
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Comparaison internationale de la qualité des
transports de voyageurs à zéro ou faibles émissions
et identification des bonnes pratiques

Ministère de la transition écologique
1 Place carpeaux, 92800 Puteaux, La Défense

Tuteur entreprise :
Alain Sauvant
Directeur de l'AQST

Pierre Maeso
IUT
2022-2023

Tuteur académique :
Laura Verdelli
Maître de conférence en composition urbaine

SOMMAIRE

I. Introduction.....	2
1.1 <i>Présentation de la structure d'accueil</i>	2
1.2 <i>La mission</i>	3
1.3 <i>Le contexte de l'urgence climatique</i>	4
1.4 <i>Les défis de la mobilité terrestre : vers une transition nécessaire et durable</i>	5
II. Contexte de l'étude via l'analyse comparative des enjeux liés à l'infrastructure de recharge et à la gestion des véhicules électriques.....	7
2.1 <i>Gestion des zones à faibles émissions (ZFE) : comparaison des approches en France et en Allemagne</i>	7
2.2 <i>Le dilemme des fabricants de points de charge relatif à l'équilibre entre coûts et rentabilité dans un marché en plein essor.....</i>	8
2.3 <i>Fiabilité des bornes de recharge : comparaison entre les réseaux Corri-Door et Ionity.....</i>	8
2.4 <i>Le marché de l'occasion : les véhicules électriques sont-ils pénalisés par les progrès technologiques ?</i>	9
III. Récupération de bases de données relatives et récupération des données des points de charge pour la France, l'Espagne, l'Allemagne, la Norvège et les Pays-Bas	10
3.1 <i>Le défi de la disponibilité des données sur les points de recharge pour les véhicules électriques : entre manque de transparence et initiatives d'accès public</i>	10
3.2 <i>Collecte de données sur les infrastructures de recharge pour véhicules électriques : Limitations et considérations méthodologiques</i>	10
3.3 <i>Analyse géospatiale des points de charge recensées</i>	13
IV. Comparaison de l'analyse des points de charge par pays : Une perspective géospatiale .	14
4.1 <i>Répartition et nombre de points de charge par pays : Influence de la puissance des chargeurs et autres facteurs associés</i>	14
4.2 <i>Décryptage du taux de véhicules électriques dans le parc et dans le neuf en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW par habitants et véhicules électriques</i>	17
V. Disponibilité des points de charge pour les trajets longue distance sur autoroute : Étude des contraintes de compatibilité et des obstacles pour les véhicules électriques.....	18
5.1 <i>Méthodologie du dimensionnement des besoins de charge en équivalent 50 kW sur différentes pointes.....</i>	18
5.2 <i>Interprétation des résultats</i>	21
VI. Conclusion	26
6.1 <i>Retour critique sur l'étude et difficultés rencontrées.....</i>	26
6.2 <i>Retour réflexif sur le stage.....</i>	29
VII. Bibliographie	31
VIII. Annexe.....	32

I. Introduction

Ce stage a été une étape clé de ma quatrième année à Polytech Tours, où j'ai entrepris ma formation en Génie de l'Aménagement et de l'Environnement. Soucieux d'approfondir mes connaissances dans ce domaine, j'ai saisi l'opportunité de cette expérience professionnelle.

Mon choix s'est porté sur le Ministère de la transition écologique, plus précisément au sein de l'Agence de la Qualité de Service dans les Transports dirigée par Alain Sauvant. Cette décision découle de mon projet professionnel visant à me spécialiser en tant qu'ingénieur en aménagement et environnement dans le domaine de l'international. Il était essentiel pour moi d'acquérir une expérience plus approfondie dans ce secteur, d'autant plus qu'elle me permettait également d'étudier l'impact environnemental des transports.

Ma mission consistait à analyser l'état actuel des points de charge à l'échelle européenne afin d'identifier les bonnes pratiques à adopter en France. Ce stage a été une véritable immersion dans le métier d'ingénieur, me permettant de comprendre son intérêt ainsi que les défis auxquels il est confronté. J'ai pu mettre en pratique les connaissances acquises au cours de ma formation à Polytech Tours, ce qui a été extrêmement formateur pour moi.

1.1 Présentation de la structure d'accueil

J'ai effectué mon stage de 12 semaines au sein du Ministère de la transition écologique, plus précisément au sein de l'Inspection Générale de l'Environnement et du Développement durable (IGEDD). L'IGEDD joue un rôle clé en conseillant le gouvernement dans des domaines variés tels que l'environnement, les transports, les travaux publics, l'aménagement durable des territoires, le logement, l'urbanisme et la politique de la ville face au changement climatique. Les missions de l'IGEDD, qui sont assignées par le gouvernement, sont diverses, allant de l'expertise à l'audit, en passant par les études et les évaluations. Certaines missions peuvent également être menées en coopération internationale. L'IGEDD est également chargé de l'inspection générale pour évaluer la qualité et l'efficacité des actions des services de l'État et des établissements publics relevant du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Dans le cadre de mon stage axé sur la décision publique en matière de qualité des infrastructures relatives aux véhicules électriques, j'ai été plus particulièrement impliqué dans le volet mobilités et transports de l'IGEDD. En tant qu'autorité environnementale, le conseil émet des avis et prend des décisions sur le respect de la qualité environnementale des projets soumis à son contrôle. L'IGEDD est divisé en six sections spécialisées dans les domaines suivants : habitat, cohésion sociale et développement territorial ; mobilités et transports ; milieux, ressources et risques ; transition énergétique, construction et innovations ; audits, inspections et vie des services ; ressources humaines et moyens.

Étant particulièrement intéressé par les études à l'échelle internationale, mon stage s'est concentré sur les transports, mais plus spécifiquement sur la récupération de bases de données et son analyse en Europe. Ainsi, la section mobilités et transports, présidée par Pierre-Alain Roche, a suscité un intérêt particulier. Cette section se concentre sur les réseaux et les infrastructures de transport, ainsi que sur les services de transport et de mobilité. Elle évalue les grands projets de transport, de leur financement à leur construction, entretien, utilisation, sécurité et sûreté. Au-delà des infrastructures, la section participe à l'organisation des marchés de transport en France et en Europe, régulant l'offre et la demande tant pour les voyageurs que pour les marchandises. Elle gère également les réseaux d'eau, d'énergie et d'information. Enfin, le rôle le plus marquant de l'IGEDD, et celui auquel j'ai été exposé lors de mon stage, est de veiller à la contribution des transports aux autres politiques, en assurant la transition énergétique dans un secteur aussi socialement sensible que les transports, comme l'a démontré la crise des gilets jaunes en 2019.

Mon stage s'est plus particulièrement réalisé au sein de l'Autorité de la qualité de service dans les transports (AQST), supervisé par Alain Sauvant. L'AQST est une entité indépendante rattachée au ministère chargé des transports, et plus précisément au à l'IGEDD relevant du ministère de la Transition écologique. Son objectif principal est d'améliorer la qualité de service dans les transports, en adoptant une approche intermodale. L'AQST participe activement aux travaux de la réunion de dialogue national sur la qualité de service dans les transports (RDNQST), qui réunit des associations de voyageurs, des consommateurs, des opérateurs et les pouvoirs publics. Son champ d'action englobe les transports terrestres (ferroviaires, routiers, urbains et interurbains), maritimes et aériens. Les principaux aspects étudiés sont la régularité, la ponctualité et la qualité de l'information fournie aux voyageurs.

La qualité de service dans les transports est définie comme la capacité du système de transport à répondre aux besoins des utilisateurs. Elle englobe huit composantes essentielles identifiées par l'AFNOR selon la norme NF EN 13816 : l'offre de service, l'accessibilité, l'information, la durée, l'attention portée au client, le confort, la sécurité et l'impact environnemental. Dans le contexte actuel, l'AQST s'attache à mieux comprendre comment optimiser la prise de décision publique à long terme (d'ici 2040 et 2060) en matière de qualité environnementale de la mobilité des voyageurs, en tenant compte des incertitudes, notamment environnementales. C'est dans ce cadre et dans le cadre de cette mission que j'ai travaillé pendant 12 semaines aux côtés d'Alain Sauvant.

