ils pourraient contribuer à affiner nos vitesses face aux écarts constatés dans les noyaux urbains par le service SIG en 2019.

Les bases de données examinées plus tôt ne mentionnent pas la présence de ces éléments dans le paysage mosellan, la seule extraction possible des données se fait via OpenStreetMap. La base de données OpenStreetMap (OSM) constitue un jeu de données collaboratif à l'échelle internationale sur un ensemble de données géographiques en tout genre. Bien que les attributs de son réseau routier soient complets, son aspect collaboratif rend la qualité de la donnée moins fiable que les bases de données retenues pour notre analyse : on ne peut pas garantir que chaque entité est valide et située au bon endroit. D'autant plus que cet aspect collaboratif tend à favoriser les villes peuplées au détriment des zones rurales, pouvant amener à un déséquilibre des données entre ces deux espaces. On peut tout de même s'interroger sur une intégration des données concernant des éléments de faible importance dans le réseau routier qui viendraient renforcer certains attributs de la BD interne du SDIS, sans nécessiter une migration totale des données vers OSM.

Une fois les différents éléments de pondération possibles filtrés dans la base de données OSM, on souhaite porter notre analyse sur l'impact des vitesses via la présence de STOP/cédez-le-passage, de ralentisseurs ainsi que des feux-rouges. L'ajout d'autres types de données à l'échelle du tronçon (obstacles, surface de la route, nature de la voie) pourrait permettre de continuer cet affinage et reste une perspective à la suite de cette étude. On extrait l'ensemble de nos données retenues, à l'échelle du département, via l'outil de récupération QuickOSM dans QGIS. On se retrouve alors avec un jeu de données daté d'Avril 2022.

D'abord, l'extraction des cédez-le-passage/STOP met en évidence la problématique de cette donnée. On en recense uniquement 4 dans le département d'après OSM ce qui rend la donnée inexploitable. Cela témoigne des faiblesses de la donnée collaborative, si aucune remontée n'est faite sur certains éléments. Nous ne pouvons donc pas établir de pondération selon les cédez-le-passage/STOP.

A l'inverse, les feux rouges évoqués dans la thèse de M. Soussi (2013) constituent des données récupérables via OSM. L'extraction de ces données permet de compter un nombre d'éléments suffisants pour estimer qu'on peut les exploiter à l'échelle du département. On recense 1017 feux rouges sur le département, sous la forme d'entités ponctuelles. Il y a cependant un problème dans le dédoublement des données, en sachant que chaque poste de feu rouge sera renseigné. Cela conduit à l'agglomération de plusieurs feux-rouges pour un même tronçon, notamment au niveau des carrefours. On règle ce problème de dédoublement en venant détecter si chaque tronçon de notre base de données vient à toucher la localisation de l'un de ces feux-rouges (via l'outil de jointure par localisation dans QGIS) :

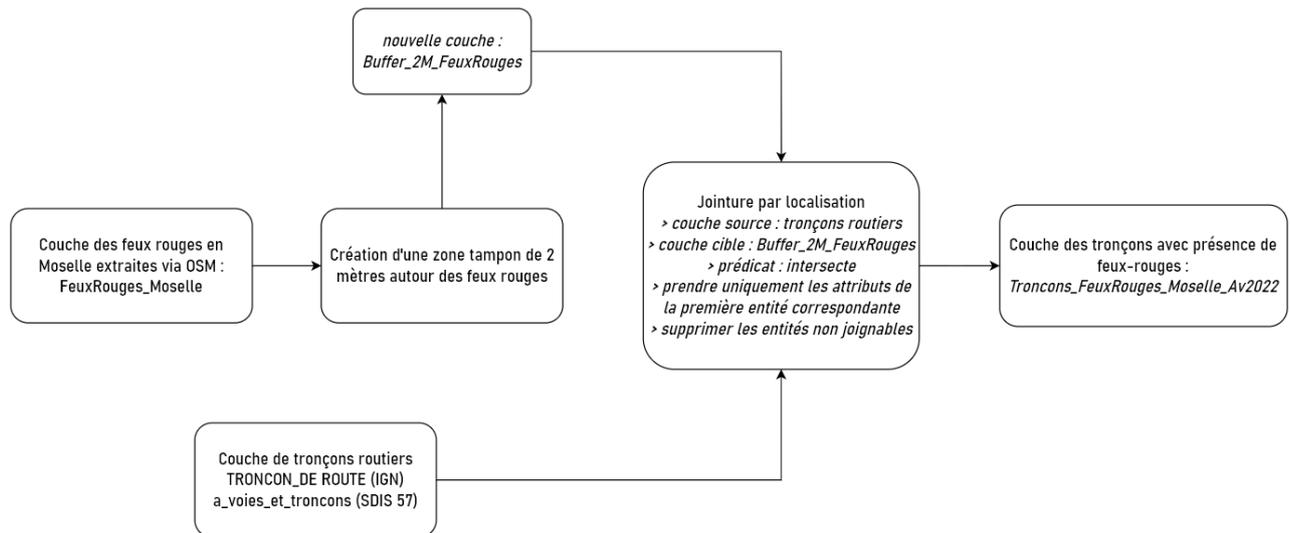


Figure 21 : Méthodologie d'extraction et de filtrage des feux-rouges via OSM.

On finit par intégrer un champ "Feux-rouges" dans notre couche finale "Troncon\_FeuxRouges\_Moselle\_Av2022", qui renseigne la présence d'un feu rouge par la valeur 1 (et valeur 0 si pas de feu rouge détecté). Cela sera utile lors d'éventuelles jointures avec une base de données routières.

De la même manière, on a pu extraire la localisation des ralentisseurs à l'échelle du département. Via QuickOSM, on dénombre 1953 ralentisseurs dont 311 linéaires et 1642 ponctuels. On concentre notre étude sur les figurés ponctuels et de la même manière que les feux rouges, on vient extraire les tronçons localisés à proximité des ralentisseurs :

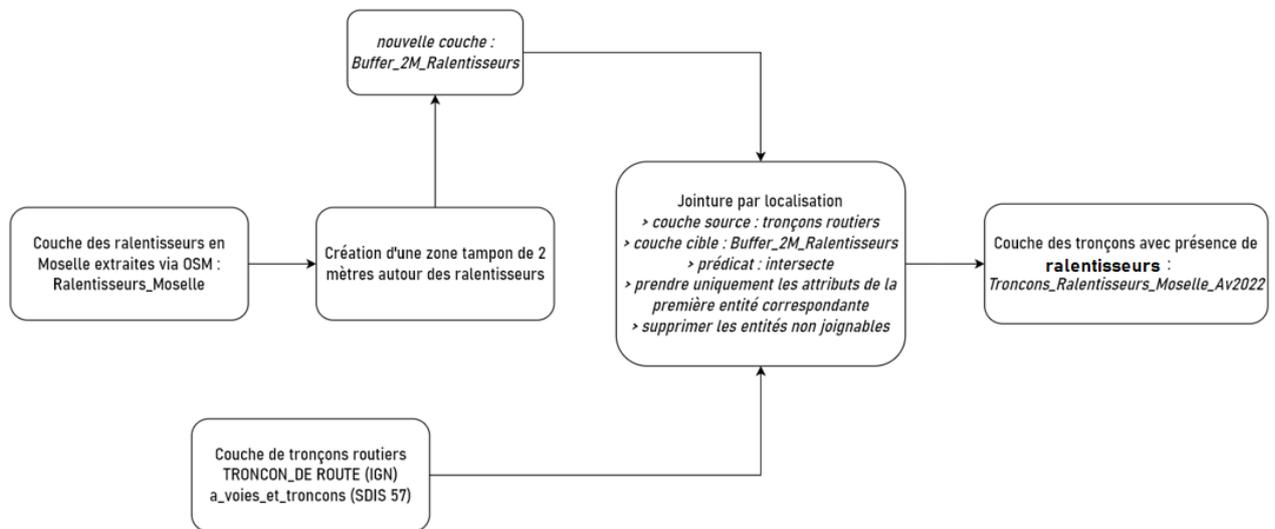


Figure 22 : Méthodologie d'extraction et de filtrage des ralentisseurs via OSM.

A nouveau, on ajoute un champ "Ralentisseurs" dans la couche finale avec la valeur 1 pour chaque tronçon qui en possède un (ou plusieurs). Il est important de mentionner qu'on dénombre 288 ralentisseurs non rattachés à un tronçon dans la BD Artemis, du fait de sa couverture spatiale limitée notamment dans les voies privées (bien que ces voies soient incluses dans une autre table de la base de données). Ce problème est réduit du côté de la BD TOPO avec l'inclusion de l'ensemble des voies dans une seule base.

Par ailleurs, il est important de rappeler qu'OSM constitue le moyen le plus efficace pour mettre en évidence la localisation de ces ralentisseurs. L'hypothèse que les ralentisseurs se concentrent dans des zones de vitesse légale réduite (ex : zones 30) n'a pas pu être validée au cours de notre étude. Beaucoup de ralentisseurs se situant sur des axes à 50 km/h.

### 3. Des indicateurs pour qualifier l'espace.

La méthodologie de certains SDIS et de l'IGN revient à diviser l'espace en deux catégories : urbain et rural. Les pondérations appliquées à ces deux espaces différents en suggérant que les zones rurales permettent une vitesse plus rapide au regard du trafic moins conséquent. On peut alors émettre l'hypothèse qu'une division de l'espace à un niveau de détail plus élevé permettrait d'affiner ces pondérations en fonction de l'espace traversé. Cette théorie est également mentionnée dans la thèse de M. Soussi (2013) en suggérant un découpage de l'espace selon la base Corine Land Cover. On s'intéresse donc aux indicateurs d'usage du sol qui pourraient aider cette découpe du territoire à une fine échelle.

Dans le domaine des indicateurs de l'occupation du sol en France, on a pu dégager trois bases de données : la base Corine Land Cover, les données Urban Atlas ainsi que les fichiers OSO. En analysant les attributs de ces indicateurs, on cherche à mettre en évidence des zones qui peuvent influencer la vitesse des véhicules par leurs caractéristiques.

Concernant les données Urban Atlas fournies par l'Agence européenne pour l'environnement sous le programme Copernicus, plusieurs éléments ne nous permettent pas une analyse à l'échelle départementale. Au-delà de la rareté de la fréquence d'actualisation (6 ans) et donc l'ancienneté relative des données, c'est l'emprise géographique qui nous est fournie qui limite notre analyse. L'étude de l'usage des sols ne se concentre que dans les métropoles les plus importantes du territoire. A l'échelle de la Moselle, seule l'agglomération messine est couverte par les données Urban Atlas. Cela

empêche de déterminer un découpage du sol précis dans l'ensemble des autres grandes villes du territoire (Thionville, Sarreguemines, St-Avold...). On ne poursuit donc pas l'analyse de l'espace via ce jeu de données.

De la même manière, les données d'usage du sol fournies dans Corine Land Cover limitent une analyse poussée à l'échelle du département. Les données CLC permettent un découpage très détaillé du territoire en fournissant une description des espaces à la fois en zones urbaines et dans les espaces ruraux sous une dimension agronome. L'espace urbain est donc découpé selon différentes thématiques : tissu urbain continu et discontinu, zones industrielles, zones portuaires, chantiers... Seulement plusieurs points faibles apparaissent quand on analyse ces données. D'une part, le millésime pose encore une fois problème avec les données les plus récentes remontant à 2018 : beaucoup d'espaces ont pu évoluer depuis quatre ans et cela viendrait fausser les pondérations appliquées selon l'occupation du sol (ex : la catégorie "chantiers" qui a forcément évolué depuis 2018). D'autre part, la récolte des données CLC se fait au travers d'une emprise minimale de collecte de 25 ha. Autrement dit, on vient récupérer la fonction dominante sur une emprise de 25 ha pour simplifier la donnée. Par conséquent, la précision de l'usage du sol dans certains espaces va être réduite et conduire à un découpage de l'espace plus ou moins faussé à certains endroits du département.

Type d'occupation	Surface totale (ha)
Tissu urbain continu	383,78
Tissu urbain discontinu	55406,14
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	10444,25
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	1764,77
Zones portuaires	119,68
Aéroports	1286,00
Extraction de matériaux	1748,30
Décharges	550,34
Chantiers	95,63
Espaces verts urbains	355,20
Equipements sportifs et de loisirs	2124,31
Terres arables hors périmètres d'irrigation	335718,14
Vignobles	142,41
Vergers et petits fruits	4084,65
Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	149365,30
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	31757,90
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels	9084,05
Forêts de feuillus	177956,89
Forêts de conifères	90782,26
Forêts mélangées	47870,24
Pelouses et pâturages naturels	122,14
Landes et broussailles	1734,27
Forêt et végétation arbustive en mutation	8384,54
Marais intérieurs	1154,42
Cours et voies d'eau	2465,66
Plans d'eau	7299,34

Figure 23 : Synthèse de l'usage du sol en Moselle selon les données Corine Land Cover de 2018.

Malgré la présence de nombreux indicateurs, on ne peut à nouveau pas mettre en évidence de zones de pondération sans tomber dans la prédiction. En contexte rural, il est également difficile d'assumer que certaines zones de pondération peuvent être appliquées à l'usage du sol sans contexte : les tronçons qui traversent les zones de certains types de forêt ne

sont pas tous forcément susceptibles d'influencer la vitesse. Un tronçon de forêt traversé en bordure de l'agglomération messine n'aura pas le même contexte qu'un tronçon de forêt traversé en milieu vosgien. Il en est de même pour les indicateurs en zone urbaines ou chaque lieu possède ses spécificités internes (la vitesse peut varier dans un tissu urbain discontinu). Le paramétrage de la vitesse en fonction de l'usage du sol et du paysage traversé selon CLC reste peu fiable. Malgré la possibilité d'exploiter des bases de données plus ou moins précises, il est difficile de pondérer la vitesse sans tomber dans la prédiction ou la conjecture. Le paramétrage de la vitesse d'un tronçon doit s'appuyer sur des facteurs plus concrets qui prennent en compte un contexte adapté à chaque zone et non pas à une typologie à l'échelle départementale.

Enfin, les fichiers OSO fournis par le Centre d'Expertise Scientifique (CES) mettent en avant différents points qui peuvent permettre une poursuite de notre analyse. Les atouts principaux des données OSO sont leur fréquence d'actualisation ainsi que leur modalité de détermination de l'usage du sol sur le territoire. La classification est produite au travers d'images satellites fournies par Sentinel-II, permettant une précision plus fine dans le découpage de territoire en comparaison avec les données CLC. De plus, les données OSO sont mises à jour tous les ans ce qui permettrait un suivi plus régulier des évolutions du territoire à l'échelle du département. Au-delà de ces atouts, la classification OSO se concentre cependant sur des usages du sols essentiellement liés à l'agriculture. Parmi les 24 attributs de classification du sol, on pourrait seulement en déterminer 3 qui pourraient entrer en compte dans le cadre d'une pondération : les zones industrielles et commerciales, le bâti diffus et le dense. L'exploitation du reste des indicateurs reviendrait à nouveau à entrer dans la supposition en suggérant qu'un certain type de culture ou d'espace naturel aurait une influence sur la vitesse d'un véhicule, là où les caractéristiques de la route traversant cet espace seraient bien plus déterminantes.

#### **4. Construction d'indicateurs à partir des données présentées**

Sachant que les données HERE sont arrivées plus tard lors du stage, les travaux de construction de ces indicateurs avaient déjà été pour la plupart quasiment bouclés. On ne prendra en compte que les données du SDIS 57 et la BD TOPO dans le calcul de nos indicateurs. L'adaptation de ces travaux à la base HERE constitue une perspective possible à la suite de ce stage.

L'ensemble des traitements réalisés dans les prochains travaux ont été effectués sur le logiciel QGIS.

##### **4.1 La sinuosité.**

La construction d'un indicateur de sinuosité apparaît comme un point majeur des travaux de cette étude. La courbure des voies semble être un pondérateur logique de la vitesse d'un véhicule, mais reste très peu prise en compte dans l'état des lieux des grilles de vitesses. Il semble donc important de s'intéresser à la mise en évidence des tronçons sinueux à l'échelle du département, afin d'analyser par la suite les tendances causées par la pondération de ces voies. On suppose dès le départ que la courbe des voies aura un impact sur la vitesse d'un véhicule et on cherche à créer un indicateur qui renseignera le degré de sinuosité d'un tronçon donné. Une fois ce degré de sinuosité renseigné, on pourra établir une valeur seuil ou différents paliers de valeurs sur lesquels on appliquera une pondération adaptée (ex : coefficient au-dessus de 0,5 = -10% sur la vitesse du tronçon).

On ne cherche pas à analyser le comportement du véhicule et sa perte de vitesse liée à un virage : pour définir une pondération appropriée on se basera sur un temps référentiel dans la suite de l'analyse.

Nous disposons de deux méthodologies différentes dans le calcul de la sinuosité : l'une proposée par le SDIS 05 avec la construction d'un indicateur de sinuosité basé sur le nombre de points vectorisés d'un tronçon, l'autre mise en place par le laboratoire CESAER en 2010 qui consiste à calculer le rapport entre longueur réelle et longueur planimétrique du tronçon. Il s'agira de choisir la méthodologie la plus pertinente dans le cadre de la construction de notre indicateur au regard de nos bases de données exploitables.

Comme nous avons déjà pu le mentionner, la méthode de calcul de sinuosité via le nombre de points nécessite certains prérequis. La qualité de la donnée doit permettre de s'assurer que les tronçons ont été numérisés correctement dans un logiciel SIG. Sans une méthodologie stricte dans la vectorisation, il est possible que le nombre de points par tronçons finisse par varier entre des tronçons semblables, faussant au passage l'indicateur de sinuosité. Cet indicateur se calcule selon la méthode suivante :

$$\text{Nombre de points du tronçon} / \text{longueur du tronçon}$$

Autrement dit, plus un tronçon possède un coefficient élevé, plus il admet un nombre de points importants liés à la présence de courbes. Plus le coefficient est bas, plus le tronçon est censé tendre vers une trajectoire rectiligne.

