

Projet Ingénieur

Mesurer les Infrastructures Routières

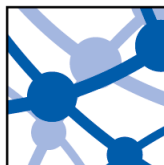
Equipe:

ALLEMAND Fabien

BALAKRISHNAN Sylvain

BONNAIL Julie

Alcatel•Lucent



École d'ingénieurs

Télécom Physique

Université de **Strasbourg**

Table des matières

Liste des figures	2
1 Introduction	3
2 Présentation du Projet	3
2.1 Enjeux	3
2.2 Mise en œuvre	4
3 Etat de l'Art	5
4 Objectifs	6
5 Périmètre du Projet	6
5.1 Coût	6
5.2 Délai	6
5.3 Qualité	6
6 Risques	6
7 Ressources et Rôles	7
7.1 Outils de collaboration	7
7.2 Outils de collecte de données	7
8 Planning Initial	7
9 Conclusion	8
Bibliographie	9

Liste des figures

1	Description du fonctionnement du système	4
2	Description du fonctionnement du système	5
3	Description du fonctionnement du système (Collecte)	5
4	Planning initial (Diagramme de Gantt)	8

1 Introduction

Un réseau routier présentant de fortes dégradations impacte inévitablement la sécurité et le confort des usagers. Cependant, les conséquences d'un mauvais entretien des routes génère aussi des dépenses supplémentaires pour les automobilistes, une augmentation de la pollution et nuit à la compétitivité économique et militaire d'un pays.

Par nature les réseaux routiers sont des structures de grande envergure, il est donc difficile d'en avoir une vision globale à chaque instant et donc de pouvoir surveiller leur état.

Il existe tout de même de nos jours différentes techniques permettant de détecter des dégâts sur les chaussées. Les plus simples, basées sur l'analyse d'images ou de données accélérométriques, permettent de déceler les dégradations en surface, d'autres plus précises et plus coûteuses permettent aussi d'analyser la structure de la route en profondeur.

Le but de ce projet est de concevoir et développer un système informatique qui permet de détecter automatiquement tout type de dégradation sur les routes afin qu'elles puissent être signalées et réparées dans les plus brefs délais.

Ce système devra présenter un faible coût de déploiement et un faible impact sur l'environnement tout en restant peu intrusif du point de vue de l'utilisateur (contraintes d'utilisation et vie privée).

2 Présentation du Projet

L'état de dégradation des chaussées peut avoir un fort impact pour les usagers et l'environnement. Ce projet a pour objectif de développer une solution informatique pour améliorer les conditions de conduites face aux routes mal entretenues.

2.1 Enjeux

En 2017, près de 75% des actifs français utilisent une voiture pour effectuer leurs déplacements quotidiens notamment pour se rendre sur leur lieu de travail [12]. Ce sont donc 18,1 millions d'usagers qui parcourent le réseau routier français régulièrement. Selon des études plus récentes, la proportion de travailleurs utilisant leur voiture pour effectuer les trajets domicile-travail a augmenté sous l'effet de la crise sanitaire liée à la Covid-19 [19], les français ne se sentant plus en sécurité dans les transports en commun. De nos jours, les véhicules routiers représentent plus de 80% des déplacements des français lors des vacances [17]. Selon l'Insee, il y a 37,9 millions de véhicules actuellement en service en France. Assurer la sécurité et le confort de l'ensemble des usagers lors de leurs déplacements personnels ou professionnels est donc une priorité. Or 30% des accidents de la route mortels sont causés par des déformations sur la chaussée [1]. Ce chiffre pourrait augmenter avec l'arrivée des véhicules autonomes sur les routes. Ces derniers pourraient être déstabilisés par certains défauts sur les routes. Néanmoins, selon le dernier rapport de l'ONR le budget consacré à l'entretien des routes ne cesse de diminuer [4] alors que la qualité du réseau routier se dégrade [18].

Outre le confort et la sécurité, les défauts sur les chaussées impactent aussi les frais d'entretiens des véhicules. Selon une étude menée aux Etats Unis d'Amérique, les réparations engendrées par le mauvais état des routes représentent plusieurs centaines d'euros par voiture par an.

D'autres études dénoncent aussi un coût environnemental. Les dégâts et les réparations sur les véhicules ne sont pas sans impact sur la nature [10] et les conditions des routes peuvent drastiquement modifier le comportement du véhicule ce qui peut induire une plus forte émission de gaz à effet de serre.