1.2 La mission

La fiche de stage mentionnait les informations suivantes : « l'AQST souhaiterait approfondir le sujet de la qualité des mobilités voyageurs à zéro ou faibles émissions moteur. La première étape pourra consister à récupérer les données relatives aux points de charge pour la France ainsi que les pays étudiés. Dans le cadre de la problématique des solutions de déplacement dans le contexte des zones à faibles émissions (ZFE), l'ensemble des véhicules thermiques suffisamment peu émissifs pour être acceptés en ZFE peuvent être

pris en considération. Si les ventes de ces véhicules se situent en hausse tendancielle en France (environ 9% en électrique et 8% en hybride rechargeable parmi les immatriculations en 2021), elles restent encore assez limitées, et à un niveau plus bas de certains pays européens, par exemple la Norvège où elles sont devenues déjà majoritaires, et d'autres pays où elles sont en nette avance sur notre pays. Ces véhicules impliquent le plus souvent des ruptures d'usage non négligeables, particulièrement pour le véhicule électrique, qu'il semble utile de mieux connaître. Par ailleurs les mesures publiques peuvent également impliquer des difficultés d'usage, dans certaines zones géographiques, et pour certains publics, notamment les ZFE.

Les éléments qui peuvent ainsi faire l'objet d'une observation comparée en France, et dans quelques pays étrangers peuvent concerner les points de recharge publics, à la fois en nombre global (et par puissance maximale), mais aussi en matière de disponibilité en pratique. A cet effet, quelques graphiques pourront être réalisés une fois les données récupérées (avec une démarche d'échantillonnage représentatif) sur des sites internet recensant la disponibilité constatée des points de charge et une approche par analyse de mots clés pour une appréciation des causes de non disponibilité. On distinguera à cet effet les points de recharge urbains et locaux d'une part, et interurbains d'autre part. Ainsi des initiatives telles que la disponibilité des points de charge sur autoroute en France pourra être réalisée » La mission de ce stage vise principalement à établir une première comparaison par pays et à identifier les spécificités des points de charge, notamment en ce qui concerne leur puissance. Étant donné que ce domaine n'a pas encore été étudié par l'Autorité de la Qualité de Service dans les Transports, il offre diverses perspectives d'intérêt. Tout d'abord, l'objectif est de trouver des moyens de collecter des données sur ces points de charge afin de les analyser ultérieurement et d'apporter des orientations plus éclairées aux autorités compétentes.

Dans un second temps, il s'agira de présenter les résultats et de créer des graphiques pertinents et représentatifs pour chaque pays étudié. En se concentrant notamment sur les trajets longue distance sur autoroute, l'analyse portera sur la disponibilité des points de charge, en mettant en évidence les éventuels obstacles et contraintes. Cette comparaison permettra de mettre en lumière les points forts et les faiblesses des infrastructures de recharge en France, afin de déterminer si elles offrent une qualité de service satisfaisante aux utilisateurs.

Ce stage vise à explorer et à analyser les caractéristiques des points de charge des véhicules électriques, en se concentrant sur la collecte de données, la comparaison internationale et l'évaluation de la qualité de service sur les trajets longue distance.

1.3 Le contexte de l'urgence climatique

Cinq ans après la signature des accords de Paris le 12 décembre 2020, un sommet pour la planète a été organisé par l'ONU. L'une des principales recommandations de ce sommet était d'appeler les gouvernements à déclarer l'état d'urgence climatique dans leur pays respectif et à maintenir cet état jusqu'à ce que la neutralité carbone soit atteinte. L'Union européenne avait déjà pris cet engagement en décembre 2019 avec le pacte vert, visant à atteindre la neutralité

carbone d'ici 2050. La France s'est également engagée dans cette voie avec la loi énergie-climat adoptée le 8 novembre 2019. Il est donc crucial pour notre pays de rapidement transitionner vers une source d'énergie décarbonée pour les transports et la production d'électricité. Cependant, cette transition implique également une réduction de la part du nucléaire dans notre mix énergétique, ce qui nécessite des investissements considérables dans les énergies renouvelables telles que l'éolien, l'hydraulique et le solaire. Il est toutefois primordial de veiller à respecter l'égalité, la justice sociale, y compris dans les secteurs de l'aviation et du maritime, ainsi qu'à la faisabilité économique des mesures envisagées, d'autant plus dans un contexte financier déjà fragile.

Le rapport de l'ONU, publié à la suite du sommet de décembre 2020, que le secteur des transports est responsable d'environ un quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre. D'ici 2050, on estime que ces émissions pourraient doubler. En France, cette part est encore plus importante, représentant environ 40% des émissions de gaz à effet de serre, en raison notamment de la production d'électricité nucléaire qui est fortement décarbonée. Cependant, il est possible de freiner cette tendance en prenant rapidement des mesures concrètes, telles que l'adoption de motorisations électriques ou décarbonées, aussi bien pour les véhicules particuliers que pour les transports publics et privés de passagers et de marchandises. Des efforts doivent également être déployés pour développer les infrastructures favorisant les modes de déplacement non polluants, tels que la marche à pied et le vélo, ainsi que pour encourager le covoiturage en augmentant les voies réservées à cet usage. La promotion des déplacements actifs présente également des avantages pour la santé publique, d'autant plus que le Conseil d'État a récemment condamné l'État à une amende de 10 millions d'euros en août 2021 en raison de l'insuffisance des mesures prises pour préserver la qualité de l'air. En l'absence de réduction des émissions des véhicules, il est prévu que la mortalité due à l'exposition aux gaz d'échappement dans les zones urbaines augmentera de plus de 50 % d'ici 2030.

1.4 Les défis de la mobilité terrestre : vers une transition nécessaire et durable

La domination de la voiture particulière dans le domaine des déplacements terrestres est indéniable, aussi bien en France qu'en Europe. Grâce à sa polyvalence, elle répond à la plupart des besoins de mobilité, à quelques exceptions près. Les transports collectifs et ferroviaires ne représentent une part significative que dans des zones spécifiques, telles que l'Île-de-France, les centres des grandes agglomérations et les axes bénéficiant de la grande vitesse ferroviaire. Les modes de déplacement doux ou actifs sont également peu utilisés, du moins en termes de kilomètres parcourus par les voyageurs. Lorsqu'il s'agit de voyages de longue distance, l'avion offre la solution la plus adaptée en termes de rapidité et demeure également prédominant, à moins que les trajets en train ne soient compétitifs en termes de temps de trajet. Malgré une adaptation globalement satisfaisante aux besoins de mobilité, la voiture présente des lacunes pour certains publics spécifiques, tels que les ménages à bas revenus et les personnes qui ne peuvent pas conduire. De plus, elle engendre des problèmes tant sur le plan écologique, en contribuant au dérèglement climatique et à la pollution de l'air, que sur le plan de la qualité de vie des riverains dans les zones densément peuplées, en raison

du bruit, de la fragmentation urbaine, des accidents et de la réduction des espaces dédiés à d'autres activités que la circulation et le stationnement. La situation actuelle est donc clairement insatisfaisante.