Cependant, on a pu démontrer au cours de notre étude que cette méthodologie posait problème à l'échelle du département de la Moselle pour plusieurs raisons. Nos deux bases de données, BD TOPO et BD SIG-SGO, ne possèdent pas les prérequis de construction des vecteurs pour permettre de construire notre indicateur selon le nombre de points. On a pu mettre en évidence la disparité dans la répartition des nœuds entre certains tronçons avec un nombre parfois très important pour une route quasi rectiligne, et parfois un nombre minimal de nœuds pour un tronçon avec une courbure très importante. Cette tendance de nœuds excessifs est cependant moins présente dans les données du SDIS57. En extrayant les tronçons rectilignes selon la méthodologie qui suit, on détermine que les tronçons IGN tendent à montrer des irrégularités dans le nombre de points sur un axe rectiligne. Pour 117 463 lignes droites dans la BD TOPO, le nombre maximum de sommets se situe 134 pour une moyenne de 3,2 sommets par ligne droite. A l'inverse, les données du SDIS 57 montrent que pour 52 811 tronçons rectiligne le nombre maximum de sommets n'est qu'à 13, pour une moyenne de 2,1 sommets. Cette différence dans la vectorisation se retrouve également dans l'extraction des tronçons à 3 sommets : on n'a pas pu mettre en évidence de tronçons avec un angle important dans les données du SDIS, contrairement au jeu de données de la BD TOPO.



Un tronçon IGN vectorisé en 3 noeuds et qui possède un angle supérieur à 55 degrés : le coefficient de sinuosité vaut alors 0,004. L'indicateur devrait normalement désigner une ligne droite dans ces valeurs là.



Un tronçon IGN de 764 mètres qui tend vers la ligne droite, ou l'on dénombre 41 sommets. En dessous, un autre tronçon IGN de 671 mètres, toujours rectiligne, mais qui aborde seulement deux sommets.



Un tronçon IGN (en haut) et un tronçon du SDIS 57 (en bas) dont les nombre de sommets sont complètement pondérés par la longueur importante des tronçon. Le coefficient vaut 0,08 pour l'IGN et 0,026 pour le tronçon du SDIS : pouvant faire croire qu'ils sont rectilignes.



Source : SDIS 57, IGN Orthophoto, BD TOPO

Figure 24 : Exemples de tronçons, issus des deux bases, qui sont source d'erreur dans la méthodologie du nombre de points (BD TOPO, Ortho IGN, SDIS 57, 2022).

Le nombre de ces erreurs / disparités dans les données est difficile à quantifier, et il ne pourrait s'agir que de tronçons isolés qui n'auront pas d'impact sur le calcul d'un graphe à l'échelle du département. Il se pourrait que la BD TOPO exploitée par le SDIS 05 soit plus fiable au niveau de la vectorisation des tronçons. Mais la présence de ces contre-exemples tend à nous faire douter sur la qualité de notre indicateur de sinuosité. La pondération de tronçons faussement classifiés comme sinueux pourrait conduire à des écarts encore plus importants dans notre graphe routier. On décide donc de privilégier la deuxième méthode qui fournit des résultats plus pertinents.

La deuxième méthode de construction de notre indicateur de sinuosité se base sur les travaux du laboratoire CESAER en 2010. Dans cet article, on évoque le calcul d'un coefficient de sinuosité en mesurant le rapport entre la distance euclidienne et la longueur réelle d'un tronçon. Autrement dit, on cherche à calculer la différence entre la distance à vol d'oiseau (appelée DVO ou longueur planimétrique) entre les bornes extérieures d'un tronçon donné et la longueur de ce dernier que nous fournit le logiciel SIG. De la même manière, cette méthode nécessite une certaine qualité de la donnée dans la vectorisation des tronçons afin qu'il y ait un minimum de différence entre la longueur réelle d'un tronçon et celle que l'on peut calculer via son vecteur (le vecteur doit suivre le tracé du tronçon le plus fidèlement possible). Mais les deux bases de données exploitées possèdent ces prérequis et permettent la construction de l'indicateur.

On intitule cet indicateur le coefficient DVO pour la suite de nos travaux. Pour calculer la distance planimétrique pour chacun de nos tronçons, pour ensuite calculer la longueur de ces vecteurs. On joint ces valeurs avec la couche de tronçons via l'ID des tronçons pour finalement calculer le coefficient DVO avec la formule :

### *Champ "Longueur Planimétrique" / champ "Longueur réelle"*

La valeur du coefficient DVO est comprise entre 0 et 1, la distance euclidienne d'un tronçon ne pouvant pas être supérieure à sa longueur réelle. Plus la valeur de ce coefficient se rapproche de 1, plus la voie sera rectiligne. Les valeurs égales à 1 représentent une ligne droite. Plus la valeur du coefficient DVO se rapproche de 0, plus le coefficient tend à avoir des courbes. Les valeurs équivalentes à 0 correspondent à des erreurs que l'on cherche à filtrer dans la partie suivante.

Au vu des premiers résultats, il est nécessaire d'améliorer cette méthodologie en filtrant une partie des tronçons qui pourraient fausser nos valeurs de coefficient. Beaucoup d'erreurs peuvent être mises en évidence dans les résultats des coefficients :

1. On dénombre 179 valeurs nulles pour les tronçons du SDIS 57 et 842 pour les tronçons de la BD TOPO. Ces coefficients équivalents à zéro impliquent que les tronçons sur lesquels ils ont été calculés possèdent une distance euclidienne nulle. Autrement dit, il s'agit de voies dont les lieux de départ et d'arrivée sont identiques. Ce type de voies en forme de boucle se retrouve également dans les tronçons avec une distance euclidienne assez faible, impliquant un point d'entrée et de sortie relativement proches (sauf s'il s'agit de tronçons de petite taille qui ont une distance planimétrique proportionnellement basse). Ces types de tronçons correspondent principalement à des places publiques, des parkings ou des rues situées dans des zones pavillonnaires. En cela ils ne correspondent pas à des tronçons sinueux et ne constituent pas un vrai frein dans la vitesse d'un véhicule qui les parcourt. On supprime ces tronçons du calcul final du coefficient en imposant une distance euclidienne minimale de 15 mètres dans notre calcul final. Cette valeur reste subjective et constitue seulement un indicateur de l'espacement entre l'entrée et la sortie d'un tronçon. Il est possible que d'autres tronçons de ce type subsistent dans notre calcul d'indicateur, et la recherche d'une valeur seuil ou d'un attribut permettant de distinguer ces tronçons d'une route classique.

2. Par ailleurs, on vient améliorer cette méthodologie en imposant également une longueur réelle minimale pour chaque tronçon. En analysant les résultats de notre calcul de coefficient, on peut mettre en évidence que les plus grands coefficients DVO appartiennent à des tronçons de petite taille qui viennent fausser les statistiques de notre coefficient. Sur les 1000 coefficients DVO les plus hauts calculés via notre formule (hors valeur nulle), 16 % des tronçons du SDIS 57 font moins de 75 m et environ 25 % pour les données de l'IGN. Ces tronçons classifiés comme sinueux n'ont pas d'impact réel sur la vitesse d'un véhicule du fait de leur petite taille. On souhaite dépasser un potentiel découpage trop fin des tronçons qui peuvent correspondre une séquence de lignes droites au lieu d'un tronçon sinueux assez long pour faire ralentir un véhicule. Un filtre de 75 m minimum par tronçon dans la prise en compte du calcul de DVO est donc appliqué.

3. Enfin, on vient filtrer les ronds-points pour nos deux jeux de données. Ce type de voie possède une vitesse en VL relativement fixe (autour de 25-30 km/h). Il ne serait pas pertinent de venir surpondérer la vitesse VL sur les ronds-points au risque de provoquer des écarts par rapport aux vitesses réelles observées. D'autant plus que les résultats de notre premier calcul mettent en tête une majorité de ronds-points.

Ces 3 filtres sont appliqués à la couche des tronçons pour chaque base via des requêtes SQL :

### BD SIG-SGO (a\_voies\_et\_troncons)

*"Longueur réelle" >=75 AND "Longueur planimétrique" >=15 AND "a\_typ\_voie" IN ('AUT', 'CHE', 'RD', 'RN', 'VC', 'VCS') AND "rond\_point" IS NULL*

### BD TOPO (TRONCON\_DE\_ROUTE)

*"Longueur réelle" >= 75 AND "Longueur planimétrique" >=15 AND "ACCES\_VL" IN ('A péage', 'Libre', 'Restreint aux ayants droit') AND "NATURE" IN ('Bretelle', 'Piste cyclable', 'Escalier', 'Chemin', 'Route empierrée', 'Route à 1 chaussée', 'Route à 2 chaussées', 'Sentier', 'Type autoroutier')*

A la fin de cette étape, on dénombre encore 154 552 tronçons IGN et 59 046 tronçons du SDIS 57 encore pris en compte dans le calcul du coefficient DVO. Notre méthodologie complète, qui poursuit les travaux menés par le laboratoire CASEAR en 2010, et qui cherche à dépasser certaines erreurs de classification se résume ainsi (disponible en annexe) :

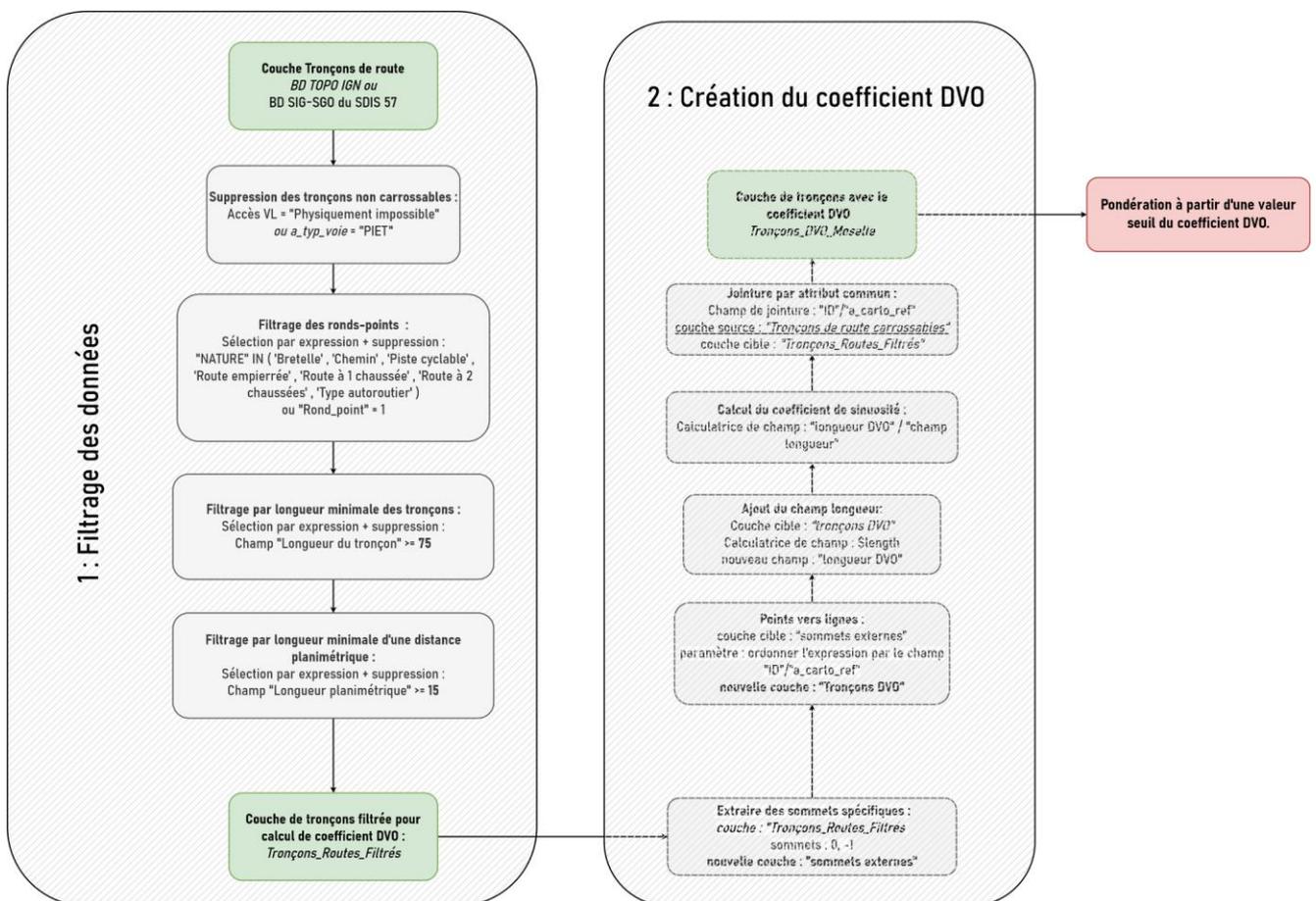


Figure 25 : Méthodologie de construction d'un indicateur de sinuosité via nos bases de données routières.

Dans la suite de notre analyse, on cherche à établir une ou des valeurs seuils afin de déterminer quels tronçons seront concernés par notre calcul d'indicateur. Sachant qu'une valeur proche de 1 indique une route quasi-rectiligne, il s'agit de situer une valeur de transition entre nos tronçons sinueux et ceux qui tendent vers une ligne droite. La détermination de ce seuil reste complexe car elle se résume à notre interprétation des données : on ne peut pas vérifier manuellement que l'ensemble de nos tronçons en dessous de la valeur seuil correspondent bien à des routes sinueuses.

D'autant plus que certains problèmes se dégagent lorsqu'on analyse nos valeurs de coefficient. On choisit d'extraire cinq tronçons par seuil de 0,1 de notre coefficient afin d'établir la validité de nos données et d'observer les tendances de sinuosité selon la valeur : 5 voies entre 0 et 0,1, cinq voies entre 0,1 et 0,2, etc. En analysant ces différents seuils on peut mettre en évidence plusieurs phénomènes : les valeurs proches extrêmes se comportent comme prévu (0 = sinueux et 1 = rectiligne) mais on observe que les valeurs plus centrales comportent des profils de tronçon beaucoup plus hétérogènes. Dans ces valeurs centrales (0,4 - 0,8), une même valeur de coefficient peut donner un tronçon sinueux de différentes façons : la présence d'une forte courbe unique par rapport à un reste de tronçon presque rectiligne, ou au contraire un tronçon qui comporte de multiples courbes de faible envergure sur l'ensemble de son tracé. On ne peut donc pas affirmer que la valeur du coefficient est proportionnelle au degré de la courbe, mais seulement significative de la présence plus ou moins importante de courbes au sein du tracé.

Il semble donc impossible d'établir des différents seuils de pondération au vu des disparités entre les profils de tronçons pour des valeurs de coefficients équivalentes. Ce qui nous pousse à choisir une valeur seuil unique. On souhaite que cette valeur soit la plus haute possible afin d'intégrer l'intégralité des tronçons sinueux malgré leur hétérogénéité. Il s'agit de déterminer une valeur de transition avec les voies rectilignes. Au vu de nos premiers résultats, on cherche à centrer cette valeur autour de 0,8 - 0,9. L'histogramme des valeurs des coefficients pour nos données peut nous aider à trouver une valeur de rupture dans notre coefficient, en supposant que les tronçons sinueux capables de freiner la vitesse restent peu nombreux à l'échelle du département (disponible en annexe) :

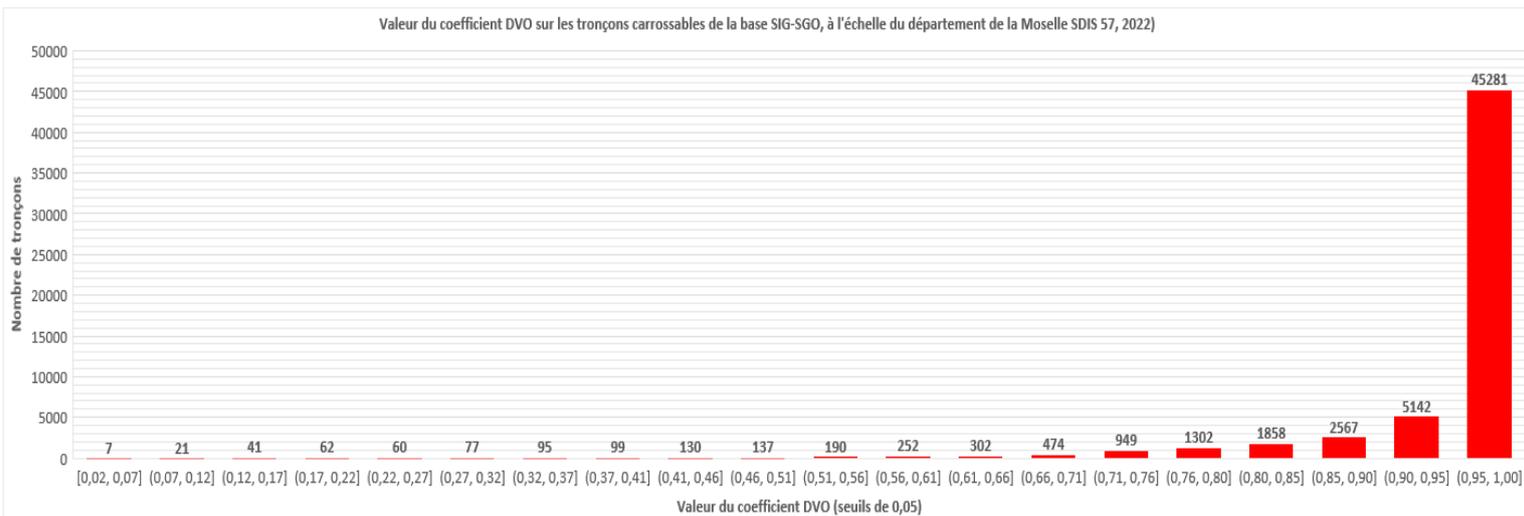
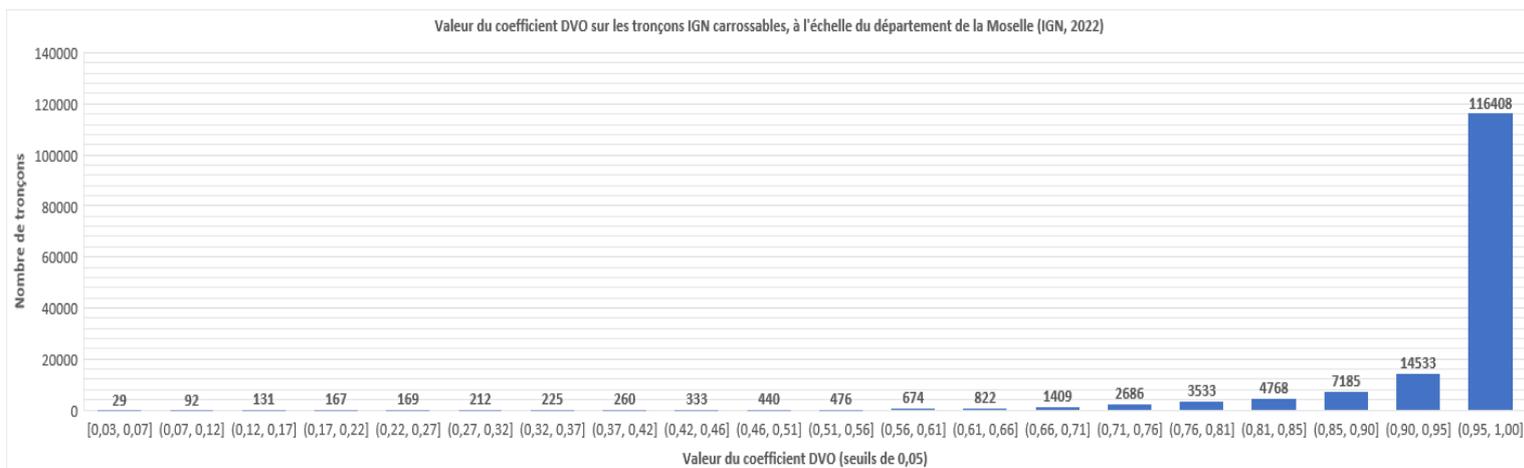


Figure 26 : Histogramme des coefficients de sinuosité selon la BD TOPO et la base SIG-SGO.