Finalement, l'état et la qualité du réseau routier ont une influence sur la compétitivité économique et militaire d'un pays : un pays ayant un réseau routier médiocre ne pourra pas faire transiter des marchandises suffisamment rapidement et sera donc moins compétitif [2].

2.2 Mise en œuvre

Etant donné l'étendue des réseaux routiers et leur rapide évolution, mobiliser une équipe de personnel d'entretien afin de parcourir l'ensemble des routes, de façon régulière, ayant pour mission de repérer et réparer les dégradations n'est pas une solution viable en terme de coût financier et environnemental. De plus, cette méthode ne fournirait pas nécessairement de bons résultats puisque certaines dégradations pourraient ne pas être vues ou tout simplement négligées par les ouvriers.

Le but est donc de créer un système informatique capable d'analyser en continu l'état de la route et de transmettre en temps réel les éventuels dégâts repérés.

La collecte de donnée sous forme participative s'annonce comme l'unique alternative aux équipes de techniciens balayant le réseau routier car les images satellites n'offrent pas suffisamment de précision pour repérer des dégradations à l'échelle d'une route et il n'est pas envisageable de placer des capteurs pour surveiller l'état de l'ensemble d'un réseau routier. Collecter dans une base de donnée communautaire des informations sur les routes permet de recouvrir le réseau selon les dimensions spatiales et temporelle.

Afin de limiter le coup de déploiement du système, la collecte de donnée peut être réalisée à l'aide d'un smartphone. Les téléphones portables actuels contiennent de nombreux capteurs et une puissance de calcul non négligeable. La collecte de données se fait au travers d'une application développée à cet effet. Le choix du smartphone plutôt qu'un appareil spécialisé permet aussi de limiter l'impact environnemental du projet. Cette même application sera utilisée par les ouvriers voiries pour prendre connaissance de l'état courant de la route (Figure 1).

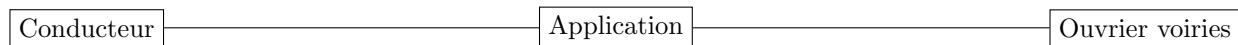


Figure 1: Description du fonctionnement du système

Un traitement par image est envisageable. Une caméra embarquée a l'avantage de balayer une grande surface d'un réseau rapidement et de façon régulière. Cependant, la qualité de l'image lors du déplacement du véhicule dans des conditions d'éclairage variables n'est probablement pas suffisante pour détecter les dégradations les plus fines. De plus l'utilisation d'une caméra entraîne des contraintes supplémentaires pour l'utilisateur: positionnement de la caméra, espace de stockage, consommation énergétique...

En revanche la collecte de données accélérométriques peut être réalisée à moindre coup. Il est possible d'utiliser l'accéléromètre contenu dans un smartphone sans imposer trop de contraintes à un utilisateur. Par ailleurs, l'espace mémoire pour enregistrer les données est significativement plus faible. Les données recueillies contenant notamment l'accélération verticale permettront de repérer des défauts sur la chaussée. Il est important de remarquer que seules les dégradations sur lesquelles l'utilisateur roulera seront détectées.

Le traitement des données collectées pourrait se faire localement grâce à la puissance de calcul des processeurs portables. Cependant, envoyer les données à un serveur qui prend en charge l'analyse libère le smartphone de l'utilisateur de cette tâche.

Afin d'améliorer les conditions de conduites, toute dégradation de la chaussée doit être signalée au plus vite au personnel chargé de l'entretien. Suite à l'analyse, le personnel peut être prévenu grâce à une notification provenant de l'application pour smartphone comme décrit sur la Figure 2.