Des avancées significatives ont été réalisées dans le développement de motorisations décarbonées, mais leur adoption en France accuse un certain retard par rapport à de nombreux autres pays européens. Dans ce contexte, il est important de souligner le retard français dans la promotion de ces nouvelles motorisations, notamment en ce qui concerne les infrastructures de recharge rapide en milieu urbain et l'équipement des immeubles collectifs, qui constituent des obstacles majeurs, malgré le fait que la France bénéficie déjà d'une production d'électricité largement décarbonée. Malgré d'importants investissements publics et des évolutions législatives et réglementaires dynamiques, les modes de transport alternatifs à la voiture individuelle et à l'avion (transports collectifs, ferroviaires, modes de déplacement doux et actifs, et partage de voiture) demeurent marginaux et leur progression est limitée. La qualité des transports collectifs et ferroviaires laisse également beaucoup à désirer. À mesure que la population vieillit inévitablement, il est probable que la demande de commodité augmentera, ce qui, en l'absence d'investissements inclusifs suffisants, ne favorisera guère les alternatives à la dépendance à la voiture, compte tenu de la difficulté accrue des changements de mode de transport.

Dans ce contexte, nous nous posons la question cruciale de la disponibilité des points de charge rapides et ultra rapides en France, ainsi que dans d'autres pays européens tels que l'Allemagne, la Norvège, les Pays-Bas et l'Espagne. Nous souhaitons réaliser une comparaison approfondie en collectant et en analysant des données pertinentes afin de mieux comprendre la situation actuelle et d'identifier les bonnes pratiques en matière d'infrastructure de recharge. La transition vers des motorisations décarbonées, notamment les véhicules électriques, repose en grande partie sur la disponibilité d'un réseau de recharge efficace et bien réparti. Les points de charge rapides et ultra rapides jouent un rôle essentiel dans la promotion de l'adoption des véhicules électriques en offrant des temps de recharge réduits et une plus grande flexibilité aux utilisateurs. En France, il est crucial de déterminer la part des points de charge rapides et ultra rapides par rapport à l'ensemble des infrastructures de recharge existantes. Nous nous pencherons sur les données disponibles concernant les bornes de recharge publiques et privées, en examinant leur emplacement, leur capacité de charge, leur accessibilité et leur répartition géographique. Une analyse détaillée de ces données nous permettra de mieux comprendre l'étendue et la qualité de l'infrastructure de recharge rapide en France. De plus, nous comparerons les résultats obtenus en France avec ceux de pays voisins tels que l'Allemagne, la Norvège, les Pays-Bas et l'Espagne. Ces pays ont été choisis en raison de leur engagement précoce et de leur leadership dans l'adoption des véhicules électriques. En analysant les données de ces pays, nous pourrions identifier les bonnes pratiques en matière d'implantation et de gestion des points de charge rapides et ultra rapides.

L'objectif ultime de cette étude est de fournir des informations précieuses aux décideurs politiques, aux gestionnaires d'infrastructures de recharge et aux acteurs de l'industrie automobile afin d'améliorer l'accessibilité et l'efficacité du réseau de recharge rapide. En

identifiant les lacunes et en s'inspirant des meilleures pratiques observées, nous espérons contribuer à l'accélération de la transition vers une mobilité plus durable et décarbonée. Nous entreprendrons donc une collecte rigoureuse de données, une analyse approfondie et une comparaison détaillée des points de charge rapides et ultra rapides en France, en Allemagne, en Norvège, aux Pays-Bas et en Espagne. Les résultats de cette étude pourront orienter les actions futures visant à améliorer l'infrastructure de recharge et à soutenir la croissance des véhicules électriques en France.

II. Contexte de l'étude via l'analyse comparative des enjeux liés à l'infrastructure de recharge et à la gestion des véhicules électriques

2.1 Gestion des zones à faibles émissions (ZFE) : comparaison des approches en France et en Allemagne

Bien que la France ait mis en place des ZFE dans plusieurs villes, la gestion des ZFE diffère selon les pays en fonction de leur contexte urbain. (Urban Access Regulation, 2023). En Allemagne, par exemple, les ZFE sont souvent situées en périphérie des villes où l'urbanisation en banlieue est moins dense qu'en France. Ainsi, les autorités mettent souvent en place des parkings en centre-ville près des gares de banlieue pour encourager les gens à prendre les transports en commun, notamment des trains, pour aller travailler en ville. Cela permet de réduire la circulation automobile en ville et donc de diminuer la pollution. Ainsi, les parkings en hauteur sont également une solution pour compenser le manque de place dans les centres-villes. (Réseau Action Climat, 2014)

En France, le contexte est différent, car le foncier étant souvent très cher, il est difficile de casser des bâtiments pour créer des parkings. (Commissariat Général à la stratégie et à la prospective, 2013) Cela pose des défis pour la mise en place des ZFE dans les villes françaises. Les maires sont souvent confrontés à des pressions de la part des habitants de leur commune qui sont touchés par les restrictions de circulation et la mise en place de parkings ne profite pas qu'aux habitants de leur commune. Cependant, ces mesures sont nécessaires pour réduire la pollution atmosphérique et améliorer la qualité de vie en ville. Plusieurs études ont montré que les ZFE peuvent réduire considérablement la pollution atmosphérique et améliorer la santé des habitants. Outre les parkings en hauteur, les autorités françaises ont également mis en place des alternatives telles que les cars express pour encourager les gens à prendre les transports en commun. Cependant, ces options peuvent être moins populaires en raison des bouchons de circulation le matin et des temps de trajet plus longs. Les ZFE sont un outil important pour réduire la pollution atmosphérique en ville. Bien que les modalités de gestion puissent varier selon les pays, il est essentiel de trouver des solutions adaptées au contexte local. En France, les parkings en hauteur pourraient être une solution pour compenser le manque d'espace, bien que généralement le foncier près des gares l'empêche, tandis que les cars express pourraient être une alternative intéressante pour encourager les gens à prendre les transports en commun.

2.2 Le dilemme des fabricants de points de charge relatif à l'équilibre entre coûts et rentabilité dans un marché en plein essor

La mise en place d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques est un enjeu majeur pour la transition énergétique et l'adoption de ce mode de transport. Cependant, le coût élevé des bornes rapides, qui permettent une recharge rapide des batteries, représente un défi pour les fabricants. Selon le modèle économique proposé par Harvard Kennedy School, il est important de maintenir un équilibre entre les coûts de production des bornes rapides et les revenus qu'elles génèrent. En effet, une borne trop chère risque de ne pas être rentable et de ne pas attirer suffisamment d'utilisateurs, tandis qu'une borne peu coûteuse ne permet pas de couvrir les frais de production et d'installation.

D'après l'étude menée par le Center for European Policy Studies, il est également important de prendre en compte les différences entre les marchés nationaux en matière de demande et de réglementation. Les fabricants doivent s'adapter aux spécificités locales pour assurer la viabilité de leur modèle économique. Par exemple, le marché allemand est caractérisé par une demande élevée de bornes rapides le long des autoroutes, tandis que le marché français est davantage centré sur les bornes de recharge lentes en milieu urbain.

Enfin, l'immersion comparative menée par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) montre que la densité des bornes de recharge et leur accessibilité sont des facteurs clés pour encourager l'adoption des véhicules électriques. Les fabricants doivent donc veiller à installer des bornes dans des endroits stratégiques pour répondre aux besoins des utilisateurs. Pour assurer la viabilité de leur modèle économique, les fabricants de bornes de recharge doivent trouver un équilibre entre les coûts et les revenus, tout en prenant en compte les spécificités locales de chaque marché. Ils doivent également veiller à installer des bornes de recharge dans des endroits stratégiques pour répondre aux besoins des utilisateurs, en fonction de leur densité et de leur accessibilité.

2.3 Fiabilité des bornes de recharge : comparaison entre les réseaux Corri-Door et Ionity

Le problème rencontré par le réseau Corri-Door en partenariat avec EDF, qui a conduit à la mise en indisponibilité de certaines bornes de recharge, met en lumière l'importance de la qualité et de la fiabilité des infrastructures de recharge pour véhicules électriques. En comparaison, le réseau Ionity actuel dispose d'une technologie avancée et de points de recharge haute puissance, capable de recharger les batteries des véhicules en seulement quelques minutes. Toutefois, l'accès aux bornes de recharge Ionity est différent pour les abonnés et les non-abonnés.