Au vu de la distribution des données pour nos deux jeux de données, on détermine que notre valeur seuil de coefficient vaut 0,90. La rupture se situant au niveau de la valeur 0,95 on souhaite un peu de marge pour éviter de trop se rapprocher de la valeur 1 et de tronçons aux profils trop rectilignes, tout en incluant le plus de tronçons sinueux possibles et avoir un impact visible sur le réseau (si on active nos pondérations sur une centaine de tronçons, l'indicateur ne sera quasiment jamais pris en compte dans notre calcul de graphe). Au travers de cette étape finale dans la construction de notre indicateur, on dénombre 8776 tronçons du SDIS 57 et 23 961 tronçons IGN où l'on viendrait pondérer les vitesses. Une rapide observation des tronçons extraits via notre méthodologie confirme la présence de tronçons sinueux aux profils différents :

BESSAGUET Moran, Juillet 2022. Source : OpenStreetMap, SDIS 57, IGN

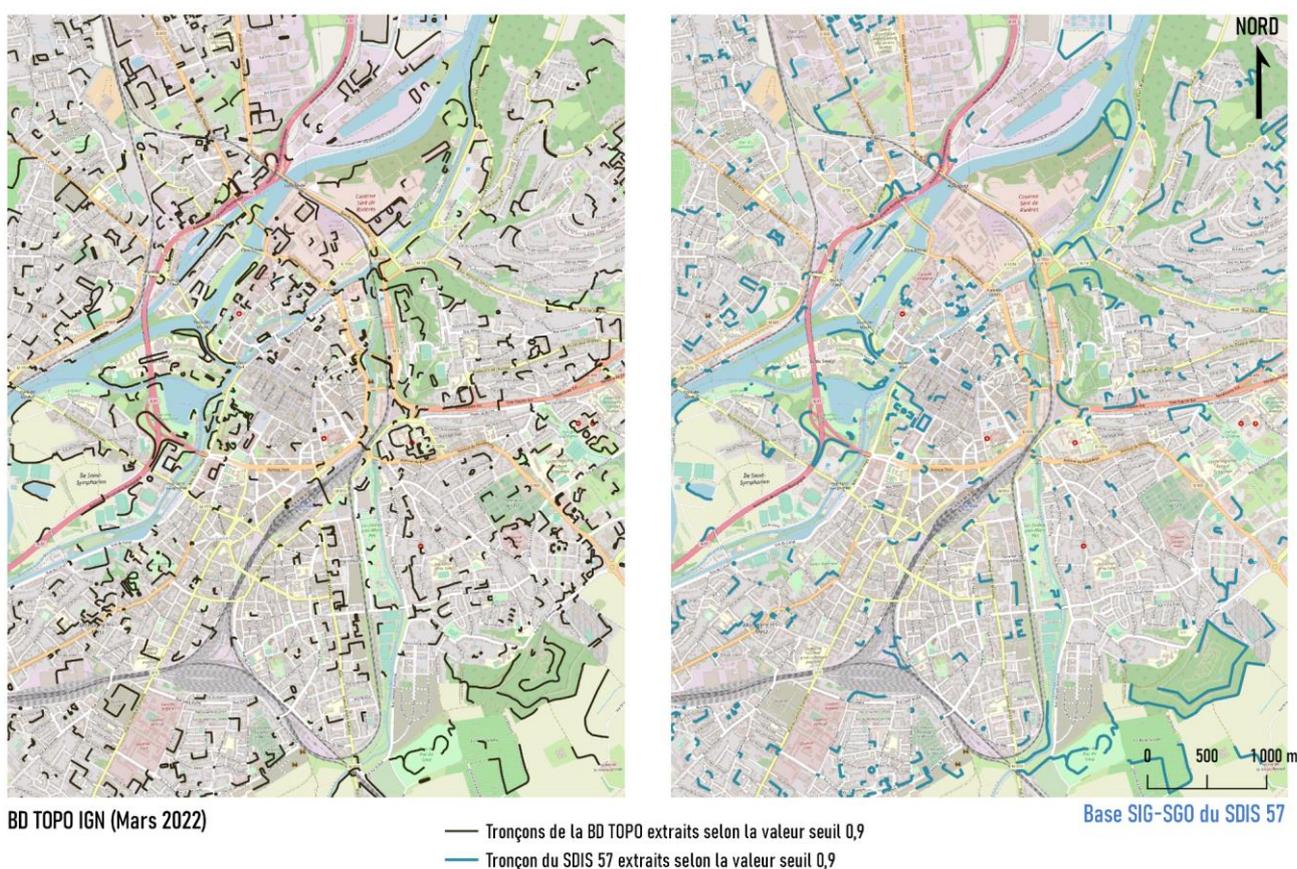


Figure 27 : Carte de localisation des tronçons sinueux selon notre méthodologie, centrée sur Metz.

## 4.2 La pente.

De la même manière que la sinuosité, la pente d'un tronçon semble être un facteur logique dans la vitesse d'un véhicule. On cherche donc à établir un indicateur qui viendrait renseigner le degré de pente d'un tronçon dans le but d'appliquer une pondération aux tronçons les plus pentus. Plusieurs limites ont pu être mises en évidence dans la construction de cet indicateur.

D'abord, la pente en tant que pondérateur de la vitesse peut influencer le comportement d'un véhicule de deux manières : elle peut ralentir l'engin en montée, et au contraire accélérer sa vitesse en descente. Cette dualité des pondérations n'est cependant pas applicable sur nos bases de données. Le fonctionnement des listes de défense et

l'affectation des casernes selon les moyens disponibles rend la direction d'emprunt d'un tronçon imprévisible. On ne pourra donc pas affirmer qu'un tronçon en pente sera majoritairement abordé dans un sens de montée ou de descente, et donc y appliquer une pondération pertinente selon le sens d'emprunt. Si on décide d'accélérer/de ralentir nos vitesses en supposant que la caserne la plus proche détermine le sens d'emprunt d'une pente, on peut contribuer à des écarts de vitesse si une autre caserne est affectée dans la zone. Sachant qu'on ne pourra pas exploiter cette dimension de la pente, on viendra pondérer faiblement nos tronçons classifiés comme pentus afin de limiter les écarts possibles par rapport à des vitesses réelles observées. On suppose pour la suite de notre analyse que les tronçons en pente viennent ralentir de manière modérée la vitesse de nos véhicules de secours.

La méthodologie de construction de notre indicateur a également pu rencontrer certains obstacles. La première option consiste à récupérer des statistiques globales de pente par tronçons via un modèle numérique de terrain (MNT). Les données d'élévation du terrain sont accessibles via la BD ALTI de l'IGN. Une fois les données du millésime 2017 récupérées, on a cherché à établir des statistiques de pente à l'échelle des tronçons : moyenne, médiane, minimum, maximum.

On construit notre indicateur sur une résolution de 5 m, la BD ALTI à 1 mètre étant bien trop volumineuse pour un traitement à l'échelle du département. Les statistiques extraites dans une zone tampon d'un mètre pour chaque tronçon ont mis en avant un nombre important de valeurs erronées pour certains types de tronçons, notamment les ponts et les tunnels. Même en les supprimant de notre analyse, des erreurs importantes subsistent et des valeurs extrêmes sont calculées sur des tronçons situés dans des zones de variation du relief naturelles ou aménagées par l'homme, ou des voies dont la position par rapport au sol a été mal renseignée. Ces statistiques erronées s'appliquent à nos deux bases de données routières et ne permettent pas de poursuivre cette méthodologie de calcul de notre indicateur. Pour ne montrer qu'un seul exemple des problèmes liés à ce calcul de statistiques, il suffit de prendre le tronçon avec la pente moyenne la plus forte du département : il s'agit d'une route urbaine classique et avec très peu de dénivelé mais dont la présence d'un tunnel en contrebas cause cette pente moyenne extrême.

Pour poursuivre la construction de notre indicateur de pente, on se tourne alors vers une méthodologie simplifiée. Utilisée par le SDIS 05, cette méthode consiste à calculer le rapport entre le dénivelé de chaque tronçon et sa longueur réelle via la formule :

$$(altitude\ maximale\ d'un\ tronçon - altitude\ minimale\ d'un\ tronçon) / longueur\ du\ tronçon$$

On détermine alors une variation plus ou moins rapide de la pente en venant pondérer le dénivelé d'un tronçon par sa longueur. Si le dénivelé est abrupt et se fait sur une distance relativement courte, le coefficient sera élevé. On suppose alors que la vitesse d'un véhicule sera fortement ralentie. A l'inverse, un coefficient faible indiquera une pente douce et un dénivelé progressif dans le tronçon qui pondère moins la vitesse de notre véhicule de secours. En cela, l'amélioration de la construction de notre indicateur reste une perspective à explorer.

Dans le but de calculer cet indicateur, on s'aide de l'extension "Climb" (Håvard Tveite, NMBU, 2020) qui va nous permettre de calculer l'altitude tout le long du tracé d'un réseau routier. De cette façon, on va au-delà du simple calcul de dénivelé entre les bornes d'un tronçon qui pourrait négliger des variations internes dans l'altitude d'un tronçon. Il suffit de renseigner la couche du réseau routier ainsi que le MNT pour que l'outil *Climb along lines* vienne récupérer les informations suivantes : élévation minimale, élévation maximale, longueur du tronçon en descente, longueur du tronçon en montée. Concernant les deux

derniers attributs, on les met de côté car comme on a pu le mentionner, cette séparation dans le sens de direction d'une pente implique que le lieu de départ soit toujours le même.

Une fois nos données extraites de la BD TOPO et de la base SIG-SGO, on vient filtrer les erreurs de calcul liées à la présence de tronçons en dehors de l'emprise de la BD ALTI, rendant leur altitude minimale ou maximale équivalente à 0 ou -1000. On vient également appliquer une longueur minimale de tronçon afin de s'assurer que le comportement du véhicule sera affecté par la pente : on supprime les tronçons de moins de 75 m de notre calcul d'indicateur. On applique ce filtre pour nos deux bases de données carrossable et traitées via l'outil *Climb along lines* selon la requête SQL suivante :

*“min\_elev” > 0 AND “max\_elev” > 0 AND “Longueur réelle” > 75*

On vient finalement calculer notre indicateur de pente grâce à la calculatrice de champ :

*(“min\_elev” - “max\_elev”) / \$length*

Les résultats de notre méthodologie sur la BD TOPO et la base SIG-SGO sont répertoriés dans ce tableau synthétique :

	<b>BD TOPO IGN</b>	<b>Base SIG-SGO SDIS 57</b>
<b>Nombre de tronçons calculés</b>	270 692	121 631
<b>Coefficient minimal</b>	0	0
<b>Coefficient maximal</b>	3,01	0,8
<b>Moyenne du coefficient</b>	0,03	0,02
<b>Médiane du coefficient</b>	0,021	0,018

Tableau 3 : Synthèse des coefficients de pente pour nos deux bases de données (IGN, SDIS 57, 2022).

A nouveau, on vient déterminer une valeur seuil dans notre coefficient de pente afin de déterminer les tronçons que l'on suppose assez pentus pour y appliquer une pondération de la vitesse. Les histogrammes de nos coefficients pour chaque jeu de données nous renseignent sur une rupture dans la distribution des valeurs du coefficient qui pourraient indiquer la transition entre nos tronçons pentus et des routes plus classiques qui n'auraient pas d'influence sur le comportement d'un véhicule. Au vu de la répartition des valeurs, on détermine que notre seuil d'activation de la pondération des pentes se situe à 0,1 (disponible en annexe) :

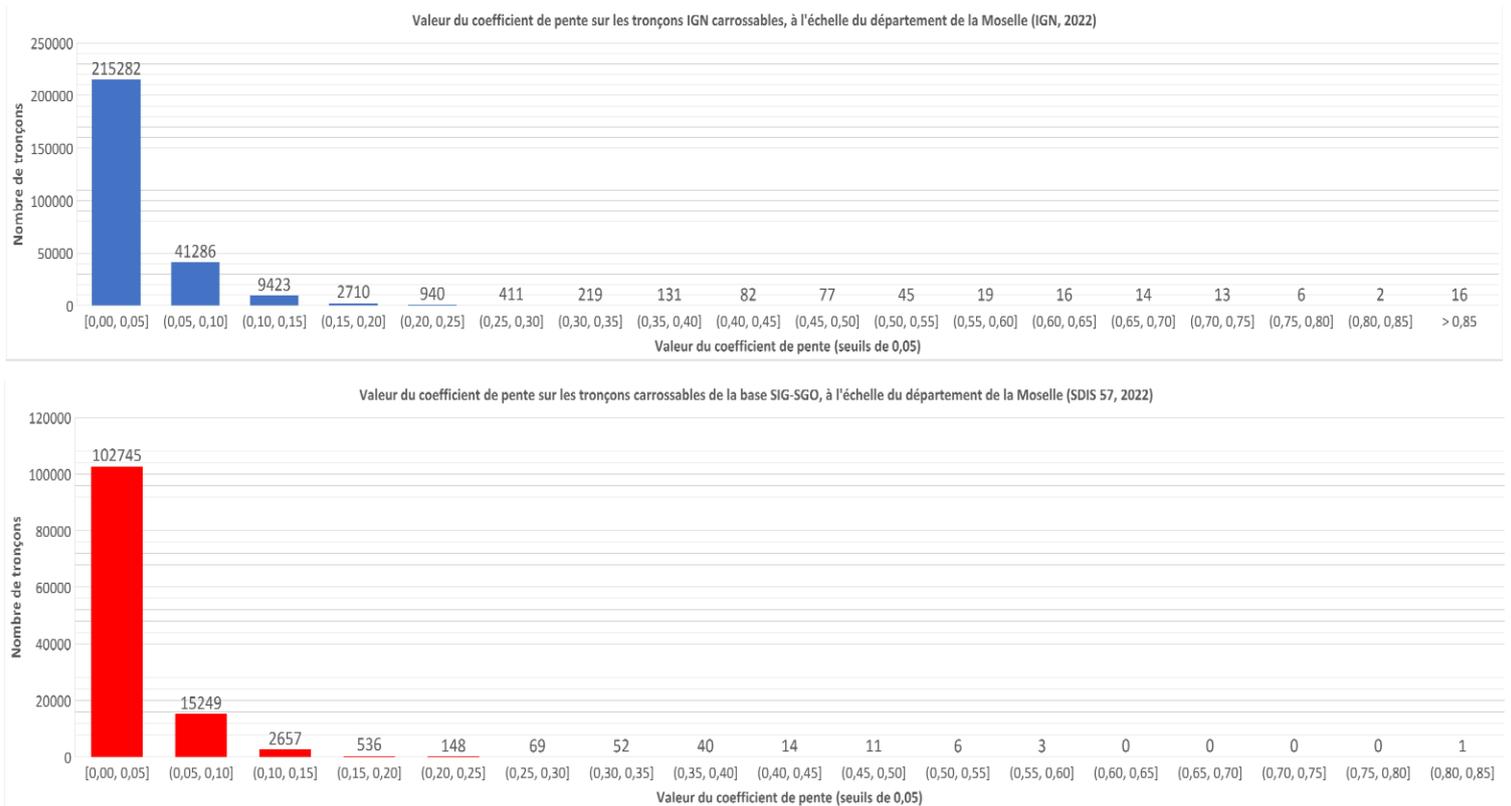


Figure 28 : Histogramme des coefficients de pente selon la BD TOPO et la base SIG-SGO.

### 4.3 Les impasses.

Parmi les autres éléments de pondération ayant été évoqués au cours de nos travaux, la question des impasses s'était posée. Ces types de tronçons se caractérisent par des voies en fin de parcours où la vitesse maximale est rarement atteinte. On cherche à savoir si à l'échelle du département, on peut mettre en évidence des tronçons en impasse qui possèdent une vitesse relativement haute. On viendrait donc pondérer ces vitesses hautes dans une logique de réduction des écarts par rapport à une situation réelle. L'idée de départ était de focaliser notre analyse sur de possibles impasses en bordure de nationale et dans des zones rurales, où la vitesse maximale autour de 80 km/h serait rarement atteinte par les véhicules de secours.

On vient extraire la localisation de nos impasses au travers des outils GRASS et notamment l'outil v.clean selon certains paramètres. Une fois nos impasses récupérées, on constate que beaucoup d'erreurs d'attribution sont présentes à l'échelle du département. Certains tronçons d'autoroute sont considérés comme des impasses dans nos deux jeux de données. Dans le cadre de la BD TOPO, on peut filtrer les impasses selon un seuil de vitesse maximale afin d'affiner nos résultats. On observe alors que la grande majorité des impasses avec une vitesse au-dessus de 40 km/h sont en dehors du département. Mais un filtrage pertinent pour les données du SDI permettant de dégager les impasses réelles des erreurs d'attribution n'a pas pu être mis en évidence. Autrement dit, on peut déjà mettre en évidence le fait qu'il ne semble pas exister d'impasses avec une vitesse fortement élevée à l'échelle du département.