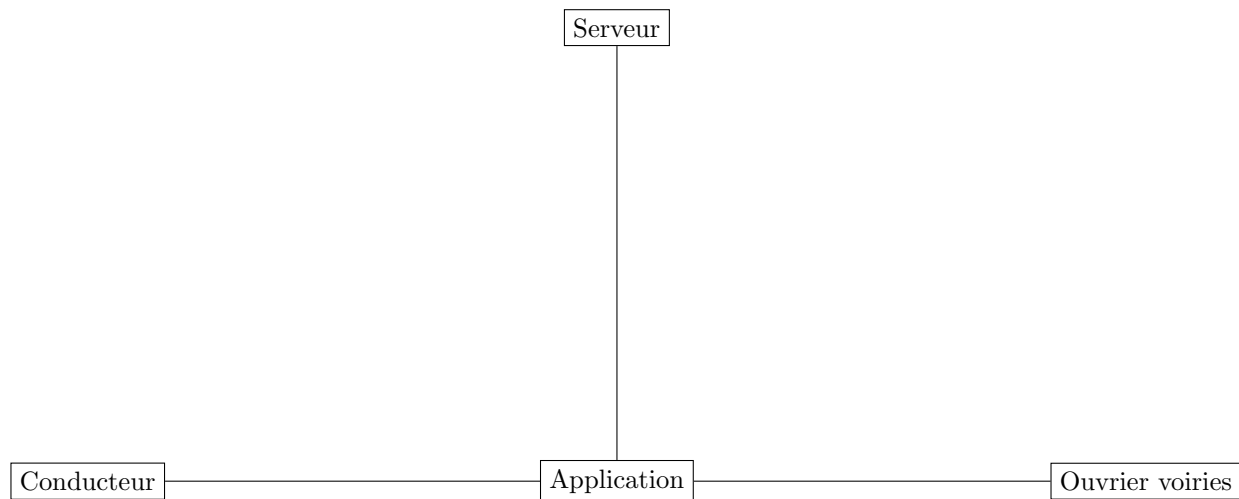


Figure 2: Description du fonctionnement du système

Le traitement des données sur le serveur repose sur un système d'intelligence artificielle permettant de classer les signaux accélérométriques reçus. Etant donné que le modèle est uniquement sur le serveur, il peut facilement être amélioré avec de nouvelles données d'entraînement. Pour cela, un ouvrier peut confirmer une dégradation signalée par l'application (Figure 3). Cela permet d'obtenir de nouvelles données labellées.

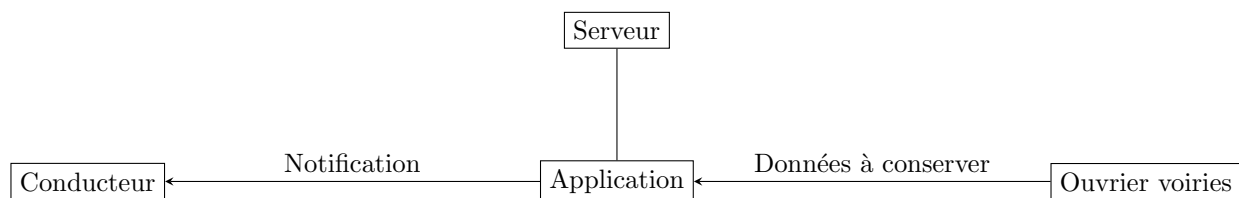


Figure 3: Description du fonctionnement du système (Collecte)

3 Etat de l'Art

L'intelligence artificielle est de plus en plus utilisée et devient de plus en plus performante. Les modèles d'IA actuels sont capables de répondre à des tâches complexes ayant de fortes répercussions. Les applications sont diverses : traitement de signaux audio [15], classification d'images médicales [11] ou détection de défauts sur des chaînes de production par traitement de mesures [3].

Il existe déjà de nombreuses applications au domaine routier. On retrouve en outre la détection de conduite en état d'ivresse [14][6] ou le contrôle de véhicules [21] sans oublier les véhicules autonomes qui ne cessent d'évoluer [16].

D'autres applications du machine learning utilisent des données accélérométriques. L'essor des montres connectées a notamment révélé l'utilité de ce type de données pour la détection de chute [7] [8].

L'analyse de l'état des routes et la détection de dégradations a été l'objet de nombreuses recherches. Les données parfois collectées avec plusieurs accéléromètres [20] sont généralement utilisées dans le domaine

fréquentiel [9][5]. L'utilisation des capteurs accélérométriques contenus dans les smartphones s'est déjà montrée comme une alternative pertinente aux capteurs externes [13].

4 Objectifs

Pour mener à bien notre projet, il est envisagé d'entraîner un premier modèle avec des données d'entraînement. Ces données seront recueillies à l'aide d'outils qui sont à disposition (Arduino, robot téléguidé). Ce modèle devra permettre d'analyser de nouvelles données accélérométriques et de les classer par type de dégradation. Pour optimiser le modèle et éviter au maximum les fausses alertes, il faut que le modèle puisse s'améliorer au cours du temps à l'aide de nouvelles données enregistrées. Pour cela, l'intelligence artificielle mise en œuvre devra être compatible avec l'*online learning* (apprentissage incrémental grâce à des nouvelles données). De plus pour que chaque acteur puisse contribuer de la meilleure des manières, il est envisagé de réaliser une application mobile d'utilisation simple et disponible à la plupart des conducteurs.