Les abonnés d'Ionity ont accès à un tarif préférentiel pour la recharge de leur véhicule, avec des prix plus bas par kWh. De plus, les abonnés ont la possibilité de réserver une borne de recharge à l'avance, ce qui leur garantit une disponibilité et une rapidité de recharge optimales. En revanche, pour les non-abonnés, l'accès aux bornes de recharge Ionity est plus

limité, avec des tarifs plus élevés par kWh et une disponibilité des bornes non garantie. De plus, certains non-abonnés peuvent rencontrer des difficultés pour utiliser les bornes de recharge Ionity en raison de la nécessité d'utiliser une carte bancaire ou une application mobile spécifique pour le paiement. Bien que le réseau Ionity dispose d'une technologie avancée pour la recharge des véhicules électriques, l'accès aux bornes de recharge est différent pour les abonnés et les non-abonnés, avec des tarifs et des conditions d'utilisation qui peuvent varier considérablement.

2.4 Le marché de l'occasion : les véhicules électriques sont-ils pénalisés par les progrès technologiques ?

Le marché des véhicules électriques en France est considéré comme artificiel car il est en grande partie dicté par une réglementation stricte. Les véhicules électriques représentent moins de 1% du marché de l'occasion, ce qui reflète un faible appétit des particuliers pour ces véhicules. Les valeurs de revente des véhicules électriques sont également structurellement basses et leur dépréciation importante, malgré leur coût d'achat plus élevé par rapport aux véhicules à essence. Plusieurs facteurs contribuent à cela, notamment le bonus écologique à l'achat, le progrès technologique et la garantie limitée de la batterie. Les acheteurs de voitures d'occasion ont des contraintes budgétaires fortes, ce qui les rend peu enclins à acheter des véhicules électriques d'occasion. Les critères essentiels pour l'achat d'un véhicule d'occasion sont l'usage automobile, le budget et la durée de conservation du véhicule. Les propriétaires ne peuvent pas se tromper dans leur choix car ils ne disposent que d'un seul véhicule dans leur foyer. Les voitures électriques ne supportent pas la comparaison avec les voitures à motorisation thermique sur ces critères essentiels.

Les véhicules électriques ont des contraintes en matière d'autonomie, de temps de recharge, de disponibilité d'une infrastructure de recharge et de capacité à effectuer de longs trajets lors des vacances. Les véhicules à motorisation essence sont donc privilégiés sur le marché de l'occasion, ce qui a un impact négatif sur la valeur de revente des véhicules électriques. Cette tendance baissière est amenée à se poursuivre, notamment avec l'évolution technologique des batteries. Les véhicules électriques dotés de batteries de moins de 50 kWh ne vaudront bientôt plus grand-chose sur le marché de l'occasion car leurs prestations seront techniquement obsolètes. La même tendance sera observée pour les véhicules électriques ne disposant pas de la fonction de recharge rapide. Les limites de la technologie du véhicule électrique expliquent la faible valeur des voitures électriques sur le marché de l'occasion. Les constructeurs automobiles sont conscients de ces limites et ont souvent attendu d'être contraints par la réglementation pour produire des véhicules électriques à grande échelle. Ils ont également alerté les pouvoirs publics sur la nécessité de pouvoir continuer à commercialiser des véhicules à motorisation thermique pour garantir une mobilité individuelle accessible au plus grand nombre. (Honguet, 2019)

La valeur des véhicules électriques sur le marché de l'occasion est liée à l'évolution technologique de la batterie et à la correspondance des caractéristiques essentielles de la voiture électrique avec les besoins des automobilistes. Les limites actuelles de la technologie électrique

expliquent en grande partie la faible valeur de revente des voitures électriques par rapport aux voitures à motorisation thermique. (Honguet, 2019)

III. Récupération de bases de données relatives et récupération des données des points de charge pour la France, l'Espagne, l'Allemagne, la Norvège et les Pays-Bas

3.1 Le défi de la disponibilité des données sur les points de recharge pour les véhicules électriques : entre manque de transparence et initiatives d'accès public

Lorsqu'il s'agit de bases de données de points de recharge pour les véhicules électriques en France, l'État ne possède pas une compilation exhaustive de toutes les bornes disponibles sur le territoire. En effet, ces bornes sont principalement déployées et gérées par des entreprises privées, à l'instar qu'EDF. Ces entreprises considèrent leurs bases de données de bornes comme des ressources précieuses qui ont une grande valeur d'usage. Par conséquent, elles sont réticentes à les partager avec le grand public en raison des coûts associés à leur développement et à leur maintenance. Le manque de transparence dans les données relatives aux bornes de recharge constitue un défi permanent. Cependant, il existe des initiatives telles que OpenChargeMap, qui mettent à disposition du public des bases de données accessibles sur les bornes de recharge. Malheureusement, ces bases de données ne sont pas toujours suffisamment complètes en raison de la réticence des entreprises privées à partager leurs informations.

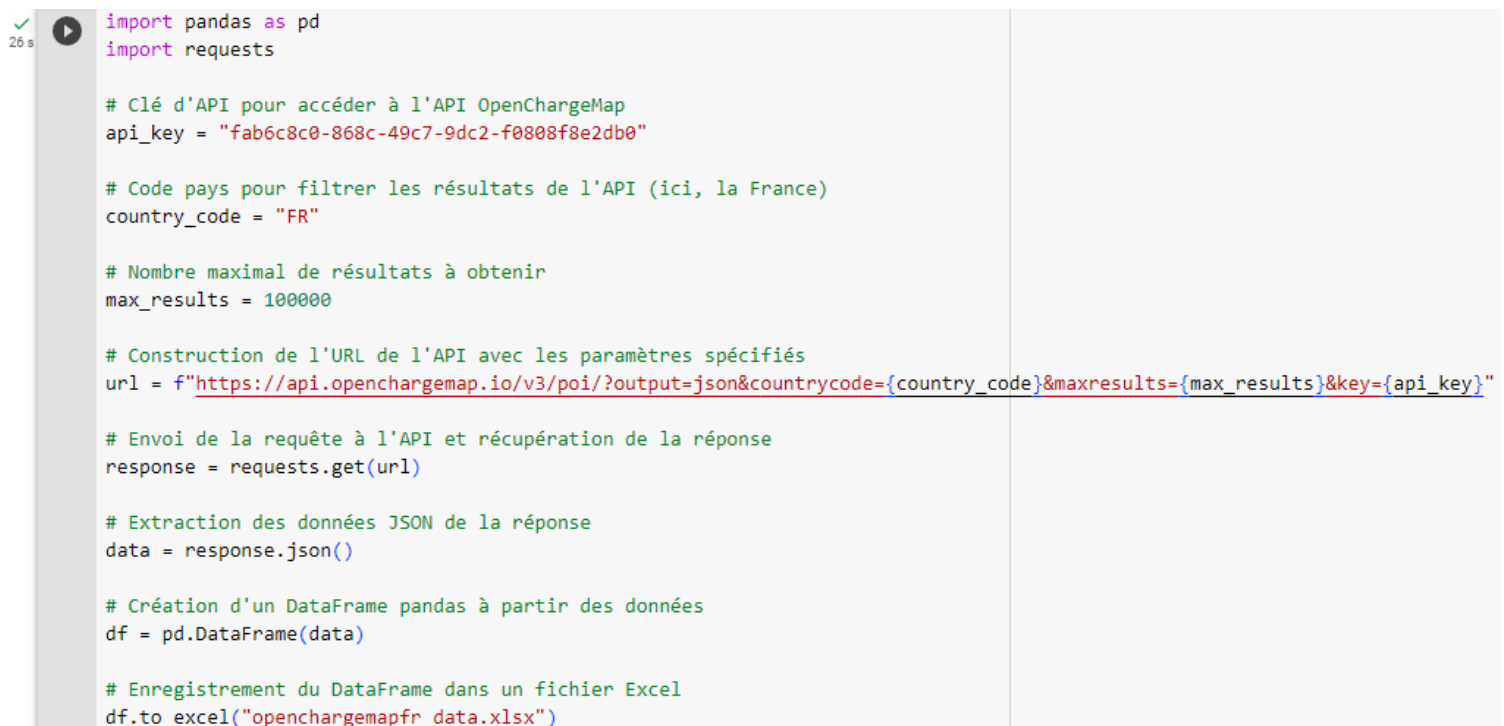
Les voitures électriques sont équipées de systèmes de navigation intégrés qui leur permettent de localiser les bornes de recharge disponibles. Ces systèmes utilisent des informations provenant de différentes sources, telles que les bases de données fournies par les entreprises de recharge et les plateformes en ligne spécialisées dans la cartographie des bornes de recharge via des partenariats mais sont souvent incomplètes. Il convient de noter que certaines entreprises, comme BMW Transport et Logistique, ont investi des sommes considérables pour acquérir des bases de données de points de recharge. Ces données sont utilisées pour créer des services de cartographie spécialisés destinés aux conducteurs de véhicules électriques. Cependant, la nature évolutive du réseau de bornes de recharge pose un défi supplémentaire, car il est nécessaire de mettre régulièrement à jour ces bases de données pour refléter les nouvelles installations et les modifications apportées aux bornes existantes.