Si l'on décide de poursuivre notre analyse, on vient rajouter au jeu de données des impasses filtrées les boucles fermées que l'on a pu mettre en évidence dans le calcul de notre coefficient de sinuosité. En effet, on a pu établir que certains tronçons possèdent une distance planimétrique entre leurs bornes extérieures équivalente à 0. Ces tronçons supposent une entrée et une sortie de la voie au même endroit et renvoie à des types de voies semblables aux impasses : parkings, places publiques, routes de zones pavillonnaires. De la même manière que les impasses, on peut supposer que les véhicules qui empruntent ces tronçons n'atteignent pas la vitesse maximale indiquée dans la grille de vitesse. On vient donc les ajouter à notre méthodologie qui se synthétise de la manière suivante (disponible en annexe) :

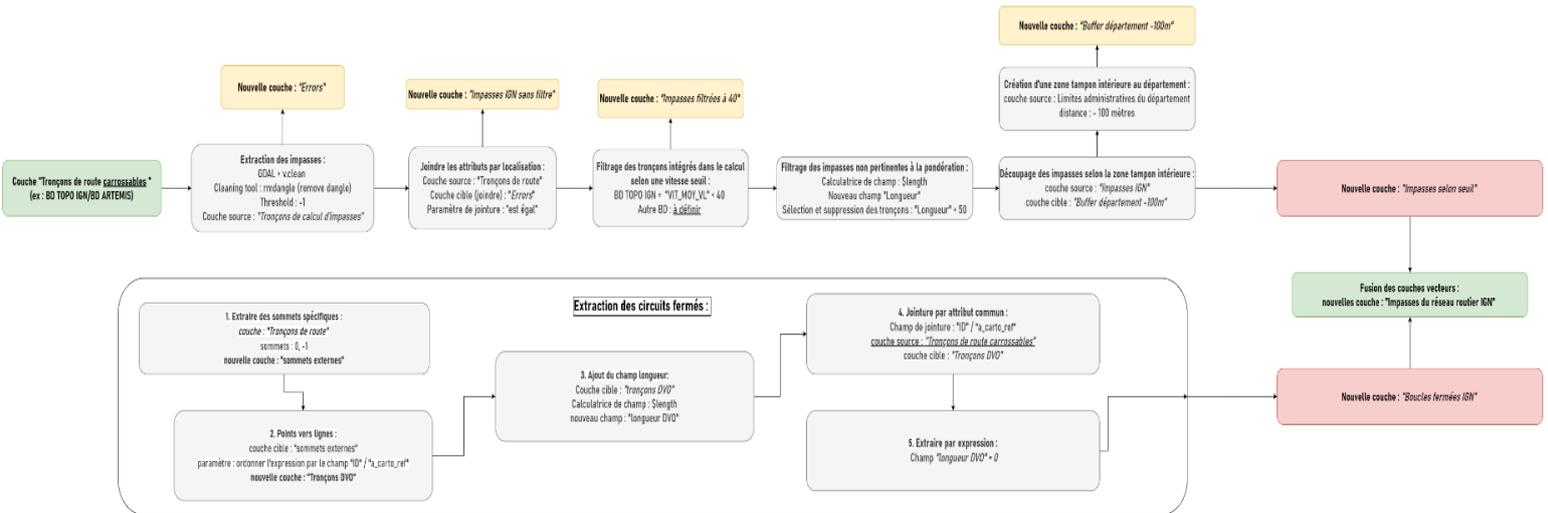


Figure 29 : Méthodologie d'extraction des impasses via nos bases de données routières.

Face à l'impossibilité d'une compatibilité de la méthodologie entre les données du SDIS et celles de la BD TOPO, et au regard d'une pondération probablement très peu significative à l'échelle du graphe routier, on décide néanmoins de ne pas conserver cet élément de pondération dans la suite de notre analyse. Il a été démontré que la plupart des tronçons en impasse qui ne relèvent pas d'erreurs de classification possèdent déjà des vitesses réduites facilement atteignables par un véhicule. D'autant plus que la vérification de ces pondérations par un référentiel reste complexe par la localisation en bout de parcours de ces voies (donc un poids très faible sur un itinéraire donné).

#### 4.4 La question du redécoupage des tronçons.

A travers la construction de notre indicateur de sinuosité, une question parallèle a pu apparaître. Les modalités de découpage des tronçons vont fortement influencer les valeurs du coefficient de sinuosité. Un découpage trop fréquent des tronçons va venir fausser la valeur du coefficient de sinuosité en divisant les tronçons en une série de voies quasi-rectilignes. A l'inverse, un découpage des tronçons pas assez réguliers conduit à une pondération trop importante de la sinuosité par la longueur des tronçons et efface les courbes internes que peut posséder un tronçon. On cherche alors à savoir s'il est envisageable de redécouper les tronçons de nos bases de données afin d'améliorer la qualité de nos coefficients.

Certains outils QGIS permettent de diviser une ligne selon une longueur définie. On pourrait envisager une fusion des tronçons suivi d'un redécoupage des tronçons selon une longueur fixe. Cela permettrait de dépasser les calculs de coefficient sur des tronçons de petite taille, en se concentrant sur des tronçons assez longs pour avoir une influence sur la vitesse des engins. En déplaçant les bornes de chaque tronçon, on viendrait également prendre en compte les tournants entre les voies, des angles importants facteur de la réduction de la vitesse. Néanmoins, ce redécoupage du réseau routier reste trop compliqué à mettre en place : cela reviendrait à fusionner plusieurs tronçons pour en créer un nouveau, entraînant au passage la perte de tous ses attributs et de la vitesse appropriée. La description d'un tronçon et le choix de sa vitesse deviendraient trop complexes, en plus de demander une restructuration complète des données SIG. A ce stade, le filtrage des petits tronçons dans la construction de notre indicateur reste la solution la plus fiable.

De la même manière, on se pose la question d'un redécoupage interne aux tronçons les plus longs pour prendre en compte des variations internes dans le tracé de la voie. La présence d'une courbe unique mais assez importante pour ralentir un véhicule, peut être dissimulée derrière un coefficient trop pondéré par la largeur du tronçon. Afin de vérifier les conséquences de ce redécoupage, on applique une division des tronçons tous les 250 mètres, une valeur subjective qui présuppose que la longueur suffit à modifier le comportement d'un engin. On calcule le coefficient DVO sur l'ensemble des sous-tronçons de 250 mètres pour au final calculer la moyenne de ces coefficients pour la voie complète. On espère ainsi mettre en évidence des courbes internes qui viendraient augmenter le coefficient DVO du tronçon total. Au vu des résultats, il est finalement établi que ce redécoupage n'est pas pertinent dans le cadre de la construction de l'indicateur de sinuosité. Le redécoupage des tronçons à 250 mètres contribue à pondérer trop fortement les valeurs de sinuosité en établissant une succession de voies quasi-rectilignes. C'est le cas dans l'exemple suivant où l'on passe d'un coefficient à 0,3 à une valeur proche de 1 une fois découpé :

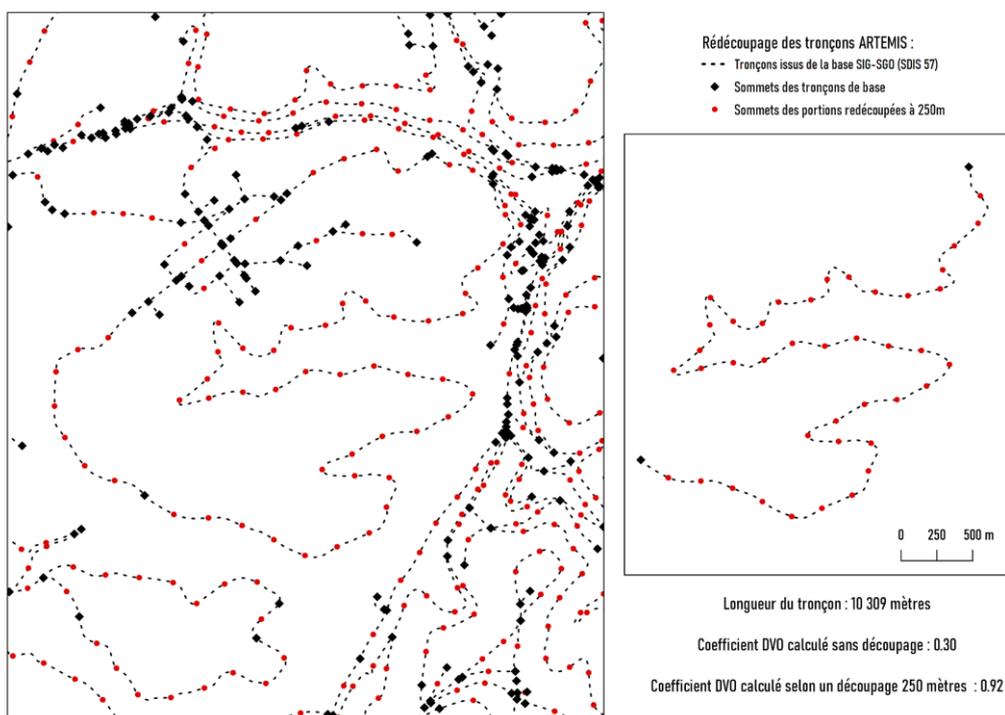


Figure 30 : Exemple de redécoupage à 250 mètres d'un tronçon du SDIS 57.

Face au manque de pertinence du redécoupage du réseau routier à l'échelle du département, on laisse de côté cette problématique. La question de la prise en compte des tournants, évoquée dans l'un des articles de l'état de l'art (Zhang, He, Gou, 2019), peut cependant constituer une perspective importante avec la possibilité de modifier le coût des tournants dans les paramètres d'un jeu de données réseau d'ArcGIS. On pourrait notamment envisager de surpondérer les coûts liés aux tournants à gauche dans une voie.

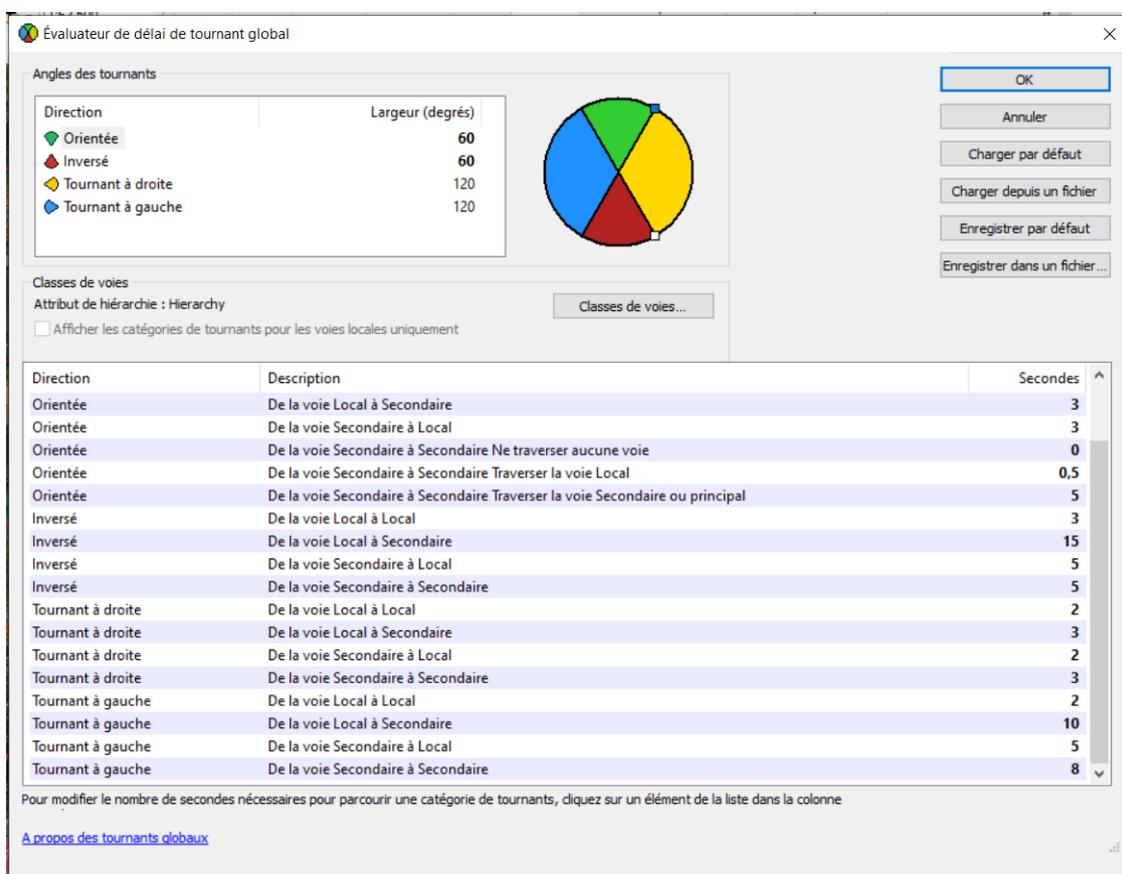


Figure 31 : Interface de modification du coût des tournants dans ArcGIS.

## **V. Mise en application des pondérations et résultats**

### **1. Le choix d'un référentiel pour comparer nos vitesses**

Dans le but de déterminer une grille de vitesse pertinente pour les véhicules du SDIS, il est essentiel de choisir un référentiel sur lequel on viendra ajuster nos temps de trajets calculés. Pour chaque trajet calculé via nos grilles de vitesses, il s'agira donc de s'approcher au mieux de ces temps de référence. Il est donc très important de choisir le référentiel le plus précis dans le contexte d'un véhicule de secours en intervention. Afin de définir notre référentiel dans le cadre de cette étude, plusieurs solutions s'offrent à nous :

- la création d'un jeu de données de référence, construit à partir de temps de trajets réels. L'idéal serait d'obtenir ces données à partir de tracés GPS embarqués dans un véhicule de secours.
- le choix d'un outil de navigation routière, qui fournira des temps de trajets de référence. Il s'agira de vérifier l'outil de navigation le plus précis en le comparant à des temps de trajet réels.

La première solution serait la plus pertinente dans le contexte de notre étude. En effet, tout l'enjeu de notre analyse se focalise autour de la précision des vitesses dans un contexte d'urgence. Avec la construction d'un jeu de données assez conséquent, la présence d'un traceur GPS dans un véhicule du SDIS permettrait donc de déterminer avec précision des temps de trajets pour chaque tronçon emprunté. On pourrait par la suite :

- Calculer la vitesse moyenne pour chaque tronçon emprunté par le véhicule du SDIS via la moyenne des temps de passage. Cela permettrait d'établir une grille de vitesse personnalisé pour chaque tronçon (de la même manière que les services Google Maps ou la base de données HERE).
- Dégager des tendances dans les variations de la vitesse selon les attributs du trajet : horaire, type de route, attributs physiques de la route.
- Adapter les temps moyens par tronçon selon le type de véhicule emprunté. En réalisant un ensemble de temps de référence via un traceur GPS dans différents véhicules de secours (FPT, VSAV, VL de chef de groupe), on pourrait construire une grille spécialisée par type de véhicule (engin lourd, ambulance, véhicule léger) voire par véhicule. Ces vitesses viendraient se combiner à un ensemble de restrictions dans le graphe routier (hauteur, largeur du tronçon notamment) afin d'établir les temps de trajets les plus précis possibles).

Néanmoins, il est impossible à l'heure actuelle d'envisager l'exploitation de ces données de suivi des véhicules du SDIS. Les fonctions de géolocalisation des véhicules du SDIS restent très limitées et ne permettent pas un suivi précis pouvant permettre d'identifier des temps de trajets à l'échelle du tronçon. La géolocalisation des véhicules du SDI est déterminée par le changement d'un statut renseigné par les sapeurs-pompiers en intervention via un poste radio embarqué (chaque numéro correspondant à un statut du véhicule : en route vers l'incident, en chemin vers l'hôpital...). La fréquence d'actualisation de la position des véhicules est donc trop faible pour assurer un suivi et donc permettre la construction d'un référentiel par ces données.



Figure 32 : Exemple de poste radio embarqué en véhicule du SDIS (SDIS 42, 2013).

La deuxième solution pour établir notre référentiel constitue la méthodologie la plus accessible au regard des données exploitables. Il s'agit donc de comparer différents outils de calcul d'itinéraire pour mettre en évidence le plus précis. Les outils de calcul d'itinéraire comme Google Maps ou Waze exploitent les données GPS des utilisateurs afin de calculer un temps de trajet moyen ainsi qu'une vitesse par tronçon. En cela, ils constituent un référentiel utilisable pour obtenir une base sur laquelle on vient ajuster nos temps de trajets. Pour mettre en évidence l'outil de navigation le plus fiable au regard des moyens

disponibles, on compare des temps de trajet réels observés aux temps proposés par ces services. L'ensemble de ces trajets ont été réalisés dans un véhicule léger classique, le reste de notre analyse va donc se concentrer uniquement sur la question des temps de trajet VL.

On retient 45 trajets, aux caractéristiques hétérogènes, afin de valider notre référentiel dans le maximum de conditions possibles : courts trajets urbains (domicile-travail), longs trajets sur autoroute, trajets en zone de montagne, longs trajets en zone rurale. De cette manière, on évite de favoriser un certain type de trajet qui pourrait être le point fort d'un des outils de navigation. L'ensemble de ces trajets ont été réalisés entre le 15 mars et le 1er août. On compare à ces outils : Google Maps, Mappy, Waze et l'outil de calcul d'itinéraires de Géoportail. Chaque calcul d'itinéraire a été programmé à la même heure que le trajet réel effectué, à l'exception des itinéraires de Géoportail qui ne permettent pas de programmer une heure de départ. On synthétise nos résultats dans un tableau (disponible en annexe) :

Date	Heure Départ	Trajet	Paysage	Distance (km)	Trajet Réel (min)	Durée de trajet Maps (min)	Ecart Maps	Durée de trajet Waze (min)	Ecart Waze	Durée de trajet Mappy (min)	Ecart Mappy	Durée de trajet Géoportail (min)	Ecart Géoportail
10/05/2022	8h40	domicile - Sc	Urbain	8,7	22	18	-4	16	-6	18	-4	11	-11
	17h05	lis - Domici	Urbain	8	22	19	-3	16	-6	19	-3	10	-12
11/05/2022	8h33	domicile - Sc	Urbain	8,7	26	18	-8	16	-10	18	-8	11	-15
	16h54	lis - Domici	Urbain	8	22	19	-3	16	-6	19	-3	10	-12
12/05/2022	8h37	domicile - Sc	Urbain	8,7	24	18	-6	16	-8	18	-6	11	-13
	17h03	lis - Domici	Urbain	8	20	19	-1	16	-4	19	-1	10	-10
13/05/2022	7h41	domicile - Sc	Urbain	8,7	20	18	-2	16	-4	18	-2	11	-9
	16h10	Aire De Cl	Autoroute	233	127	130	3	120	-7	117	-10	118	1
	18h47	ous Barbu	Autoroute	125	68	69	1	65	-3	64	-4	64	0
	20h08	enay - 20 R	Nationale (rural)	102	86	84	-2	82	-4	87	1	86	0
15/05/2022	15h33	nps Orléan	Autoroute	463	270	263	-7	243	-27	242	-28	240	-30
16/05/2022	8h44	domicile - Sc	Urbain	8,7	19	18	-1	16	-3	18	-1	11	-8
	17h03	lis - Domici	Urbain	8	30	19	-11	16	-14	19	-11	10	-20

Figure 33 : Extrait du tableau comparatif entre outils de navigation et trajets réels réalisés en VL.