5 Périmètre du Projet

5.1 Coût

Pour le moment, il n'est pas envisagé d'effectuer des coûts spécifiques afin de réaliser le projet. En effet, le projet se trouve encore dans la phase de compréhension et de planification. L'état de l'art nous permet d'avoir une idée de l'envergure du projet et des outils et méthodes à disposition pour le réaliser, cependant il est difficile à ce stade du projet de se projeter sur l'utilisation particulière d'un outil qui demandera alors un coût supplémentaire. En effet, créer une application mobile sur Android Studio ne demande pas de frais supplémentaires, donc sa réalisation peut se faire gratuitement. Il est possible qu'il y ait frais liés à l'utilisation de fonctionnalités ou autre, mais cela se verra au fur et à mesure de la réalisation de l'application. De plus, l'école nous fournit le robot téléguidé Scout Mini AgileX, dont le prix est assez élevé. Il n'y a donc pour l'instant pas d'utilité à envisager l'achat d'un autre appareil pour collecter les données et faire des expériences. Il est néanmoins possible qu'il y ait besoin d'acheter du carton ou des plaques pour simuler une forme particulière de la route, afin de faire des expériences avec le robot Scout. Cependant cela dépend de la qualité de détérioration du parking de l'école. Si le parking présente trop peu d'hétérogénéité, il sera alors utile d'effectuer des tests de tenue de route avec le robot Scout dans une forme de route particulière. Dans ce cas, il faudra pour cela simuler des détériorations de la route à l'aide de carton ou de plaques (métalliques, en plastique, ...).

5.2 Délai

Le planning avec les users stories, qui permet d'ordonner les tâches, a été effectué. Cela nous donne une très bonne idée de la priorité de chaque tâche, et donc de savoir quelle tâche doit être plus considérée que les autres, et pour laquelle il faudra consacrer éventuellement plus de temps.

5.3 Qualité

Afin que l'objectif du projet soit rempli, il faut que tous les types de détérioration soient pris en compte dans notre étude. En effet, il ne faut pas que le modèle effectue une mauvaise classification. Cela sera un problème lorsqu'un conducteur se retrouvera face à cette détérioration particulière.

6 Risques

Il existe de nombreux risques pouvant impacter le développement et par la suite le bon fonctionnement du système basé sur l'application. Le but de cette section est d'appréhender ces risques et de proposer des solutions afin de les éviter ou de les corriger si besoin.

Dans un premier temps, de nombreux facteurs peuvent impacter la qualité des données recueillies. Il faut que le système soit capable de détecter si les données correspondent bien à un enregistrement effectué dans un véhicule. De même l'utilisation du smartphone par un passager fausserait les données. Les données collectées par l'utilisateur par inadvertance doivent être ignorées par un système de détection d'outliers. La position du téléphone lors de l'enregistrement doit être prise en compte. L'application doit être capable de connaître l'orientation du téléphone pour en extraire les données d'accélération verticale. (Cela évite une contrainte supplémentaire pour l'utilisateur qui devrait dans le cas contraire fixer son téléphone dans une position précise et prédéfinie). La position du smartphone dans le véhicule risque d'impacter les données accélérométriques : moins de fortes secousses à proximité des essieux. L'intelligence artificielle pourrait être entraînée sur des données récoltées à différentes positions dans le véhicule afin de contrer ce biais. Finalement, un instrument mal calibré peut fournir des données erronées. Il faut donc effectuer régulièrement des phases de calibration de l'appareil.

L'intelligence artificielle entraînée ne sera sûrement pas infaillible mais il faudra faire en sorte de limiter les cas de faux positifs (objets égarés sur la route ou dégradation temporaires dues à des travaux) et les faux négatifs (obstacles marginaux, dégradation en bord de route ou en dehors du passage des roues).

Finalement, le système peut souffrir d'une mauvaise adaptabilité. Nous souhaitons dans un premier temps travailler avec un robot téléguidé dont la structure est différente d'un vrai véhicule. De plus chaque véhicule possède une géométrie et un système d'amortisseurs différents donc la réaction de chaque véhicule face aux dégradations est unique.