3.2 Collecte de données sur les infrastructures de recharge pour véhicules électriques : Limitations et considérations méthodologiques

J'ai développé un programme Python afin de collecter des données sur les infrastructures de recharge pour véhicules électriques. Pour ce faire, j'ai utilisé des sites collaboratifs tels qu'Open Charge Map et j'ai utilisé une clé d'API pour accéder aux informations nécessaires. Tout d'abord, j'ai importé la bibliothèque pandas pour faciliter la manipulation des données et la création d'un tableau. Ensuite, j'ai importé la bibliothèque requests pour effectuer des requêtes HTTP et récupérer les données de l'API. J'ai défini une

variable `api_key` qui contient ma clé d'API fournie par Open Charge Map. Cette clé est nécessaire pour accéder aux données de l'API. Ensuite, j'ai spécifié le pays que je souhaite étudier en utilisant le code du pays. Dans la figure 2 page 8 j'ai utilisé "FR" pour la France. J'ai ensuite modifié ce code pour collecter des données sur les autres pays. J'ai également défini une variable `max_results` qui indique le nombre maximal de résultats que je souhaite obtenir. J'ai ensuite construit l'URL de l'API en utilisant les variables `api_key`, `country_code` et `max_results`. Cette URL spécifie le format de sortie des données (JSON) et les paramètres de la requête, tels que le code du pays et le nombre maximal de résultats.

J'ai utilisé la bibliothèque `requests` pour envoyer une requête GET à l'URL de l'API et récupérer la réponse. La réponse est ensuite convertie en format JSON à l'aide de la méthode `.json()`. J'ai créé un `DataFrame` à partir des données JSON en utilisant la bibliothèque `pandas`. Un `DataFrame` est une structure de données tabulaire qui facilite la manipulation et l'analyse des données. J'ai utilisé la fonction `pd.DataFrame()` et passé les données JSON en argument pour créer le `DataFrame`. Enfin, j'ai exporté le `DataFrame` dans un fichier Excel en utilisant la méthode `.to_excel()`. Ce programme m'a ainsi permis de collecter les données de l'API Open Charge Map pour les pays étudiés, enregistrer les résultats dans un fichier Excel et les utiliser pour des analyses ultérieures.



```
import pandas as pd
import requests

# Clé d'API pour accéder à l'API OpenChargeMap
api_key = "fab6c8c0-868c-49c7-9dc2-f0808f8e2db0"

# Code pays pour filtrer les résultats de l'API (ici, la France)
country_code = "FR"

# Nombre maximal de résultats à obtenir
max_results = 100000

# Construction de l'URL de l'API avec les paramètres spécifiés
url = f"https://api.openchargemap.io/v3/poi/?output=json&countrycode={country_code}&maxresults={max_results}&key={api_key}"

# Envoi de la requête à l'API et récupération de la réponse
response = requests.get(url)

# Extraction des données JSON de la réponse
data = response.json()

# Création d'un DataFrame pandas à partir des données
df = pd.DataFrame(data)

# Enregistrement du DataFrame dans un fichier Excel
df.to_excel("openchargemapfr_data.xlsx")
```

figure 1 : Collecte de données sur les infrastructures de recharge pour véhicules électriques à l'aide de l'API Open Charge Map avec Python

```

7s ▶ import pandas as pd
import requests

api_key = "fab6c8c0-868c-49c7-9dc2-f0808f8e2db0"
country_code = "FR"
max_results = 100000

url = f"https://api.openchargemap.io/v3/poi/?output=json&countrycode={country_code}&maxresults={max_results}&key={api_key}"
response = requests.get(url)
data = response.json()

# Création du DataFrame à partir des données
df = pd.DataFrame(data)

# Affichage des noms des colonnes du DataFrame
print(df.columns)

Index(['DataProvider', 'OperatorInfo', 'UsageType', 'StatusType',
      'SubmissionStatus', 'UserComments', 'PercentageSimilarity',
      'MediaItems', 'IsRecentlyVerified', 'DateLastVerified', 'ID', 'UUID',
      'ParentChargePointID', 'DataProviderID', 'DataProvidersReference',
      'OperatorID', 'OperatorsReference', 'UsageTypeID', 'UsageCost',
      'AddressInfo', 'Connections', 'NumberOfPoints', 'GeneralComments',
      'DatePlanned', 'DateLastConfirmed', 'StatusTypeID',
      'DateLastStatusUpdate', 'MetadataValues', 'DataQualityLevel',
      'DateCreated', 'SubmissionStatusTypeID'],
      dtype='object')

```

Figure 2 : programme réalisé avec Python ayant pour but d'afficher le contenu de la base de donnée récupéré sur Open Charge Map

L'objectif de cette démarche était de recueillir des informations représentatives du nombre réel de points de charge dans chaque pays étudié. L'objectif était ainsi d'analyser ces données et tirer des conclusions sur la situation des infrastructures de recharge. Cependant, lors de l'examen des différentes bases de données récupérées, j'ai rencontré certaines limitations. Tout d'abord, les données recueillies étaient souvent insuffisantes pour fournir une image complète de la situation des infrastructures de recharge. Certains pays avaient une couverture plus complète que d'autres, ce qui biaisait les résultats de mon analyse. De plus, j'ai également constaté la présence de doublons dans certaines données. Certains points de charge étaient répertoriés plusieurs fois, ce qui faussait les statistiques et rendait difficile une évaluation précise du nombre réel de points de charge dans chaque pays. Ces limitations ont limité l'efficacité de cette méthode de collecte de données. Néanmoins, cette expérience m'a permis de prendre conscience des défis liés à l'obtention de données fiables et représentatives dans le domaine des infrastructures de recharge pour véhicules électriques. Lors de ma prochaine récupération de données, j'ai dû tenir compte de ces limitations et prendre des précautions supplémentaires pour interpréter les résultats de manière plus précise et nuancée.

3.3 Analyse géospaciale des points de charge recensées

N'ayant pas récupéré les données voulues via Python, l'analyse géospaciale que j'ai utilisée consiste à comparer plusieurs carrés, représentant des unités de territoire, sur différents pays afin d'étudier les points de charge y étant associés. Mon objectif était d'analyser les données relatives aux points de charge disponibles dans ces carrés. Pour recenser les points de charge, j'ai utilisé plusieurs sites spécialisés tels que Chargemap, Chargeprice et Plugshare. J'ai choisi ces sites car ils fournissent des informations détaillées sur les points de charge à travers différentes régions et pays. Pour chaque pays étudié, j'ai sélectionné cinq carrés par site, ce qui donne un total de quinze carrés par pays. Afin d'obtenir des résultats représentatifs, j'ai veillé à utiliser les mêmes carrés pour chaque site consulté. Cela permet de comparer les données provenant de sources différentes tout en maintenant une cohérence géographique. Lors de mon analyse, j'ai pris le temps de recueillir manuellement les informations pour chaque point de charge présent dans les carrés sélectionnés. J'ai relevé des données telles que l'emplacement géographique précis, le type de chargeur, la puissance de charge, les éventuels frais associés, et d'autres informations pertinentes.