Au vu des résultats, les temps de trajets fournis par Google Maps sont ceux qui se rapprochent le plus des temps de trajets effectués en VL. On affirme donc pour le reste de cette analyse que les temps de trajets Google Maps sont les temps disponibles les plus précis auxquels on puisse accéder. Ce service constitue donc notre référentiel et il s'agira par la suite d'ajuster notre grille de vitesse pour se rapprocher au mieux de ces temps.

On peut nuancer ce choix d'un référentiel fourni par un service tel que Google Maps. Ces temps sont spécifiques à un véhicule léger dans un contexte civil ordinaire, ils ne sont donc pas adaptés aux spécificités de la conduite d'un engin de secours en situation d'urgence. L'amélioration de ce référentiel reste une perspective importante afin d'affiner nos temps de trajets.

Par ailleurs, les résultats de notre comparatif entre temps de trajet réel observé et temps calculé via un service d'itinéraire soulignent à nouveau l'importance de la prise en compte des horaires. Mentionné dans la thèse de M. Soussi (2013), le calcul de graphe en prenant en compte une disparité entre horaires creuses et horaires pleines constitue un facteur important dans l'affinage des temps de trajets. Cela se révèle au travers des écarts les plus importants dans notre référentiel, centré sur les horaires de migration pendulaire : les cinq écarts les plus importants se trouvent dans des horaires 8h30 - 9h30 / 17h (avec parfois un départ plus tôt marqué par la traversée d'une ville en heure de pointe).

Une fois notre référentiel établi, il s'agit désormais d'établir un premier état des lieux concernant les écarts entre les temps de trajets calculés et ceux fournis par Google Maps.

## 2. Tendances des écarts de nos bases de données.

Maintenant qu'on a pu déterminer un référentiel pour notre étude de la précision des temps de trajets, on commence par réaliser un état des lieux des écarts vis-à-vis de ce référentiel pour nos deux bases de données. On souhaite établir des tendances globales à l'échelon du département et donc des possibles disparités dans les écarts entre différentes zones de la Moselle. On calcule donc les écarts de temps de trajets à l'échelle des 22 bassins de couverture du territoire.

Afin de faciliter le calcul des écarts et de dégager des tendances globales, on va utiliser la moyenne des écarts comme indicateur d'un écart plus ou moins significatif. La moyenne constitue un indicateur qui reste assez fiable pour dégager une tendance globale, mais il se pourrait que l'on passe à côté de cas spécifiques dans les écarts des temps de trajets à l'échelle d'un itinéraire précis. Autrement dit, il se pourrait que la moyenne des écarts annonce une forte proximité au référentiel dans un bassin donnée, mais que certains itinéraires au sein de ce bassin admettent des écarts importants allant jusqu'à une dizaine de minutes. L'analyse des écarts à une échelle plus fine constitue une perspective intéressante dans la poursuite de ces travaux. Mais on souhaite travailler à l'échelle du département pour remplir notre objectif d'affinage des écarts constatés entre différentes zones du département.

On réalise cet état des lieux en calculant les itinéraires entre chaque caserne qui sont présentes sur un bassin de couverture via Google Maps, la grille de vitesses du SDIS 57 et la grille de vitesses de la BD TOPO. On établit ensuite un comparatif entre nos vitesses calculées et le référentiel Maps. On calcule les écarts en valeurs absolues, le pourcentage de sous-estimations et de surestimations (en les rapportant au nombre total d'itinéraires calculés par bassins) pour chacun de nos itinéraires au sein des bassins de couvertures. Plus la valeur moyenne des écarts est importante, plus nos vitesses dans ce bassin ne sont pas assez précises. Pour poursuivre l'analyse, plus il y a des surestimations des temps, plus nos vitesses sont excessives dans cette zone. A l'inverse, plus l'on constate de sous-estimations des temps dans un bassin, plus la grille de vitesse admet des vitesses trop faibles.

On cartographie nos résultats pour mieux localiser certaines tendances dans les écarts des temps de trajets à partir des deux grilles de vitesses :

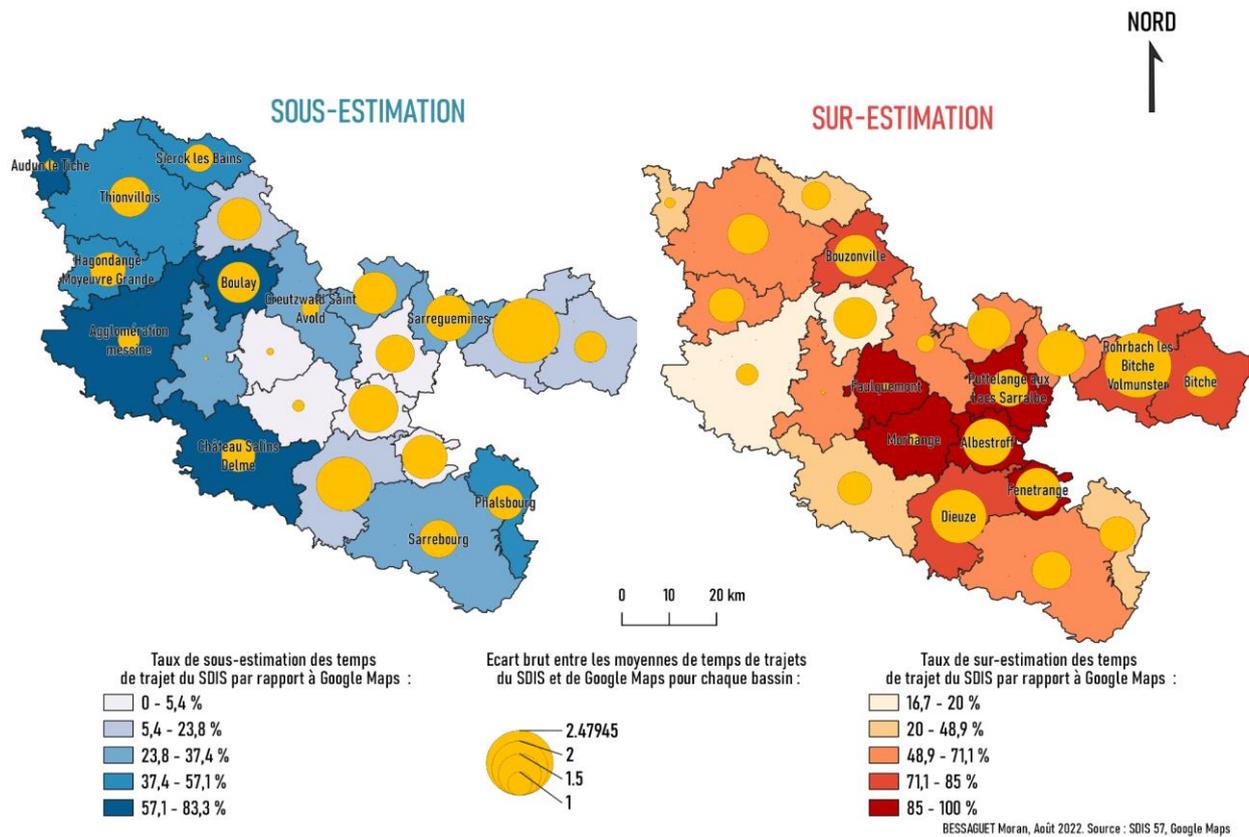


Figure 34 : Écarts moyens des temps de trajet selon la grille de vitesse du SDIS 57, découpage par bassins de couverture.

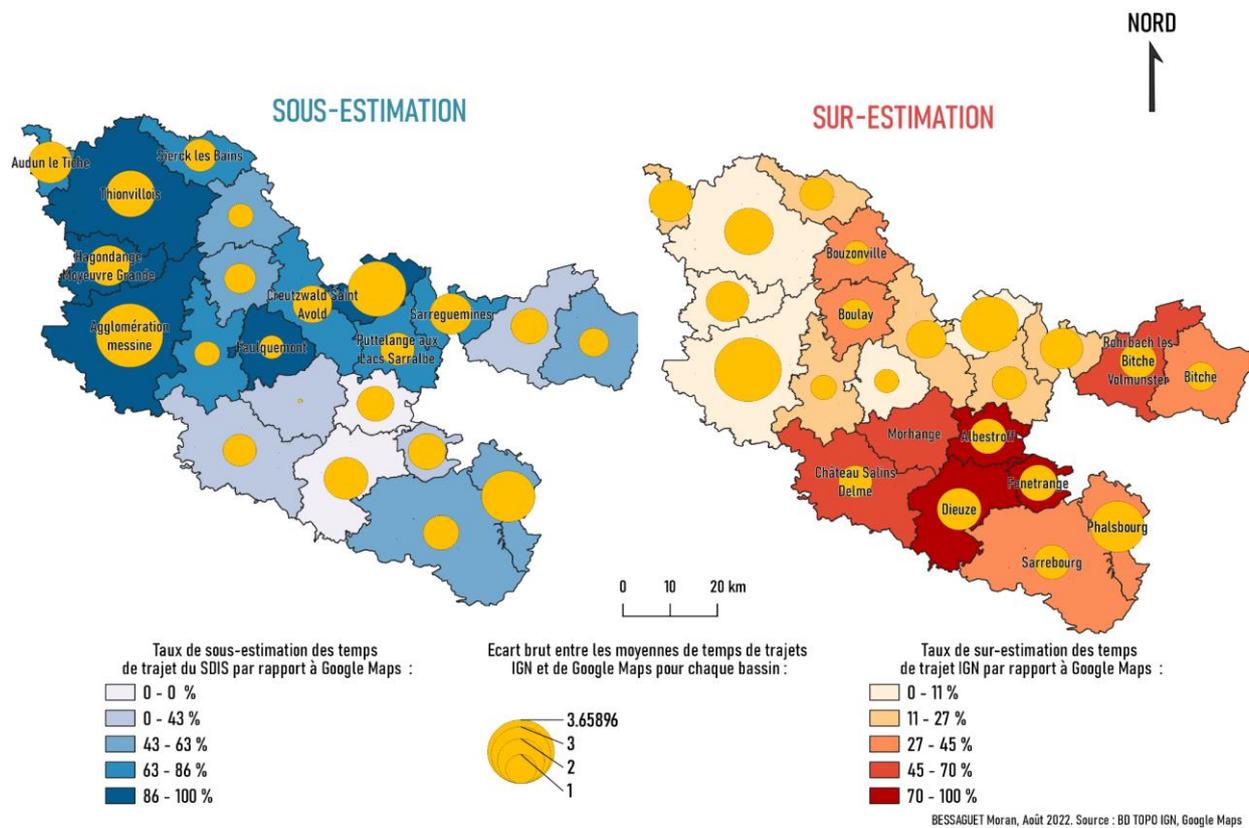


Figure 35 : Écarts moyens des temps de trajet selon la grille de vitesse de la BD TOPO, découpage par bassins de couverture.

Au vu des résultats, on peut mettre en évidence des tendances très contrastées entre les grilles de vitesses de nos bases de données. Là où les taux de surestimation et sous-estimation semblent être équivalents entre les bassins de couverture, les écarts moyens sont bien plus hétérogènes entre nos bases de données. On observe notamment que la grille de vitesses fournie par le SDIS possède une meilleure précision dans les zones urbaines denses, à l'inverse des temps de trajets calculés via la grille de la BD TOPO. Dans le cas de l'agglomération messine, on a une tendance à la sous-estimation des vitesses, mais les écarts moyens sont beaucoup plus importants pour les vitesses de l'IGN. Cela ne suffit pas à déterminer une grille de vitesse plus pertinente que l'autre. Mais on en tire la conclusion que, pour la suite de nos travaux, nos pondérations doivent se concentrer sur ces disparités entre zones urbaines denses et zones rurales.

Cette tendance se confirme quand on compare les écarts par bassins à des données liées à l'urbanisation des bassins. On calcule le nombre d'habitants par bassins ainsi que la surface couverte par la tache bâtie. On observe que les plus grands écarts pour les temps de l'IGN se concentrent dans ces espaces là (disponible en annexe) :

BASSIN	POP_2018	TAUX_URBAIN (% surf tot)	MOY_MAPS	IGN				SDIS 57			
				Moyenne des temps par bassin via IGN	Surestimations (%)	Sous-estimations (%)	Ecart moyen des temps avec Maps (absolu)	Moyenne des temps par bassin	Surestimations (%)	Sous-estimations (%)	Ecart moyen des temps avec Maps (absolu)
Agglomération messine	250305	18,65	16,25	12,65	5,0	95,0	3,66	15,64	20,0	80,0	0,96
Albestroff	6854	5,74	12,00	13,19	100,0	0,0	1,33	13,60	100,0	0,0	1,72
Audun le Tiche	20022	14,00	14,83	13,51	16,7	83,3	1,76	14,44	33,3	66,7	0,80
Bitche	13579	6,06	15,83	15,46	40,5	59,5	0,97	16,61	76,2	23,8	1,17
Boulay	14207	7,02	11,67	11,26	41,7	58,3	1,05	10,83	16,7	83,3	1,48
Bouzonville	17695	8,08	12,45	12,43	45,0	55,0	0,76	13,76	85,0	15,0	1,52
Château Salins Delme	15133	3,69	16,75	17,06	70,0	30,0	1,15	16,18	30,0	70,0	1,23
Curcellles Chaussy Remi	18729	5,53	14,33	13,61	16,7	83,3	0,77	13,94	66,7	33,3	0,77
Creutzwald Saint Avold	68551	18,99	16,98	15,79	25,6	74,4	1,49	17,33	66,0	34,0	0,89
Dieuze	8861	4,13	16,00	17,79	100,0	0,0	1,79	17,83	83,3	16,7	1,88
Faulquemont	18839	9,68	12,00	11,27	0,0	100,0	0,73	12,78	100,0	0,0	0,78
Fenetrange	4565	6,74	8,00	9,23	83,3	16,7	1,39	9,57	100,0	0,0	1,58
bach Freyming Merlebach	10882	40,64	15,02	12,22	5,5	94,5	2,85	15,87	65,4	34,6	1,53
ondange Moyeuve Grand	107014	28,78	14,03	12,47	10,9	89,1	1,68	14,37	56,4	43,6	1,28
Morhange	9612	5,67	9,50	9,53	66,7	33,3	0,25	10,31	100,0	0,0	0,81
Phalsbourg	17494	11,01	15,34	14,99	36,7	63,3	2,51	15,32	48,9	51,1	1,29
itelange aux Lacs Sarra	25869	12,50	13,80	13,40	26,8	73,2	1,18	15,12	94,6	5,4	1,36
bach les Bitche Volmu	21887	7,89	17,56	17,61	57,1	42,9	1,34	19,32	79,5	20,5	2,48
Sarrebouurg	42023	8,36	17,46	16,96	37,9	62,1	1,29	18,09	62,6	37,4	1,38
Sarreguemines	46661	23,67	15,07	13,53	16,7	83,3	1,71	16,17	71,1	28,9	1,66
Sierck les Bains	13810	6,74	11,55	10,51	14,3	85,7	1,19	11,54	42,9	57,1	1,10
Thionvillois	211770	18,69	18,51	16,56	10,3	89,7	2,13	18,96	56,5	43,5	1,45

Figure 36 : Synthèse des écarts moyens par bassin de couverture en fonction des données d'urbanisation (INSEE, SDIS 57, BD TOPO IGN)

### 3. Application des pondérations au réseau routier de la Moselle.

#### 3.1 Application à des bassins de couverture spécifiques.

En poursuivant notre analyse des écarts à l'échelle du département, on souhaite appliquer les éléments de pondération construits dans les précédentes étapes de cette étude. L'application de nos pondérations vise à améliorer nos temps de trajets calculés. Le but étant que l'application de ces pondérations vienne ajuster nos temps de trajets et réduire les écarts constatés dans les différentes zones du département. Pour se faire, on vient appliquer un ensemble de pondération sur la grille des vitesses du SDIS et celle de l'IGN à travers la création de nouveaux dans nos deux bases de données. Pour chacun des éléments de pondération retenus, on applique différents seuils de pondération pour observer les conséquences globales sur les écarts.

Afin de faciliter la mise en évidence les tendances des résultats à l'échelle du département, on décide de choisir quatre bassins de couverture caractéristiques des paysages de la Moselle. De cette façon, on limite les temps de calcul de notre analyse en se spécialisant sur quatre bassins, potentiellement réflecteurs des autres comportements des bassins dans

le département. On applique donc une série de pondération sur le bassin de l'agglomération messine (caractéristique d'un milieu urbain dense), le bassin de Bouzonville (typique d'une zone rurale moyennement peuplée), le bassin de Sarrebourg (zone de piémont à dominante rurale) et le bassin de Phalsbourg (zone montagneuse dans les Vosges). On s'appuie à nouveau sur les moyennes des temps de trajets pour chacun de bassin, l'objectif est de se rapprocher au plus des valeurs de moyenne des temps par bassin fournies par Google Maps. Si les temps moyens calculés sur les vitesses pondérées s'écartent des temps moyens de Google Maps, on considère que la valeur de pondération n'est pas la bonne ou que l'élément de pondération n'a pas sa place dans le bassin donné.