7 Ressources et Rôles

7.1 Outils de collaboration

Dans le but de réaliser le projet dans de bonnes conditions, il a été envisagé d'utiliser plusieurs outils de collaboration :

- Rainbow : cette plateforme est utilisée par les employés d'Alcatel et permet à l'équipe du projet de communiquer et d'échanger des documents plus facilement avec le client.
- Google Drive : cet outil permet à l'équipe de centraliser tous les documents liés au projet (compte-rendus, rapport R1, users-stories, ...) et donc d'avoir rapidement accès à toutes les informations nécessaires de chaque membre de l'équipe.
- Dépôt Git : ce dépôt permettra en particulier à l'équipe de déposer les codes qui seront implémentés.
- Discord : ce réseau est utilisé afin que l'équipe échange entre elle et effectue des réunions en visioconférence.

7.2 Outils de collecte de données

- Scout Mini AgileX : ce robot est fourni par l'école et permettra dans un premier temps d'effectuer la collecte de données. Puis il sera également utile pour tester le modèle d'apprentissage qui sera implémenté.
- Carte Arduino : étant donné que l'application mobile mettra un certain temps avant d'être opérationnelle, il est envisagé d'effectuer les premières collectes de données avec une carte Arduino, afin d'avoir une idée de la manière dont nous manipulerons les données enregistrées.

8 Planning Initial

Après avoir défini les objectifs, leur avoir donné une complexité et une business value, nous avons pu créer un planning prévisionnel, basé sur un diagramme de Gantt. Pour trier les objectifs chronologiquement nous

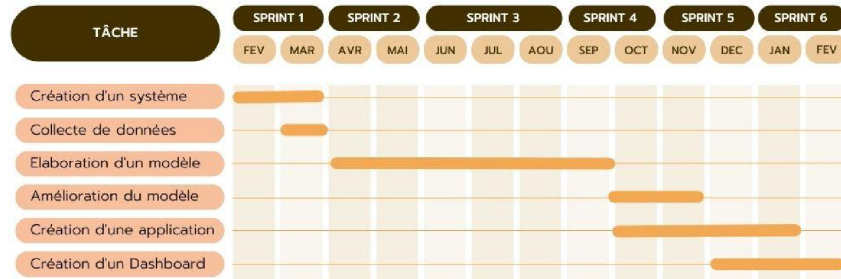


Figure 4: Planning initial (Diagramme de Gantt)

avons défini une valeur "Sprint complexity" égale à la complexité sur la business value. L'ordre croissant nous a donné l'ordre chronologique. Il a tout de même fallu modifier cet ordre en tenant compte des dépendances entre certains objectifs. Finalement, nous avons découpé le temps global du projet en 6 sprints, correspondant à l'écart entre chaque revue de projet. Nous avons donc élaboré le diagramme de Gantt présenté en Figure 4.

9 Conclusion

Il est nécessaire de garder un réseau routier en bon état afin de limiter les gênes sur les utilisateurs, de réduire la pollution et de favoriser la compétitivité d'un pays. Toutefois, l'étendue du réseau routier rend cette tâche complexe.

Afin de répondre à ce besoin, une application utilisée par un grand nombre de conducteurs permettant de collecter des données (en particulier des données accélérométriques) représentant l'état des routes sera développée. Cette application sera reliée à un serveur sur lequel une intelligence artificielle analysera et classifiera les données afin de déceler les dégâts sur les routes. Cette même application, utilisée par des ouvriers voiries, permettra de faciliter l'entretien des routes. Une collecte d'informations provenant des ouvriers permettrait d'améliorer les performances de l'intelligence artificielle.

Dans un premier temps, un premier modèle d'intelligence artificielle sera entraîné grâce à des données recueillies par un dispositif Arduino monté sur un robot téléguidé. Ce premier modèle permettra de tester les capacités d'une intelligence artificielle à détecter les dégradations sur les chaussées. Une application pour smartphone Android pourra ensuite être créée pour simuler le déploiement d'un système participatif communautaire.