Cependant, l'analyse géospaciale utilisée peut ne pas être entièrement fiable, car les emplacements n'ont pas été sélectionnés de manière aléatoire par tirage au sort, ce qui rend la méthode non standardisée. Si j'avais procédé de cette manière, j'aurais très souvent abouti à des endroits déserts, ce qui aurait nécessité beaucoup de carrés et beaucoup de temps. Malheureusement, je ne disposais pas du temps nécessaire pour mener une telle analyse approfondie. Il y a un risque que j'ai choisi davantage d'unités de territoire le long des autoroutes en Allemagne plutôt qu'en France. En effet, l'Allemagne possède un réseau autoroutier plus développé que la France, mais j'ai essayé de contrebalancer cela en choisissant des unités de territoires à proximité des grandes villes françaises. Bien que les carrés soient équivalents, il reste une incertitude quant à la validité de cette approche. Il faut reconnaître la fragilité de la méthode utilisée en raison de l'absence de garantie totale, bien que j'ai fait preuve de transparence envers ces limitations. Cependant, mes résultats sont probablement fiables car ils sont représentatifs de la carte ayant été réalisée ci-après, bien qu'elle soit basée sur les données d'il y a 3 ans.



Figure 3 : Points de charge rapide (bleu) et ultra-rapide (rouge) en Europe
Source : Transport and the environment (T&E analysis of Plugsurfing and OpenChargeMap data)

IV. Comparaison de l'analyse des points de charge par pays : Une perspective géospatiale

4.1 Répartition et nombre de points de charge par pays : Influence de la puissance des chargeurs et autres facteurs associés

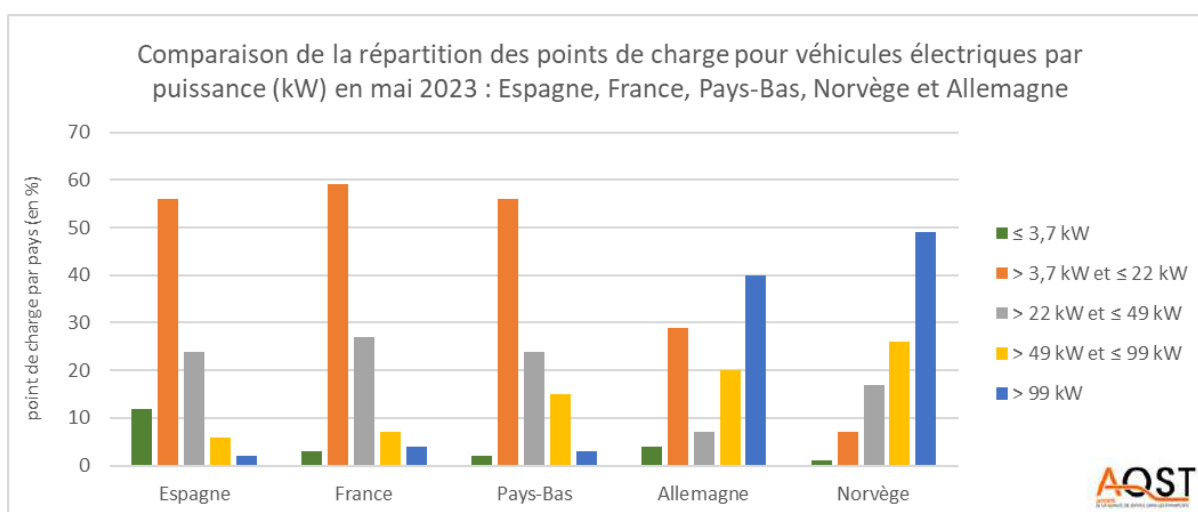
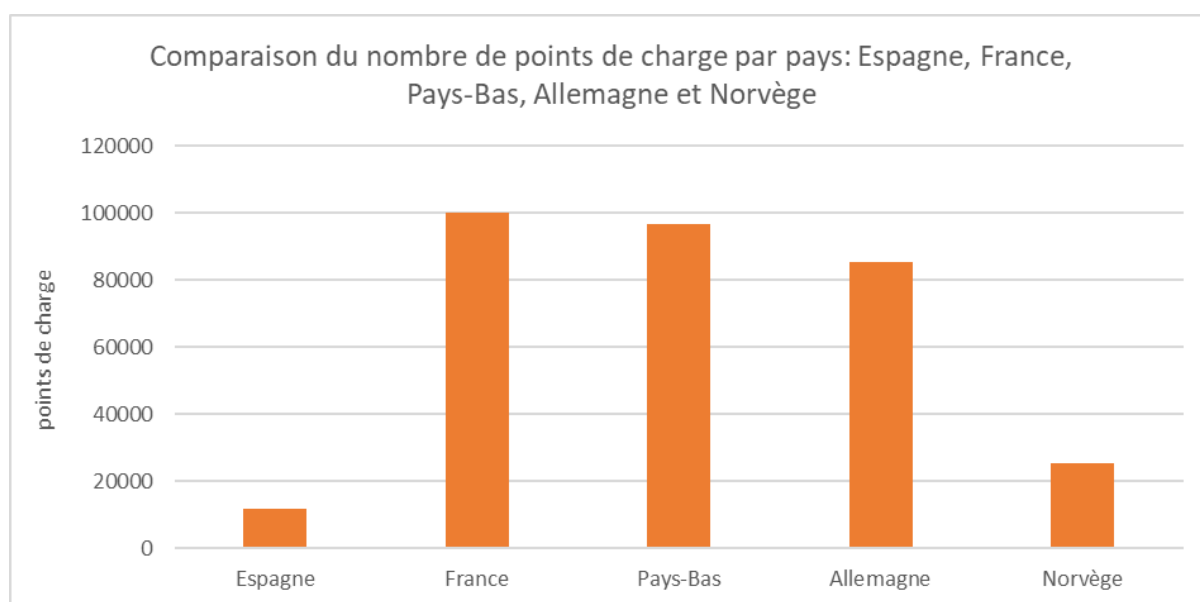


Figure 4 : Comparaison de la répartition des points de charge pour véhicules électriques par puissance (kW) en mai 2023 : Espagne, France, Pays-Bas, Norvège et Allemagne
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

Lorsque l'on examine la répartition des points de charge par pays en pourcentage, certaines observations se dégagent. Il est évident qu'il existe un problème en France par rapport aux bornes de recharge rapides et ultra-rapides, comparativement à des pays tels que l'Allemagne, la Norvège et les Pays-Bas. En France, cette catégorie de bornes semble être moins développée, ce qui constitue un point de préoccupation. Toutefois, en comparaison avec l'Espagne, notre situation en France semble légèrement moins critique. Bien que l'Espagne présente une structure de répartition similaire en pourcentage, le nombre global de bornes de recharge y est très limité, ce qui rend notre situation relativement moins catastrophique en comparaison.



**Figure 5 : Comparaison du nombre de points de charge en mai 2023 par pays :
Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice**

La France rencontre des difficultés par rapport aux bornes de recharge rapides et ultra-rapides par rapport à des pays tels que l'Allemagne, la Norvège et les Pays-Bas. L'Espagne présente une structure similaire en pourcentage, mais avec un nombre beaucoup plus restreint de points de charge. Les Pays-Bas se distinguent comme les meilleurs dans ce domaine, tandis que l'Espagne fait face à des défis importants en matière de disponibilité des points de charge.