Pour tenter de déterminer la valeur de pondération la plus pertinente, on propose plusieurs seuils pour chaque élément de pondération. On vient donc appliquer une réduction de 5 %, 10 % et 15 % à l'ensemble des tronçons retenus dans le calcul des éléments suivants :

- présence d'un ralentisseur
- présence d'un feu rouge
- tronçons classifiés pentus avec un coef supérieur à 0,1
- tronçons classifiés sinueux avec un coef inférieur à 0,9
- localisation du tronçon en zone urbaine
- localisation du tronçon en zone rurale (+5 %, +10%, +15 % de vitesse)

Une fois nos champs de vitesses pondérés créés pour chaque tronçon de la base SIG-SGO, on vient calculer via ArcGIS les temps de trajets entre les casernes de nos quatre bassins de couverture. On recense les résultats dans un tableau pour mettre en évidence rapidement les évolutions des temps de trajet face aux différents seuils de pondération. On a rajouté dans les annexes le tableau complet concernant le bassin de Phalsbourg, en voici un extrait :

origin_id	destination_id	MAPS	ARCGIS	ECART	Ralent_5	Ralent_10	Ralent_15	Ralent_20	FeuRou_5	FeuRou_10	FeuRou_15	FeuRou_20	PENTE_0_2	RURAL +5	RURAL +10	RURAL +15	URBAIN -5	URBAIN -10							
DANNE	HENRIDORFF	16	14,28	0,72	14,28	14,28	14,28	14,28	14,29	14,29	14,30	14,30	14,28	14,28	14,28	14,28	14,12	13,97	13,72	14,83	15,44				
DANNE	PHALSBOUR	7	8,50	1,90	8,50	8,50	8,50	8,50	8,51	8,51	8,51	8,51	8,50	8,50	8,50	8,50	8,46	8,43	8,37	8,86	9,27				
DANNE	GARREBOUR	15	14,64	-0,36	14,68	14,72	14,76	14,81	14,64	14,65	14,65	14,66	14,64	14,64	14,64	14,64	14,36	14,10	13,65	15,08	15,58				
DANNE	DABO	25	26,59	1,90	26,63	26,67	26,72	26,77	26,60	26,60	26,61	26,61	26,59	26,59	26,59	26,59	26,09	25,61	24,75	27,42	28,30				
DANNE	HASELBOUR	19	17,84	0,16	17,87	17,91	17,96	18,01	17,84	17,85	17,85	17,86	17,84	17,84	17,84	17,84	17,46	17,11	16,50	18,33	18,89				
HENRIDORFF	DANNE	13	13,50	0,00	13,50	13,50	13,50	13,50	13,51	13,51	13,52	13,52	13,50	13,50	13,50	13,50	13,32	13,16	12,88	13,99	14,54				
HENRIDORFF	PHALSBOUR	9	9,55	0,05	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,41	9,28	9,06	9,85	10,19				
HENRIDORFF	GARREBOUR	9	8,00	0,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,75	7,53	7,14	8,13	8,28				
HENRIDORFF	DABO	15	16,52	1,90	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,16	15,81	15,19	16,97	17,45				
HENRIDORFF	HASELBOUR	8	7,76	-0,24	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,53	7,32	6,94	7,89	8,03				
PHALSBOUR	DANNE	7	8,04	1,90	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,00	7,97	7,91	8,38	8,76				
PHALSBOUR	HENRIDORFF	11	9,60	0,40	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,48	9,36	9,16	9,93	10,28				
PHALSBOUR	GARREBOUR	12	12,49	0,00	12,53	12,57	12,61	12,66	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,24	12,02	11,63	12,84	13,23			
PHALSBOUR	DABO	23	24,45	1,90	24,48	24,52	24,57	24,62	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	23,97	23,52	22,73	25,17	25,96				
PHALSBOUR	HASELBOUR	16	15,69	-0,31	15,72	15,76	15,81	15,86	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,34	15,03	14,48	16,09	16,54				
GARREBOUR	DANNE	15	14,25	-0,75	14,29	14,33	14,37	14,42	14,26	14,26	14,27	14,27	14,25	14,25	14,25	14,25	13,97	13,71	13,27	14,68	15,15				
GARREBOUR	HENRIDORFF	9	8,01	0,99	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	7,76	7,54	7,14	8,14	8,28				
GARREBOUR	PHALSBOUR	12	12,44	0,04	12,48	12,52	12,56	12,61	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,20	11,97	11,58	12,79	13,18				
GARREBOUR	DABO	18	17,92	-0,08	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,47	17,05	16,29	18,36	18,82				
GARREBOUR	HASELBOUR	12	9,16	0,04	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	8,84	8,55	8,04	9,28	9,40				
DABO	DANNE	25	26,22	1,90	26,25	26,29	26,34	26,39	26,22	26,23	26,23	26,24	26,22	26,22	26,22	26,22	25,71	25,23	24,38	27,02	27,89				
DABO	HENRIDORFF	15	16,56	1,90	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,20	15,85	15,23	17,01	17,49				
DABO	PHALSBOUR	22	24,41	2,00	24,45	24,49	24,53	24,58	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	23,94	23,49	22,69	25,14	25,92				
DABO	GARREBOUR	18	17,93	-0,07	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,48	17,06	16,31	18,37	18,83				
DABO	HASELBOUR	12	13,98	1,90	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,66	13,35	12,79	14,35	14,73				
HASELBOUR	DANNE	18	17,41	-0,59	17,45	17,49	17,54	17,59	17,42	17,42	17,43	17,43	17,41	17,41	17,41	17,41	17,04	16,69	16,09	17,89	18,42				
HASELBOUR	HENRIDORFF	8	7,76	-0,24	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,53	7,32	6,95	7,89	8,03				
HASELBOUR	PHALSBOUR	16	15,61	-0,39	15,64	15,68	15,73	15,78	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,26	14,95	14,40	16,01	16,45				
HASELBOUR	GARREBOUR	10	9,13	0,07	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	8,81	8,52	8,02	9,24	9,37				
HASELBOUR	DABO	12	14,03	2,00	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	13,71	13,40	12,84	14,40	14,78				
			14,23	14,41	0,18	14,42	14,44	14,46	14,48	14,41	14,41	14,41	14,42	14,41	14,41	14,41	14,11	13,83	13,34	14,81	15,25				

Figure 37 : Extrait du tableau des temps de trajets pour le bassin de Phalsbourg en fonction des différentes pondérations appliquées à la grille de vitesse du SDIS.

Les résultats de ces pondérations permettent d'établir plusieurs conclusions :

- On a pu constater que certaines pondérations ne s'appliquent que dans de rares cas. C'est notamment le cas des pondérations selon la sinuosité ou la pente, ou peu de

tronçons sont concernés. On ne peut pas se permettre de modifier la construction de nos indicateurs dans le but d'y incorporer plus de tronçons et espérer des résultats, au risque de fausser la qualité de la donnée. La rareté de l'activation de ces pondérations constitue donc un challenge dans la vérification de sa pertinence sur le réseau routier du département.

- Certains éléments de pondération viennent accentuer les écarts constatés dans l'état des lieux précédent, en écartant la valeur moyenne des temps de trajets plus loin que les valeurs de base calculées par les grilles de vitesses. Cela implique que chaque bassin de couverture, ou chaque type de zone du département, doit posséder des éléments adaptés.
- Bien qu'ils affinent les temps de trajets en se rapprochant de ceux de Maps, l'activation de certains éléments en zone urbaine tend à favoriser les écarts en zone rurale. C'est notamment le cas des ralentisseurs et feux rouges qui améliorent les écarts dans l'agglomération messine, mais tendent à les augmenter des bassins plus ruraux où la vitesse est déjà trop lente par rapport aux temps Google Maps. On peut alors décider d'appliquer ces éléments séparément selon les bassins, ou tenter d'atteindre un équilibre en combinant plusieurs indicateurs afin d'harmoniser la donnée à l'échelle du département (ex : activation des ralentisseurs sur tout le territoire, combinés à +10 % de vitesses en zone rurale).

A travers cette première approche, on peut déjà dresser un certain bilan et des pistes d'amélioration au vu de nos résultats de pondération sur les tronçons du département.

#### **4. Bilan et améliorations du graphe envisageables.**

Au vu des résultats, il ne me semble pas logique d'adapter les éléments de pondération activés à l'échelle de chaque bassin de couverture. Cela pose un problème en ajoutant de la complexité pour le maintien à long terme de nos pondérations (chaque bassin posséderait une liste d'éléments à activer). D'autant plus que l'application des pondérations selon chaque bassin de couverture viendrait découper l'espace sans prendre en compte d'espaces de transition. On viendrait activer un ralentissement des vitesses sur les ralentisseurs dans un bassin donné, mais un village à 50 m de ce bassin n'aurait pas cet élément activé. Cela ne semble pas logique ou pertinent dans la réduction des écarts à l'échelle du département.

Face à nos résultats complexes, plusieurs solutions apparaissent afin d'améliorer la construction de notre graphe :

1. La poursuite de l'analyse en s'intéressant notamment aux écarts distincts entre zones urbaines et rurales observés dans l'état des lieux des écarts selon nos grilles de vitesse
2. Si on questionne la pertinence de nos temps de référence, qui sont venus invalider la plupart de nos indicateurs, on peut également poursuivre cette étude en s'intéressant à la création d'un référentiel plus précis et adapté aux contextes d'urgence.
3. La tentative d'une hybridation entre la grille de vitesse de la BD TOPO et celle du SDIS 57, au regard des performances opposées de chacune dans les zones rurales et urbaines du département.
4. Le choix d'une base de données construite sur des tracés GPS comme la BD HERE, au risque de se retrouver à nouveau avec un profil de véhicule léger dans notre grille de vitesse.

## **VI. Discussion et perspectives**

### **1. Les limites du référentiel choisi.**

Comme nous avons déjà pu l'évoquer dans la construction de notre référentiel de temps, le choix des temps Google Maps en tant que valeurs à atteindre soulève plusieurs enjeux. Au vu des résultats de l'application des pondérations, qui mettent de côté les indicateurs de pente et de sinuosité, on peut se demander si ces temps fournis sont réellement adaptés au contexte de notre étude. D'autant plus que ce sont des éléments de pondération qui logiques et observés dans une situation réelle : la courbe d'un virage, la présence d'un ralentisseur ou le fait d'emprunter un tronçon en pente vont forcément influencer le comportement d'un véhicule léger (encore plus pour un poids-lourd mais Maps se base sur un profil VL). On est donc en droit de questionner la légitimité du choix de Google Maps en tant que référentiel.

A nouveau, il est important de rappeler que les temps de trajet Maps constituent le référentiel le plus précis parmi les données auxquelles on peut accéder. Nous ne disposons pas de tracés GPS permettant d'établir des éléments de pondération adaptés pour un véhicule de secours.

Deux perspectives pour la suite de cette étude peuvent alors être envisagées :

- la mise en place de ce nouveau référentiel plus précis et plus adapté à l'échelle du SDIS 57. Cela passe donc par la construction d'un jeu de données GPS au sein de véhicules assez important pour établir des tendances et des temps de trajets beaucoup plus précis.
- le maintien de Google Maps en tant que référentiel le plus fiable au vu des moyens disponibles. On admet cependant une marge d'erreur pour les temps de trajets calculés en considérant qu'ils ne prennent pas en compte le profil d'un véhicule de secours en intervention, à l'accessibilité différente d'un véhicule léger classique. Cette marge d'erreur peut se faire sous la forme d'une fourchette d'erreur qui suppose une vitesse plus élevée des véhicules, notamment en milieu urbain. On viendrait alors ajuster nos temps de trajets en admettant cette marge d'erreur possible, permettant de se rapprocher au mieux d'une situation réelle. Par exemple, on validerait les temps de trajet calculés via nos grilles de vitesse qui possèdent un écart maximum de -10 % des temps fournis par Maps.

### **2. La question de l'automatisation des indicateurs.**

La mise en place de ces pondérations reste un point important si les méthodes et les améliorations conseillées dans ces travaux sont validés par le SDIS 57. On peut donc s'interroger sur les modalités de la mise en place de ces résultats au sein de la base de données du service SIG.

Derrière chaque pondération proposée sur le territoire, il a fallu mettre en place une méthodologie stricte pour arriver à des indicateurs relativement fiables. La construction de ces indicateurs nécessite la bonne compréhension de l'opérateur, en plus de demander du temps. Pour chaque nouvelle donnée ajoutée à la base SIG-SGO, il faudrait donc prendre en compte l'ensemble des étapes de construction des indicateurs de sinuosité et de pente. Cela vaut également pour les pondérations en fonction du paysage (urbain/rural) ou concernant la présence de ralentisseurs et de feux rouges, qui nécessitent en plus l'extraction de données externes comme OSM.

Si toutes ces pondérations, ou une partie, viennent à être mises en place par le SDIS 57 la question du maintien à long terme se pose. D'autant plus, s'il y a la nécessité de mettre à jour régulièrement les données au regard des autres jeux de données qui sont fréquemment actualisés.

L'automatisation de la construction des indicateurs reste donc une perspective intéressante pour la poursuite des travaux. Sachant que les données du SDIS 57 sont stockées sur un serveur PostgreSQL, on pourrait notamment s'intéresser à la notion de triggers qui viendraient automatiquement réaliser un ensemble de requêtes sur un nouveau tronçon lors de sa création. L'arrivée récente d'un ETL au sein du service SIG constitue également une perspective en lien avec la construction automatisée de nos éléments de pondération.

### **3. Une étude centrée autour des véhicules légers.**

Enfin, on peut nuancer les résultats de notre étude en affirmant qu'elle se limite à l'utilisation des véhicules légers malgré une utilisation majeure de véhicules lourds (FPT) et "moyens" (VSAV) lors des interventions.

Cette convergence des résultats s'explique essentiellement par le choix d'un référentiel qui se base sur un profil de véhicule léger. L'état de l'art n'a également pas permis d'extraire des grilles de vitesses ou des pondérations pertinentes dans le cadre d'un profil poids-lourd. Il n'est donc pas possible d'établir des vitesses vérifiées, donc un référentiel PL, sur lesquels on viendrait ajuster notre grille de vitesse.

Un comparatif entre un service de calcul d'itinéraires avec des trajets effectués n'est pas réalisable à mon échelle, et nécessite un jeu de données fourni par le SDIS. Néanmoins, si on souhaite considérer un outil de calcul d'itinéraires comme un référentiel, on peut s'appuyer sur des services comme Mappy qui proposent des temps de trajets basés sur un profil PL. Le paramétrage du graphe routier via ArcGIS permet également d'attribuer un profil PL lors du calcul d'une matrice de coûts OD.

L'adaptation des différentes méthodes réalisées dans cette étude à un profil PL constitue donc une perspective importante pour le SDIS 57. On viendrait notamment adapter la construction de nos indicateurs, en accentuant la pondération appliquée aux tronçons sinueux ou avec une forte pente. En appliquant différentes restrictions, on pourrait également modéliser le réseau routier aux caractéristiques physiques des véhicules employés par le SDIS 57 (poids, hauteur, longueur, largeur).

## **Conclusion**

La recherche d'un affinage des temps de trajets à l'échelle d'un département reste très complexe face à la diversité des zones qui le composent. Bien que l'on ait réussi à construire des indicateurs suffisamment pertinents pour venir pondérer la vitesse, ou que l'on ait cherché à prouver la qualité des données sur lesquelles on souhaite appliquer nos pondérations, nous n'avons pas su mettre en évidence de facteurs susceptibles d'affiner la précision de nos vitesses de manière homogène en Moselle. Nous sommes partis du constat que les éléments de pondération construits tout au long de notre étude étaient nécessaires et logiques dans l'impact qu'ils avaient sur le comportement des véhicules. Il s'est finalement avéré que certaines pondérations contribuent à augmenter les écarts que l'on souhaitait supprimer au départ. Face à nos résultats, beaucoup de questions subsistent et suggèrent la poursuite de notre analyse. La question du référentiel reste centrale car il constitue l'élément de validation de l'ensemble de nos travaux, tant sur la construction de nos indicateurs que sur les conséquences des pondérations appliquées au territoire. D'une certaine manière, cette étude pourrait être définie comme une étape préliminaire dans l'affinage des trajets dans un contexte d'urgence, au regard des nombreuses perspectives qui ont été dégagées de notre sujet d'étude.

## **Bibliographie**

<https://www.sdis57.fr/home/sdis-57/le-parc-materiel.html>, SDIS 57, 2017.

[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006070633/LEGISCTA000006164485/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006070633/LEGISCTA000006164485/), *Code général des collectivités territoriales : CHAPITRE IV Services d'incendie et de secours*, 2022.

<https://www.sdis57.fr/home/images/Rapport-Activite-2020-dematerialisee.pdf>, *Rapport d'activité du SDIS 57*, Avril 2020.

<https://enasis.univ-lyon1.fr/clarolinepdfplayerbundle/pdf/21215>, *Formation au dispositif ANTARES*, SDIS 42, 2013.

<https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/>, Données de densité et de superficie à l'échelle des départements.

[https://www.sdis57.fr/home/images/SDACR\\_SDIS57\\_2018\\_WEB.pdf](https://www.sdis57.fr/home/images/SDACR_SDIS57_2018_WEB.pdf), *Schéma départemental d'analyse et de couverture des risques*, SDIS 57, 2018.

### **Collecte du nombre de casernes par département :**

<https://www.sdis44.fr/nous-connaitre/notre-organisation/>

<https://sapeurs-pompiers35.fr/le-sdis35/presentation/nos-missions/>

<http://www.sdis29.fr/activites-operationnelles/organisation-territoriale.html>

<https://www.sdis31.fr/les-batiments>

<https://www.sdis76.fr/sdis-76/en-chiffres>

<https://www.sdis57.fr/home/sdis-57/au-secours-des-citoyens.html>

<https://www.sdis34.fr/les-unites-territoriales/>

<https://www.sdis83.fr/internet/les-chiffres-cles.html>

<http://www.sdis59.fr/organisation/fonctionnement-operationnel/article/fonctionnement-operationnel>

<https://pompiers13.org/nous-connaitre/centres-dincendie-et-de-secours/>

<https://www.sis67.alsace.fr/sis-67/etablissement-public/chiffres-cles>

<https://www.sdmis.fr/etablissement-public/>

<https://www.sdis68.fr/SIS-68/Notre-fonctionnement/Organisation-territoriale/Centres-incendie-secours.html>

[https://ansc.interieur.gouv.fr/nexsis-18-112/#:~:text=NexSIS%2018%2D112%20permettra%20d,multi%2Dm%C3%A9tiers%20\(112\)](https://ansc.interieur.gouv.fr/nexsis-18-112/#:~:text=NexSIS%2018%2D112%20permettra%20d,multi%2Dm%C3%A9tiers%20(112)), *Présentation du système NexSIS*, Agence du Numérique de la Sécurité Civile (ANSC), 2021.