Bibliographie

- [1] Europe 1. Près de 30 déformations de chaussée. <https://www.europe1.fr/societe/30-des-accidents-mortels-aujourd'hui-sont-dus-a-des-deformations-de-chaussee-4161825>. Accessed: 2023.
- [2] Surhid Gautam Cesar Quiroz. Road infrastructure and economic development. https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=M5FXpxXctIkC&oi=fnd&pg=PA2&ots=Xoxm8MRLVL&sig=SIjAmN0IL1Kw4bYjxYd0XlniJt0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Accessed: 2023.
- [3] Challenge Data. Defect prediction on production lines by valeo. <https://challengedata.ens.fr/challenges/36>. Accessed: 2023.
- [4] Observatoire National de la Route. Rapport 2022. https://www.idrrim.com/ressources/documents/source/1/9947-IDRRIM-Rapport_ONR_2022.pdf. Accessed: 2023.
- [5] Alessio Martinelli et al. Road surface anomaly assessment using low-cost accelerometers: A machine learning approach. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/10/3788>. Accessed: 2023.
- [6] Juan Liu et al. Drunk driving detection. <https://www.hrpublish.org/download/20180730/CSIT2-13510632.pdf>. Accessed: 2023.
- [7] Luca Palmerini et al. Accelerometer-based fall detection using machine learning: Training and testing on real-world falls. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/22/6479>. Accessed: 2023.
- [8] Osama Zaid Salah et al. Accelerometer-based elderly fall detection system using edge artificial intelligence architecture. https://www.researchgate.net/publication/360166901_Accelerometer-based_elderly_fall_detection_system_using_edge_artificial_intelligence_architecture. Accessed: 2023.
- [9] Thanuka Wickramaratne et al. On the use of 3-d accelerometers for road quality assessment. https://www.researchgate.net/publication/326669122_On_the_Use_of_3-D_Accelerometers_for_Road_Quality_Assessment. Accessed: 2023.
- [10] Conso Globe. L'encyclopédie du développement durable: Pneu(s) et pneumatique. https://www.encyclo-ecolo.com/Pneu%28s%29_et_pneumatique. Accessed: 2023.
- [11] INRIA. Imagerie médicale : l'intelligence artificielle peut-elle tenir ses promesses ? <https://www.inria.fr/fr/imagerie-medecale-intelligence-artificielle-apprentissage-automatique>. Accessed: 2023.
- [12] Insee. La voiture reste majoritaire pour les déplacements domicile-travail, même pour de courtes distances. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5013868>. Accessed: 2023.
- [13] Madis Kariler. Road surface anomaly assessment using low-cost accelerometers: A machine learning approach. <https://www.semanticscholar.org/paper/Road-Surface-Quality-Detection-Using-Accelerometer-Kariler/62281e394e9f2c8d7b665abbc1a7e009c99d7088>. Accessed: 2023.
- [14] Juan Liu. An intelligent online drunk driving detection system based on multi-sensor fusion technology. <https://challengedata.ens.fr/challenges/36>. Accessed: 2023.
- [15] Nvidia. Nvidia rtx voice: Setup guide. <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/guides/nvidia-rtx-voice-setup-guide/>. Accessed: 2023.
- [16] Nvidia. Solutions pour les véhicules autonomes. <https://www.nvidia.com/fr-fr/self-driving-cars/>. Accessed: 2023.

- [17] Statista. Quels moyens utilisez-vous pour vous rendre sur votre lieu ou vos différents lieux de vacances ? <https://fr.statista.com/statistiques/519932/transport-lieux-vacances-touristes-france/>. Accessed: 2023.
- [18] TF1. Mauvais état des routes : quelle responsabilité pour l'État en cas d'accident ? <https://www.tf1info.fr/transports/mauvais-etat-des-routes-en-france-quelle-responsabilite-pour-l-etat-en-cas-d-accident-chronique-ju.html>. Accessed: 2023.
- [19] Rédaction Mieux Vivre. Transports : les français utilisent de plus en plus la voiture pour aller au travail. <https://www.mieuxvivre-votreargent.fr/vie-pratique/2021/12/03/transports-les-francais-utilisent-de-plus-en-plus-la-voiture-pour-aller-au-travail/>. Accessed: 2023.
- [20] Wikipedia. Détection et localisation des défauts de la chaussée. https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9tection_et_localisation_des_d%C3%A9fautes_de_la_chauss%C3%A9e. Accessed: 2023.
- [21] XXII. Xxii : Valorisons le temps humain. <https://www.xxii.fr/>. Accessed: 2023.