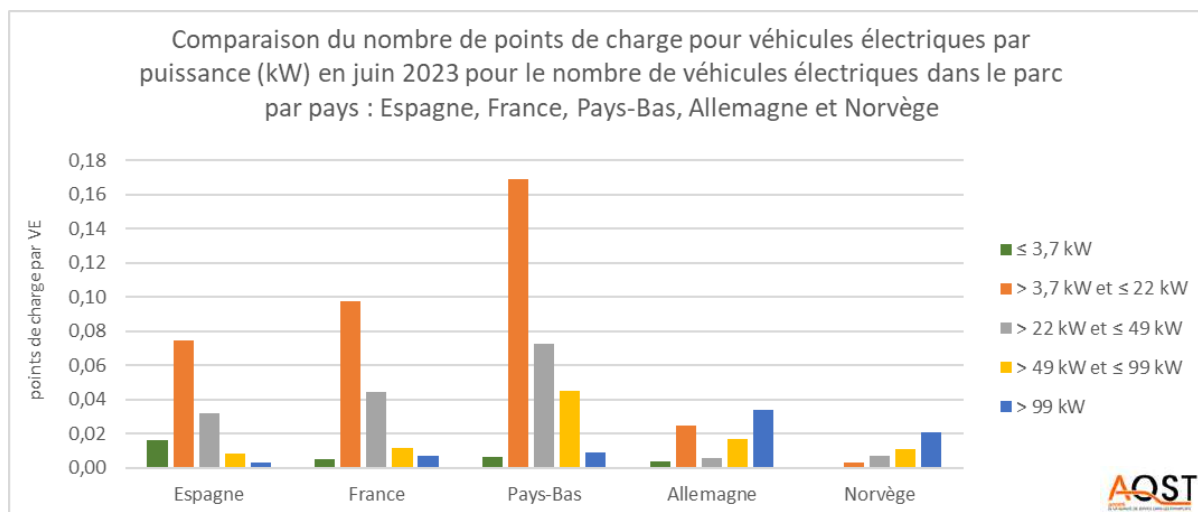


Figure 6 : Comparaison du nombre de points de charge pour véhicules électriques par puissance (kW) en juin 2023 pour le nombre de véhicules électriques dans le parc par pays

:

Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

En examinant le nombre de points de charge pour les véhicules électriques en fonction de la puissance, en relation avec le nombre de véhicules électriques dans le parc par pays, certaines observations intéressantes se dégagent. Tout d'abord, il est important de noter que le total de points de charge en France n'est pas catastrophique. Cela suggère que l'infrastructure de recharge en France est relativement bien développée par rapport au nombre de véhicules électriques présents sur les routes. En revanche, en Norvège, on observe un nombre relativement faible de points de charge par véhicule électrique. Cela s'explique par le fait que la Norvège a atteint un niveau élevé de pénétration des véhicules électriques, ce qui a entraîné une répartition plus légère en termes de points de charge lents. Cependant, la Norvège a mis l'accent sur le déploiement de bornes de recharge rapide et ultra-rapide, ce qui répond aux besoins de recharge plus rapides des propriétaires de véhicules électriques.

Est-il légitime de se demander à quoi servent les bornes de recharge lentes ? Il est possible qu'à une époque où les batteries des véhicules électriques étaient de plus petite capacité, l'installation de points de charge lents était nécessaire pour rassurer les conducteurs et éviter l'anxiété de la panne, même lors de déplacements de courte distance. Le nombre de points de charge pour les véhicules électriques en fonction de la puissance varie selon les pays. La France présente un total de points de charge qui n'est pas catastrophique, indiquant une

infrastructure de recharge relativement bien établie. En Norvège, la répartition est moins prononcée en termes de bornes lentes, car le pays a privilégié les bornes rapides et ultra-rapides pour répondre aux besoins des propriétaires de véhicules électriques. Les bornes de recharge lentes ont peut-être été plus pertinentes dans le passé, lorsque les capacités des batteries étaient plus limitées, afin de garantir une tranquillité d'esprit lors de déplacements locaux.

4.2 Décryptage du taux de véhicules électriques dans le parc et dans le neuf en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW par habitants et véhicules électriques

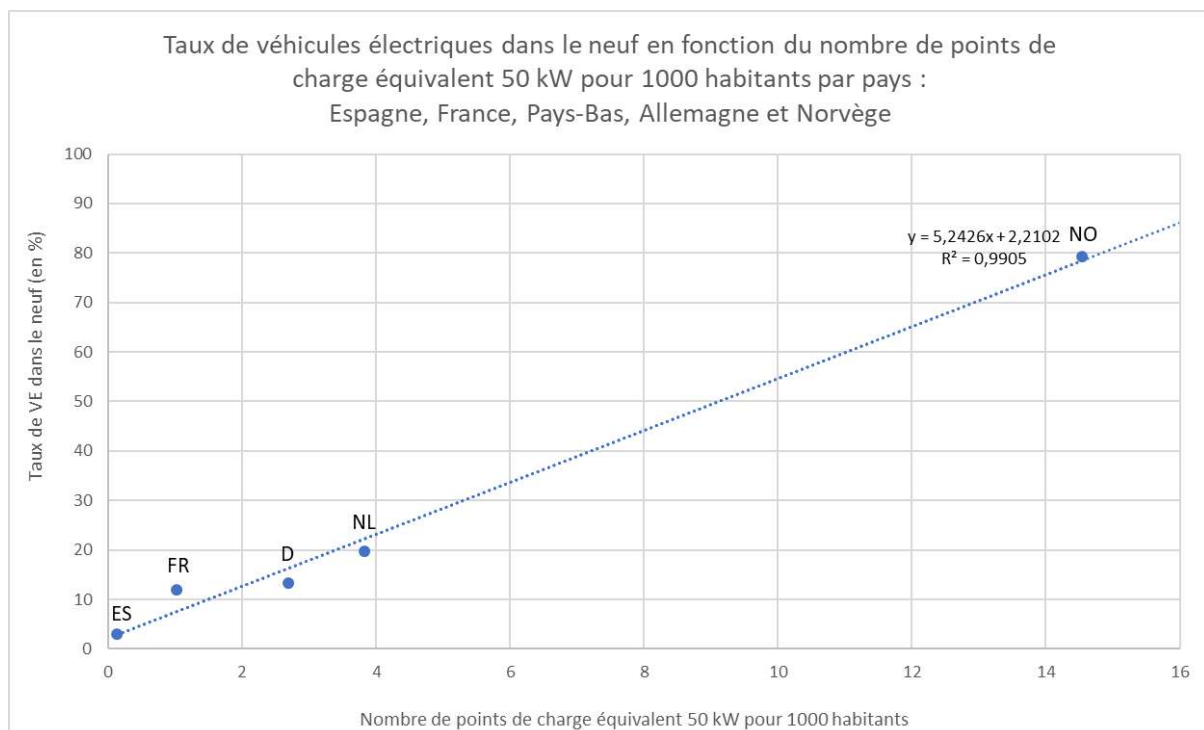


Figure 7 : Taux de véhicules électriques dans le neuf en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW pour 1000 habitants par pays : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases)

Après avoir représenté les niveaux de véhicules électriques dans le neuf en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW pour 1000 habitants par pays, j'ai cherché à confirmer mes résultats en utilisant le test statistique de Student. Pour ce faire, j'ai calculé le coefficient de détermination (R2), la pente de la droite de régression, ainsi que l'ordonnée à l'origine, en précisant que j'avais utilisé cinq variables dans mon analyse. Par la suite, j'ai appliqué le test de Student comme décrit ci-dessous :

$$\begin{aligned} \text{Test de Student} &= \sqrt{(R^2 * (\text{nombre de variables} - 2) / (1 - R^2))} \\ &= \sqrt{(0.990 * (5 - 2) / (1 - 0.990))} \end{aligned}$$

Ainsi, après avoir effectué le calcul, le résultat du test de Student est de 17,7. Cette valeur est supérieure au seuil fixé à 10,2 pour un niveau de significativité de 1% et 3 degrés de liberté. Par conséquent, le test est valide, ce qui indique qu'il existe une différence significative entre les variables étudiées.