Tao Wang. *Organisation et pilotage des services sur le trajet des urgences*. Informatique [cs]. INSA de Lyon, 2008. Français. Disponible à : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00378501/document>

Alexandre Iglesias. *Calcul d'itinéraire multicritère en transport multimodal*. Autre. Université de Lyon, 2017. Français. Disponible à : <https://www.theses.fr/2017LYSEM025>

Michael Gormley, Tomás Walsh & Ray Fuller (2008) *Risks in the driving of emergency service vehicles*, The Irish Journal of Psychology, 29:1-2, 7-18. Disponible à : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03033910.2008.10446270>

Bram-Larbi, K.F. HCI International 2020 – “Improving Emergency Vehicles’ Response Times with the Use of Augmented Reality and Artificial Intelligence” Late Breaking Papers: *Digital Human Modeling and Ergonomics, Mobility and Intelligent Environments*. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12429. Springer, Cham. Disponible à : [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59987-4\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59987-4_3)

Mohamed Ayet Allah Bilel Soussi. *Conception et réalisation d’un système d’information pour le calcul d’itinéraires destiné aux services d’urgence*. Méthodologie [stat.ME]. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2013. Français. Disponible à : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01290012/document>

Wang Jiawen, Yun Meiping, Ma Wanqing, Yang Xiaoguang, 2013, *Travel Time Estimation Model for Emergency Vehicles under Preemption Control*. Disponible à : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1330809/FULLTEXT01.pdf>

Zhenhua Zhanga, Qing Heab, Jizhan Gouc, Xiaoling Lid. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. Volume 23, Issue 1, 2019, Pages 1-11. *Analyzing travel time reliability and its influential factors of emergency vehicles with generalized extreme value theory*. 2013. Disponible à : <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S1547245022010350>

Mohamed Hilal. *ODOMATRIX. Calcul de distances routières intercommunales*. Cahier des Techniques de l’INRA, INRA, 2010, pp.41-63. Disponible à : <https://hal.inrae.fr/hal-02666703>

<https://root676.github.io/index.html>, *About QNEAT*, Clemens Raffler, 2018.

[https://geoservices.ign.fr/sites/default/files/2022-07/DC\\_BDTopo\\_3-0.pdf](https://geoservices.ign.fr/sites/default/files/2022-07/DC_BDTopo_3-0.pdf), *BD TOPO® Version 3.0 - Descriptif de contenu*, IGN, Juillet 2022.

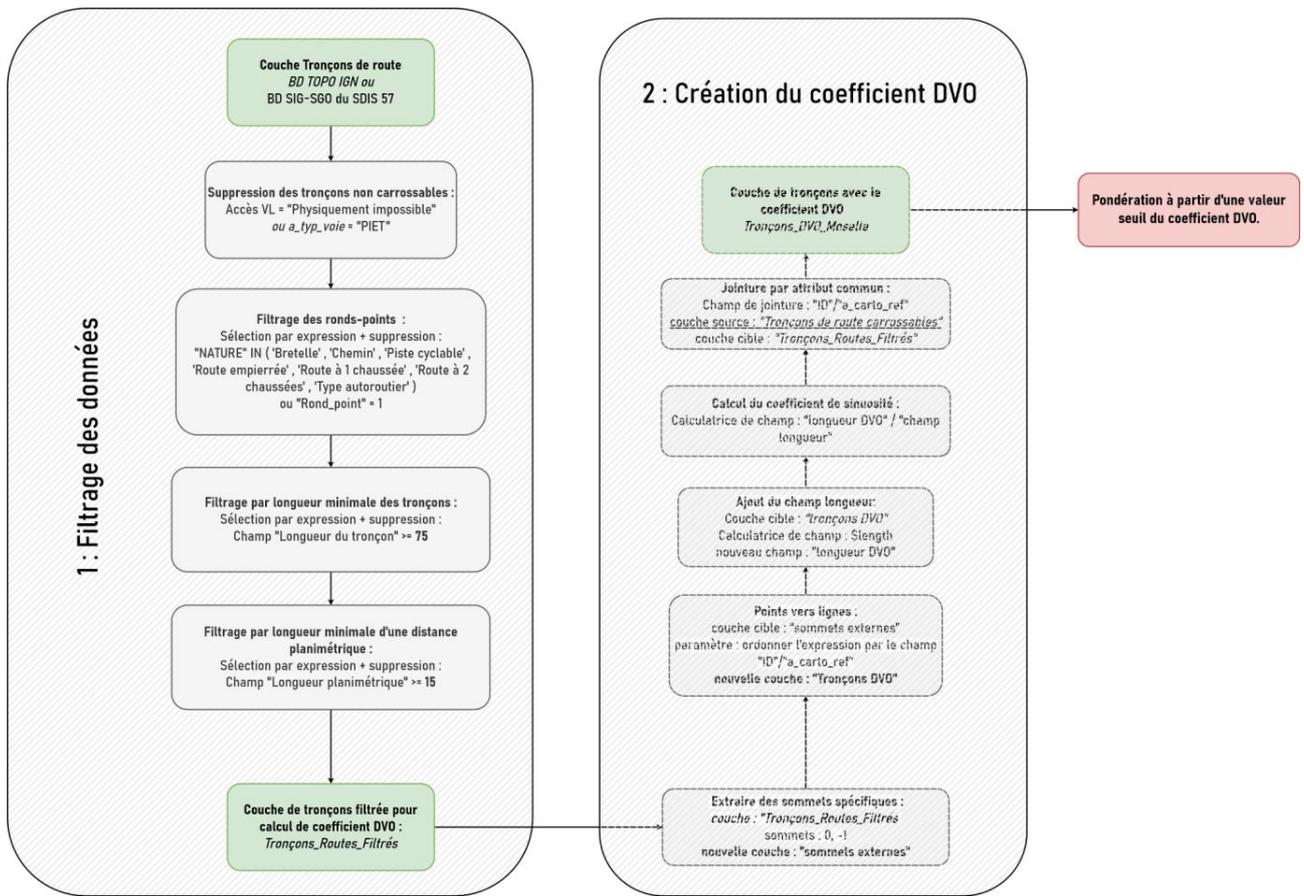
RONDELLI Aurore, *Rapport de stage - Le SIG du SDIS 57*, 2009.

<https://www.korem.com/fr/produit/here-map-data/>, *Description du produit HERE Map Data*, 2021.

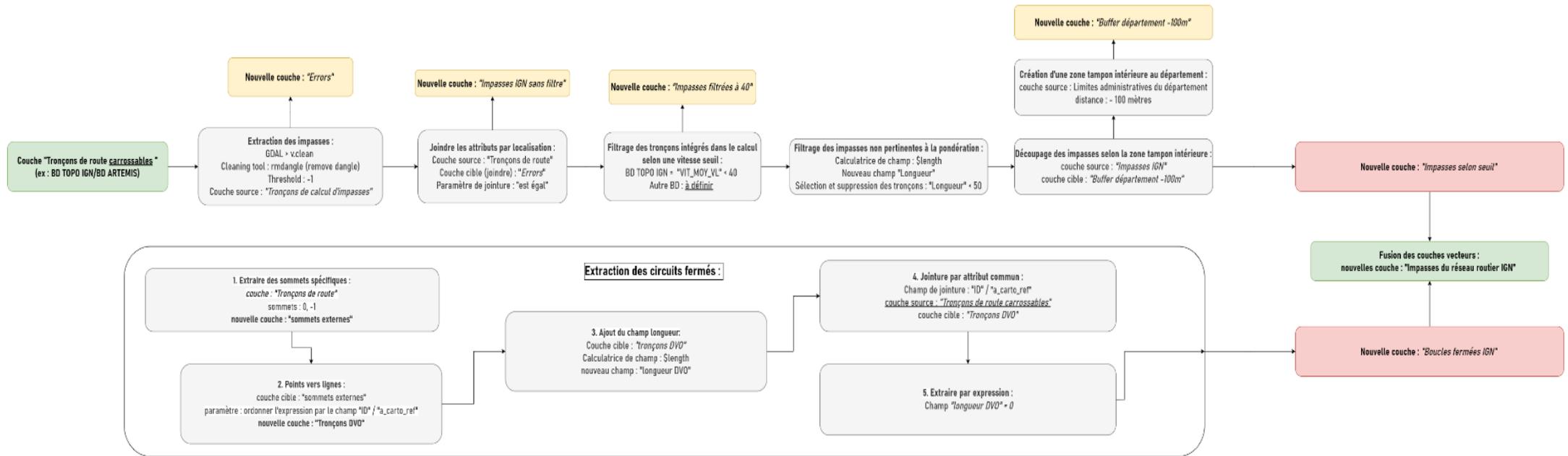
<https://github.com/havatv/qgisclimbplugin>, *QGIS CLimb Plugin*, Håvard Tveite, 2020.

<https://geoservices.ign.fr/bdalti>, *Base de données ALTI*, IGN.

## **Annexes**



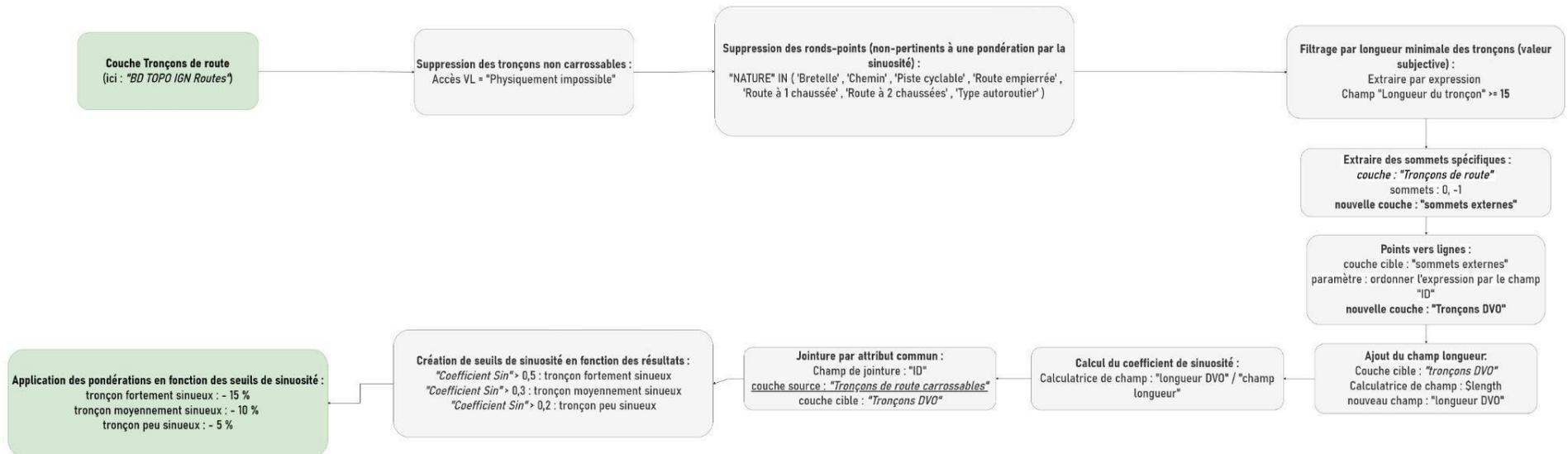
Date	Heure Départ	Trajet	Paysage	Distance (km)	Trajet Réel (min)	Durée de trajet Maps (min)	Ecart Maps	Durée de trajet Waze (min)	Ecart Waze	Durée de trajet Mappy (min)	Ecart Mappy	Durée de trajet Géoportail (min)	Ecart Géoportail
10/05/2022	8h40	micile - S	Urbain	8,7	22	18	-4	16	-6	18	-4	11	-7
	17h05	lis - Domic	Urbain	8	22	19	-3	16	-6	19	-3	10	-2
11/05/2022	8h33	micile - S	Urbain	8,7	26	18	-8	16	-10	18	-8	11	-6
	16h54	lis - Domic	Urbain	8	22	19	-3	16	-6	19	-3	10	-2
12/05/2022	8h37	micile - S	Urbain	8,7	24	18	-6	16	-8	18	-6	11	-3
	17h03	lis - Domic	Urbain	8	20	19	-1	16	-4	19	-1	10	-1
13/05/2022	7h41	micile - S	Urbain	8,7	20	18	-2	16	-4	18	-2	11	-1
	16h10	Aire De Cl	Autoroute	233	127	130	3	120	-7	117	-10	118	1
	18h47	ous Barb	Autoroute	125	68	69	1	65	-3	64	-4	64	0
	20h08	nay - 20 F	Nationale (rural)	102	86	84	-2	82	-4	87	1	86	0
15/05/2022	15h33	nps Orléai	Autoroute	463	270	263	-7	243	-27	242	-28	240	-30
16/05/2022	8h44	micile - S	Urbain	8,7	19	18	-1	16	-3	18	-1	11	-5
	17h03	lis - Domic	Urbain	8	30	19	-11	16	-14	19	-11	10	-20
17/05/2022	8h45	micile - S	Urbain	8,7	18	18	0	16	-2	18	0	11	-7
20/05/2022	8h47	micile - S	Urbain	8,7	19	18	-1	16	-3	18	-1	11	-7
	16h51	lis - Domic	Urbain	8	17	19	2	16	-1	19	2	10	-7
22/05/2022	14h11	olie - Pon	Urbain	7,6	17	14	-3	15	-2	17	0	10	-7
	14h37	onne - 51 F	Urbain	7	18	16	-2	16	-2	19	1	11	-7
27/05/2022	9h27	zence - 4	Urbain	21	31	19	-12	21	-10	24	3	19	-2
	20h35	en - 13 Qu	Urbain	18	21	19	-2	20	-1	19	-2	19	0
01/06/2022	8h38	micile - S	Urbain	8,7	19	18	-1	16	-3	18	-1	11	-7
	16h54	lis - Domic	Urbain	8	21	19	-2	16	-5	19	-2	10	-9
03/06/2022	18h05	Folie - Eg	Nationale (rural)	35	27	29	2	29	2	27	0	25	-2
04/06/2022	16h46	Superma	Rural	43	31	35	4	35	4	30	-1	35	4
	17h31	uyt Delme	Urbain	94	77	80	3	82	5	78	1	75	-3
	19h07	Rue Rom	Urbain	15	20	20	0	16	-4	18	-2	15	-3
05/06/2022	11h51	swiller - 12	Rural	20	28	24	-4	23	-5	24	-4	18	-10
	16h17	Mutzig - 5	Nationale (rural)	123	115	115	0	113	-2	116	1	104	-12
	23h01	Rue De Le	Autoroute	30	28	28	0	29	1	25	-3	21	-4
07/06/2022	14h57	7 - Centre	Urbain	13	17	17	0	17	0	16	-1	12	-5
10/06/2022	16h30	: Clou - G	Autoroute	138	94	90	-4	88	-6	87	-7	82	-12
	18h20	ie Des Go	Nationale (rural)	29	33	35	2	35	2	37	4	30	-7
12/06/2022	18h32	os Gérard	Montagnard (rural)	29	40	38	-2	37	-3	41	1	28	-13
13/06/2022	6h16	ach - 3 Ru	Nationale (rural)	208	168	169	1	164	-4	154	-14	145	-23
24/06/2022	20h23	- 30 Rue C	Nationale (rural)	147	101	96	-5	95	-6	93	-8	91	-10
	22h36	anges - 2	Nationale (rural)	77	79	75	-4	72	-7	77	-2	71	-6
26/06/2022	10h47	rspach - 6	Urbain	32	33	38	5	37	4	39	6	30	-3
	14h49	spach - Fr	Nationale (rural)	92	82	85	3	85	3	85	3	108	26
	16h54	au - 23 Ru	Nationale (rural)	83	80	82	2	82	3	83	3	104	24
27/06/2022	6h07	ach - 3 Ru	Nationale (rural)	209	163	158	-5	169	6	154	-15	145	-18
08/07/2022	17h04	19 Rue Pri	Nationale (rural)	66	59	57	-2	54	-5	58	-1	61	3
	18h15	ourdonna	Nationale (rural)	69	68	67	-1	63	-5	65	-3	60	-5
10/07/2022	15h34	tica - 51 Ri	Nationale (rural)	120	132	126	-6	124	-8	146	14	127	5
17/07/2022	13h56	olie - 3 Ru	Nationale (rural)	167	149	150	1	149	0	162	13	149	0
18/07/2022	6h16	ar - 3 Rue	Nationale (rural)	166	163	155	-8	155	-8	167	4	146	-21
					<b>MOYENNE</b>		<b>-1,84</b>		<b>-3,67</b>		<b>-3,00</b>		<b>-9,74</b>



**Construction d'un indicateur de sinuosité pour une pondération des vitesses.**

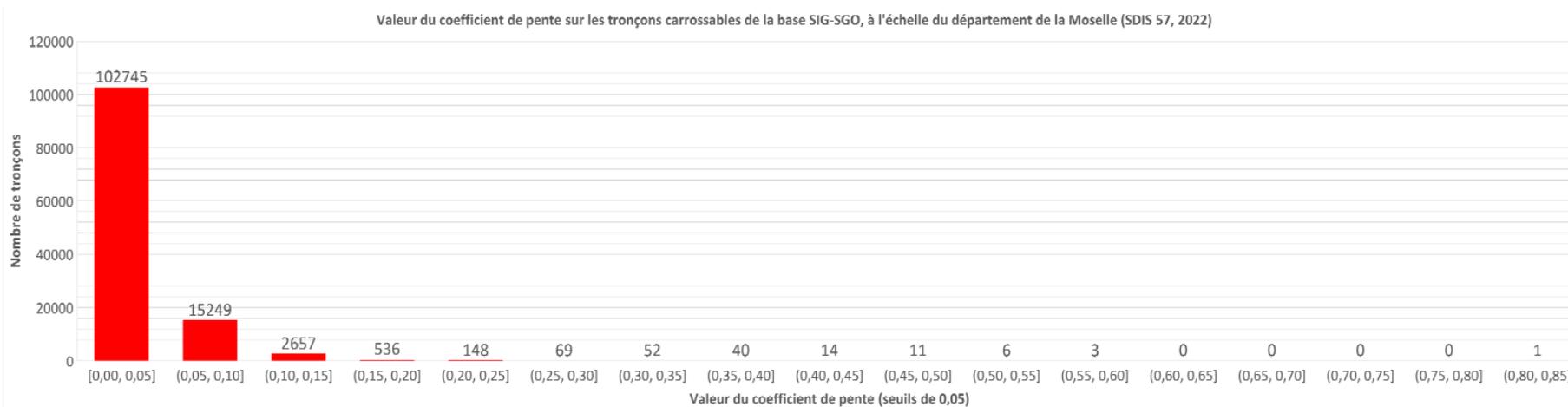
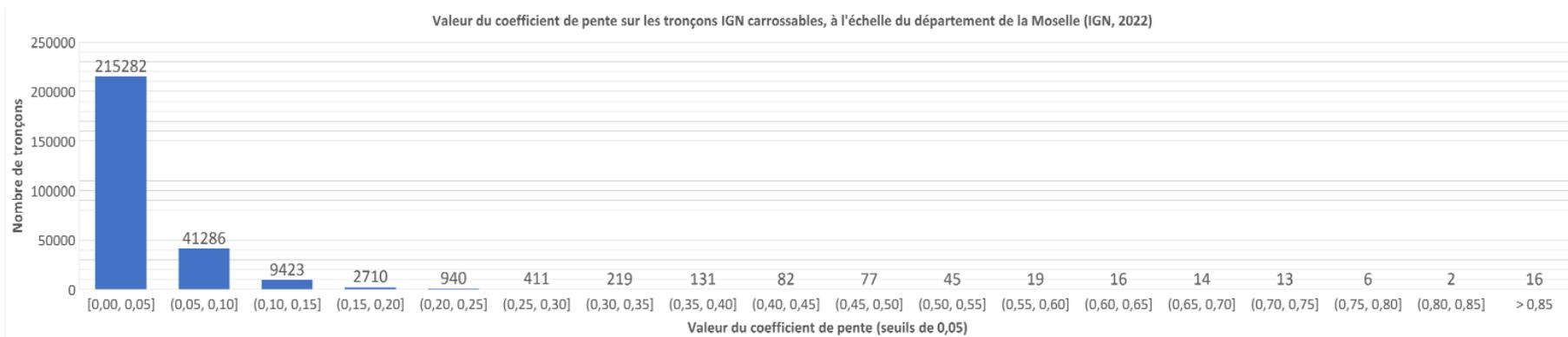
On cherche à établir une méthodologie qui mette en évidence la courbure plus ou moins importante des tronçons de notre base de données. Il s'agira de calculer le rapport entre le nombre de sommets par tronçon et sa longueur réelle.

Une fois notre coefficient calculé, on détermine un ensemble de seuils qui viendront pondérer la vitesse de manière plus ou moins forte.



ZONE	Type de voie	Vitesse moyenne attribuée	Nombre de tronçons attribués
URBAIN	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 1	100	297
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 2	95	0
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 3	90	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 1	95	27
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 2	90	11
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 3	85	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 4	67	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 5	67	0
	Route à 1 chaussée et Importance 1	50	0
	Route à 1 chaussée et Importance 2	50	2873
	Route à 1 chaussée et Importance 3	45	7147
	Route à 1 chaussée et Importance 4	40	15610
	Route à 1 chaussée et Importance 5	30	74351
	Route à 1 chaussée et Importance 6	??	381
	Route à 2 chaussées et Importance 1	50	0
	Route à 2 chaussées et Importance 2	50	543
	Route à 2 chaussées et Importance 3	45	407
Route à 2 chaussées et Importance 4	40	221	
Route à 2 chaussées et Importance 5	35	160	
RURAL	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 1	125	984
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 2	115	0
	Type autoroutier avec classe admin. Autoroute et Importance 3	100	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 1	105	233
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 2	100	149
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 3	95	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 4	90	0
	Type autoroutier non classé comme autoroute et Importance 5	90	0
	Route à 1 chaussée et Importance 1	67	0
	Route à 1 chaussée et Importance 2	67	3167
	Route à 1 chaussée et Importance 3	63	6325
	Route à 1 chaussée et Importance 4	58	13550
	Route à 1 chaussée et Importance 5	35	42723
	Route à 1 chaussée et Importance 6	??	113
	Route à 2 chaussées et Importance 1	80	6
	Route à 2 chaussées et Importance 2	75	778
	Route à 2 chaussées et Importance 3	67	480
Route à 2 chaussées et Importance 4	67	185	
Route à 2 chaussées et Importance 5	65	149	
AUTRES	Rond-point	25	2950
	Route empierrée	10	39265
	Bretelle Importance 1	45	88
	Bretelle Importance 2	45	291
	Bretelle Importance 3	45	457
	Bretelle Importance 4	45	194
	Bretelle Importance 5	35	95
	Chemin importance 5	1	74890
	Sentier	0	49923
	Piste cyclable	0	2046
Escalier	0	719	

BASSIN	POP_2018	TAUX_URBAIN (% surf tot)	MOY_MAPS	IGN				SDIS 57			
				Moyenne des temps par bassin via IGN	Surestimations (%)	Sous-estimations (%)	Ecart moyen des temps avec Maps (absolu)	Moyenne des temps par bassin	Surestimations (%)	Sous-estimations (%)	Ecart moyen des temps avec Maps (absolu)
Agglomération messine	250305	18,65	16,25	12,65	5,0	95,0	3,66	15,64	20,0	80,0	0,96
Albestroff	6854	5,74	12,00	13,19	100,0	0,0	1,33	13,60	100,0	0,0	1,72
Audun le Tiche	20022	14,00	14,83	13,51	16,7	83,3	1,76	14,44	33,3	66,7	0,80
Bitche	13579	6,06	15,83	15,46	40,5	59,5	0,97	16,61	76,2	23,8	1,17
Boulay	14207	7,02	11,67	11,26	41,7	58,3	1,05	10,83	16,7	83,3	1,48
Bouzonville	17695	8,08	12,45	12,43	45,0	55,0	0,76	13,76	85,0	15,0	1,52
Château Salins Delme	15133	3,69	16,75	17,06	70,0	30,0	1,15	16,18	30,0	70,0	1,23
Curcellles Chaussy Remi	18729	5,53	14,33	13,61	16,7	83,3	0,77	13,94	66,7	33,3	0,77
Creutzwald Saint Avold	68551	19,99	16,98	15,79	25,6	74,4	1,49	17,33	66,0	34,0	0,89
Dieuze	8861	4,13	16,00	17,79	100,0	0,0	1,79	17,83	83,3	16,7	1,98
Faulquemont	18839	9,68	12,00	11,27	0,0	100,0	0,73	12,78	100,0	0,0	0,78
Fenetrange	4565	6,74	8,00	9,23	83,3	16,7	1,39	9,57	100,0	0,0	1,58
Hautbach Freyming Merlebach	108882	40,64	15,02	12,22	5,5	94,5	2,85	15,87	65,4	34,6	1,53
Landange Moyeuve Graucourt	107014	28,78	14,03	12,47	10,9	89,1	1,68	14,37	56,4	43,6	1,28
Morhange	9612	5,67	9,50	9,53	66,7	33,3	0,25	10,31	100,0	0,0	0,81
Phalsbourg	17494	11,01	15,34	14,99	36,7	63,3	2,51	15,32	48,9	51,1	1,29
Rehling aux Lacs Sarraute	25869	12,50	13,80	13,40	26,8	73,2	1,18	15,12	94,6	5,4	1,36
Rehling les Bitche Volmu	21887	7,89	17,56	17,61	57,1	42,9	1,34	19,32	79,5	20,5	2,48
Sarrebourg	42023	8,36	17,46	16,96	37,9	62,1	1,29	18,09	62,6	37,4	1,38
Sarreguemines	46661	23,67	15,07	13,53	16,7	83,3	1,71	16,17	71,1	28,9	1,66
Sierck les Bains	13810	6,74	11,55	10,51	14,3	85,7	1,19	11,54	42,9	57,1	1,10
Thionvillois	211770	18,69	18,51	16,56	10,3	89,7	2,13	18,96	56,5	43,5	1,45



La BD TOPO va admettre une pondération selon l'espace traversé, ici en dissociant les tronçons en zone urbaines et rurales. Il s'agira de poursuivre et d'affiner ce découpage du territoire dans la suite de l'analyse.

Champ	TYPE DE TRONÇON	ACCES RESTREINT	LIMITE HAUTEUR	LIMITE LARGEUR	LIMITE LONGUEUR	LIMITE POIDS	PRESENCE D'OBSTACLES	SENS DE CIRCULATION	VITESSE LEGALE	VITESSE VL	VITESSE PL	ROND POINT	HIERARCHIE DU RESEAU	NOMBRE DE VOIES	LARGEUR	ACCES POSSIBLE EN VL	PAYSAGE TRAVERSE
Nom de la voie dans la base SIG-SGO	a_typ_voie	restriction_acces	restriction_hauteur	restriction_largeur	restriction_longueur	restriction_poids	obstacle_debut/fin	sens_de_circulation	vitesse_reglementaire	vitesse_spe_vl	vitesse_spe_pl	rond_point					
Valeurs uniques du champ	VCS, VC, RN, RD, PIET, CHE, AUT	NULL	NULL 4 m - 6,8 m	NULL 2 m - 4,4 m	NULL 3,5 m - 4,5 m	NULL 1 t - 25 t	NULL Bornes, Bornes Amovibles, Chaines, Barriere	N, FT	130, NULL, 70, 40, 10, 110, 50, 20, 90, 30	0,34,98,4, NULL, 40, 106, 10, 14, 7, 8, 16, 24, 60, 29	0,66,4, NULL, 10, 45, 14, 15, 80, 17, 49, 19, 31	NULL 1	X	X	X	X	X
Nom de la voie dans la BD TOPO	Nature	Nature de la restriction	Restriction de hauteur	Restriction de largeur	Restriction de longueur	Restriction de poids total		Sens de circulation		Vitesse moyenne VL		X	Importance	Nombre de voies	Largeur de chaussée	Accès véhicule léger	Urbain
Valeur uniques du champ	Escalier, Type autoroutier, Piste cyclable, Chemin, Route empierrée, Sentier, Bretelle, Route à 1 chaussée, Route à 2 chaussées, Rond-point	NULL Passage barré Voie verte Entrée avec gardien	NULL 1,8 m - 4,8 m	NULL	NULL	NULL 1,5 t - 40 t	X	Double sens;Sens direct;Sens inverse	X	0, 1, 10, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 58, 63, 65, 67, 70, 75, 80, 90, 95, 100, 105, 125	X	Précisé dans nature	1 à 6	NULL 0, 1, 2, 3, 4, 5	NULL 0 m 1 m - 14 m	Physiquement impossible;Restraint aux ayants droit;A péage;Libre	OUI, NON

La nature des tronçons est plus détaillée dans la BD TOPO que dans les données du SDIS 57. On pourrait plus facilement distinguer une tendance globale selon le type de voie.

Malgré le nombre égal de champs de restriction, une analyse des valeurs montre de très fortes disparités dans le renseignement de ces données (IGN/SDIS) :  
 Hauteur : 314 / 127  
 Largeur : 0 / 36  
 Longueur : 0 / 2  
 Poids : 692 / 92  
 Ces données sont pourtant des enjeux importants dans l'accessibilité de certains véhicules du SDIS dans des zones contraintes. La mise en commun de ces données semble recommandée.

La BD TOPO ne renseigne pas la présence d'obstacles sur le tronçon, cela peut jouer sur l'accessibilité des véhicules lors d'une intervention.

La BD TOPO trouve des atouts dans sa description plus poussée des tronçons, qui peut mener à une pondération plus détaillée en fonction de ces champs. Ces trois champs sont notamment exploités dans la thèse de Soussi (2013).

Les deux jeux de données nécessitent d'être transformés en données carrossables afin de pouvoir les utiliser dans un graphe. Au-delà de cet aspect, on peut voir que la prise en compte des voies exceptionnellement utilisables par les secours est effective dans la BD TOPO en les distinguant par la valeur "Restraint aux ayants droit".

Seules les données du SDIS 57 proposent une grille de vitesse spécialisée pour les PL. Il ne sera pas possible d'établir un comparatif de cette grille avec les données de l'IGN. D'autant plus que le travail de correspondance de la grille de vitesse VL entre le SDIS et l'IGN reste déjà assez complexe.

destination_id	MAPS	ARCGIS	ECART	Ralent_5	Ralent_0	Ralent_5	Ralent_0	FeuRou_5	FeuRou_0	FeuRou_5	FeuRou_0	PENTE_0_2_10	PENTE_0_2_15	PENTE_0_2_20	PENTE_0_2_30	RURAL+5	RURAL+10	RURAL+20	URBAIN -5	URBAIN -10	URBAIN -20	SINUOSITE 0.90 - 10	SINUOSITE 0.90 - 15	SINUOSITE 0.90 - 20	SINUOSITE 0.90 - 30
HENRIDORFF	16	14,28	0,72	14,28	14,28	14,28	14,28	14,29	14,29	14,30	14,30	14,28	14,28	14,28	14,28	14,12	13,97	13,72	14,83	15,44	16,89	14,29	14,30	14,31	14,33
PHALSBOURG	7	8,50	1,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,51	8,51	8,51	8,50	8,50	8,50	8,50	8,46	8,43	8,37	8,86	9,27	10,24	8,51	8,52	8,52	8,54
GARREBOURG	15	14,64	-0,66	14,68	14,72	14,76	14,81	14,64	14,65	14,65	14,66	14,64	14,64	14,64	14,64	14,36	14,10	13,65	15,08	15,58	16,75	14,69	14,72	14,76	14,84
DABO	25	26,59	1,38	26,63	26,67	26,72	26,77	26,60	26,60	26,61	26,61	26,59	26,59	26,59	26,59	26,09	25,61	24,75	27,42	28,30	30,40	26,65	26,68	26,71	26,80
HASELBOURG	19	17,84	-0,66	17,87	17,91	17,96	18,01	17,84	17,85	17,85	17,86	17,84	17,84	17,84	17,84	17,46	17,11	16,50	18,33	18,89	20,20	17,89	17,92	17,95	18,04
DANNE QUATRE	13	13,50	0,30	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,51	13,51	13,52	13,50	13,50	13,50	13,50	13,32	13,16	12,88	13,99	14,54	15,83	13,50	13,50	13,50	13,51
PHALSBOURG	9	9,55	0,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,55	9,41	9,28	9,06	9,85	10,19	10,99	9,61	9,64	9,68	9,77
GARREBOURG	9	8,00	-1,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,75	7,53	7,14	8,13	8,28	8,62	8,01	8,02	8,03	8,05
DABO	15	16,52	1,38	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,52	16,16	15,81	15,19	16,97	17,45	18,56	16,53	16,54	16,55	16,56
HASELBOURG	8	7,76	-0,24	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,53	7,32	6,94	7,89	8,03	8,36	7,77	7,78	7,79	7,81
DANNE QUATRE	7	8,04	1,60	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04	8,00	7,97	7,91	8,38	8,76	9,67	8,04	8,04	8,04	8,04
HENRIDORFF	11	9,60	-0,40	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,48	9,36	9,16	9,93	10,28	11,13	9,60	9,60	9,60	9,60
GARREBOURG	12	12,49	0,49	12,53	12,57	12,61	12,66	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,49	12,24	12,02	11,63	12,84	13,23	14,16	12,53	12,55	12,58	12,64
DABO	23	24,45	1,38	24,48	24,52	24,57	24,62	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	23,97	23,52	22,73	25,17	25,96	27,80	24,48	24,51	24,53	24,60
HASELBOURG	16	15,69	-0,31	15,72	15,76	15,81	15,86	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,69	15,34	15,03	14,48	16,09	16,54	17,60	15,73	15,75	15,78	15,84
DANNE QUATRE	15	14,25	-0,75	14,29	14,33	14,37	14,42	14,26	14,26	14,27	14,27	14,25	14,25	14,25	14,25	13,97	13,71	13,27	14,68	15,15	16,26	14,29	14,32	14,34	14,41
HENRIDORFF	9	8,01	-0,99	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01	7,76	7,54	7,14	8,14	8,28	8,62	8,02	8,02	8,03	8,05
PHALSBOURG	12	12,44	0,44	12,48	12,52	12,56	12,61	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,44	12,20	11,97	11,58	12,79	13,18	14,10	12,48	12,51	12,53	12,60
DABO	18	17,92	-0,08	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,47	17,05	16,29	18,36	18,82	19,91	17,92	17,92	17,92	17,92
HASELBOURG	12	9,16	-0,34	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	9,16	8,84	8,55	8,04	9,28	9,40	9,71	9,16	9,16	9,16	9,16
DANNE QUATRE	25	26,22	1,38	26,25	26,29	26,34	26,39	26,22	26,23	26,23	26,24	26,22	26,22	26,22	26,22	25,71	25,23	24,38	27,02	27,89	29,93	26,26	26,28	26,31	26,38
HENRIDORFF	15	16,56	1,38	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	16,20	15,85	15,23	17,01	17,49	18,61	16,58	16,58	16,59	16,61
PHALSBOURG	22	24,41	2,41	24,45	24,49	24,53	24,58	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	23,94	23,49	22,69	25,14	25,92	27,76	24,45	24,47	24,50	24,56
GARREBOURG	18	17,93	-0,07	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,93	17,48	17,06	16,31	18,37	18,83	19,92	17,93	17,93	17,93	17,93
HASELBOURG	12	13,98	1,38	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,66	13,35	12,79	14,35	14,73	15,61	13,99	13,99	13,99	14,00
DANNE QUATRE	18	17,41	-0,59	17,45	17,49	17,54	17,59	17,42	17,42	17,43	17,43	17,41	17,41	17,41	17,41	17,04	16,69	16,09	17,89	18,42	19,68	17,46	17,48	17,51	17,58
HENRIDORFF	8	7,76	-0,24	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,76	7,53	7,32	6,95	7,89	8,03	8,37	7,77	7,78	7,79	7,81
PHALSBOURG	16	15,61	-0,59	15,64	15,68	15,73	15,78	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,26	14,95	14,40	16,01	16,45	17,51	15,65	15,67	15,70	15,76
GARREBOURG	10	9,13	-0,37	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	9,13	8,81	8,52	8,02	9,24	9,37	9,67	9,13	9,13	9,13	9,13
DABO	12	14,03	2,43	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	14,03	13,71	13,40	12,84	14,40	14,78	15,66	14,04	14,05	14,06	14,07
	14,23	14,41	0,18	14,42	14,44	14,46	14,48	14,41	14,41	14,41	14,42	14,41	14,41	14,41	14,41	14,11	13,83	13,34	14,81	15,25	16,28	14,43	14,45	14,46	14,50