Lorsque nous examinons la corrélation entre le nombre de points de charge en équivalent 50 kW dans différents pays et le taux d'achat de véhicules électriques pour 1000 habitants, nous constatons une corrélation extrêmement forte. En effet, le coefficient de détermination (R^2) est de 0,99, ce qui indique une excellente adéquation entre ces deux variables. De plus, le test de student a confirmé la significativité des résultats, renforçant ainsi l'idée d'un lien non négligeable entre ces facteurs. Il convient cependant de noter que cette corrélation ne garantit pas une relation de cause à effet directe. Bien que l'augmentation du nombre de points de charge puisse stimuler les achats de véhicules électriques, il est également possible que des effets inverses se produisent. Par exemple, une forte demande initiale d'achats de véhicules électriques peut entraîner la nécessité d'installer davantage de points de charge pour répondre à cette demande croissante. Ainsi, il est plausible de supposer l'existence d'un lien bidirectionnel entre ces variables.

Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'infrastructure de recharge dans l'adoption des véhicules électriques. L'expansion du réseau de points de charge en équivalent 50 kW peut jouer un rôle clé dans la promotion de l'utilisation des véhicules électriques. Cependant, il est essentiel de mener des études plus approfondies pour évaluer les autres facteurs qui pourraient influencer cette relation complexe. Cette analyse permettra de mieux comprendre les dynamiques entre l'infrastructure de recharge, les taux d'achat de véhicules électriques et les besoins des consommateurs, afin d'orienter les politiques et les investissements futurs dans le domaine de la mobilité électrique.

V. Disponibilité des points de charge pour les trajets longue distance sur autoroute : Étude des contraintes de compatibilité et des obstacles pour les véhicules électriques

5.1 Méthodologie du dimensionnement des besoins de charge en équivalent 50 kW sur différentes pointes

J'ai entrepris une analyse de la disponibilité des points de charge sur les autoroutes en France, en particulier pour les trajets longue distance. Cette démarche permet d'évaluer si les utilisateurs sont confrontés à des contraintes ou des obstacles lors de leurs déplacements. Afin d'obtenir des résultats concrets, j'ai souhaité représenter et déterminer le nombre de points de charge équivalents à 50 kW nécessaires lors de différentes périodes de pointe : la pointe de jour ouvrable de base, la pointe hebdomadaire et la pointe de grand départ. La voiture Zoé de chez Renault peut supporter jusqu'à 50 kW, ce qui est la limite des points de charge rapide et qui explique en partie le choix d'avoir calculé des points de charges équivalent 50 kW. Pour ce faire, j'ai adopté une méthodologie précise. J'ai commencé par effectuer le dimensionnement

des besoins de charge en période de pointe. Pour chaque autoroute, j'ai calculé le trafic moyen journalier actuel (TMJA) en me basant sur une carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes de l'année 1999, fournie par le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement et le Setra. Cette carte indiquait le TMJA de véhicules par jour dans les deux sens pour chaque tronçon de 100 km étudié.

Pour estimer le TMJA de l'année 2023, j'ai utilisé le taux de croissance annuel moyen (TCAM) en multipliant le TMJA de 1999 par $(1 + \text{TCAM})$ élevé à la puissance du nombre d'années (24). Par la suite, j'ai calculé le TMJA de véhicules légers (VL) dans les deux sens, en sachant que le taux de VL est de 80%. Pour obtenir le TMJA de VL dans un sens, il suffit simplement de diviser le TMJA de VL dans les deux sens par 2. Grâce à ces éléments, j'ai pu calculer de manière simple le nombre de véhicules électriques par heure lors des différentes périodes de pointe. Cette approche permet de mieux appréhender les besoins de recharge des véhicules électriques sur les autoroutes, en tenant compte de la croissance du trafic et des spécificités de chaque tronçon étudié. Ces informations sont essentielles pour évaluer la capacité actuelle des points de charge et anticiper les besoins futurs, afin d'assurer une expérience de conduite fluide et pratique pour les utilisateurs de véhicules électriques sur les trajets longue distance.

Une fois les calculs de trafic des autoroutes effectués, j'ai procédé au calcul des besoins en recharge interurbaine sur 100 km. Cette estimation a pris en compte plusieurs facteurs, tels que la puissance de charge disponible sur les autoroutes, la capacité énergétique des batteries des véhicules électriques, la consommation énergétique sur autoroute en kWh par 100 km, la part de la batterie à recharger (fixée à 80%), ainsi qu'un coefficient de précaution de 73% pour tenir compte de trois effets spécifiques. Le premier effet pris en compte est l'influence des conditions climatiques, notamment le froid ou l'utilisation de la climatisation, qui peut affecter la performance des batteries. Le deuxième effet est la dégradation progressive de la batterie au fil du temps, ce qui peut réduire légèrement son efficacité. Enfin, le troisième effet considéré est la charge restante nécessaire pour atteindre la destination finale du trajet.

En prenant en compte ces différents facteurs, j'ai pu calculer le temps de recharge requis pour atteindre la part de batterie à recharger. De plus, j'ai également pris en compte le temps nécessaire pour le branchement et le débranchement du véhicule afin d'obtenir une estimation précise du temps d'occupation de la borne de recharge. Cette approche permet de déterminer de manière plus précise les besoins en temps de recharge sur les autoroutes, en prenant en considération les spécificités des véhicules électriques, des infrastructures de recharge et des trajets interurbains.

Une fois les calculs effectués, j'ai réalisé un graphique de synthèse représentant la moyenne des résultats obtenus pour les 6 autoroutes étudiées (figure 9). Toutefois, il est important de noter que ces résultats ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble de la France, car j'ai sélectionné ces 6 autoroutes de manière aléatoire. Par exemple, l'autoroute A7 est principalement empruntée pour des migrations sur de très longues distances, tandis que deux autres autoroutes plus proches de Paris, comme l'A1 et l'A13, présentent des caractéristiques légèrement différentes en termes de distances parcourues. Ainsi, les usages

varient considérablement, et il n'est pas certain que cela soit représentatif de la moyenne nationale. Il serait donc judicieux d'adapter cette méthodologie pour effectuer un calcul plus complet. Étant donné que les niveaux de trafic varient d'une autoroute à l'autre, les besoins en points de recharge diffèrent également, bien que cela reste proportionnel au trafic. Cependant, les niveaux de trafic ne sont pas si différents les uns des autres, ce qui rend une moyenne pondérée inutile. Le ratio de besoins pour les "grands départs", les pointes hebdomadaires et les jours ouvrables de base peut différer d'une autoroute à l'autre. Dans le calcul du besoin théorique en bornes de recharge en fonction des différentes pointes, j'ai inclus une marge de prudence de 5% pour tenir compte de l'indisponibilité potentielle des bornes. Cela évite d'avoir un calcul trop optimiste, car il est réaliste de considérer une certaine indisponibilité, même si je ne dispose pas des données exactes, car l'État ne les possède pas non plus. Cette méthodologie vise à être un signal d'alarme quant au lien entre la disponibilité des bornes de recharge rapide et le développement de l'électrification des véhicules.

La sous-partie suivante portera sur l'analyse des résultats, nous aborderons la question des véhicules éligibles aux bornes de 50 kW et plus, ainsi que ceux qui ne le sont pas, car cela modifie considérablement la donne. En effet, une part significative des véhicules électriques n'a pas accès à ces bornes. Par conséquent, il existe une certaine incertitude quant aux paramètres de dimensionnement utilisés.

5.2 Interprétation des résultats

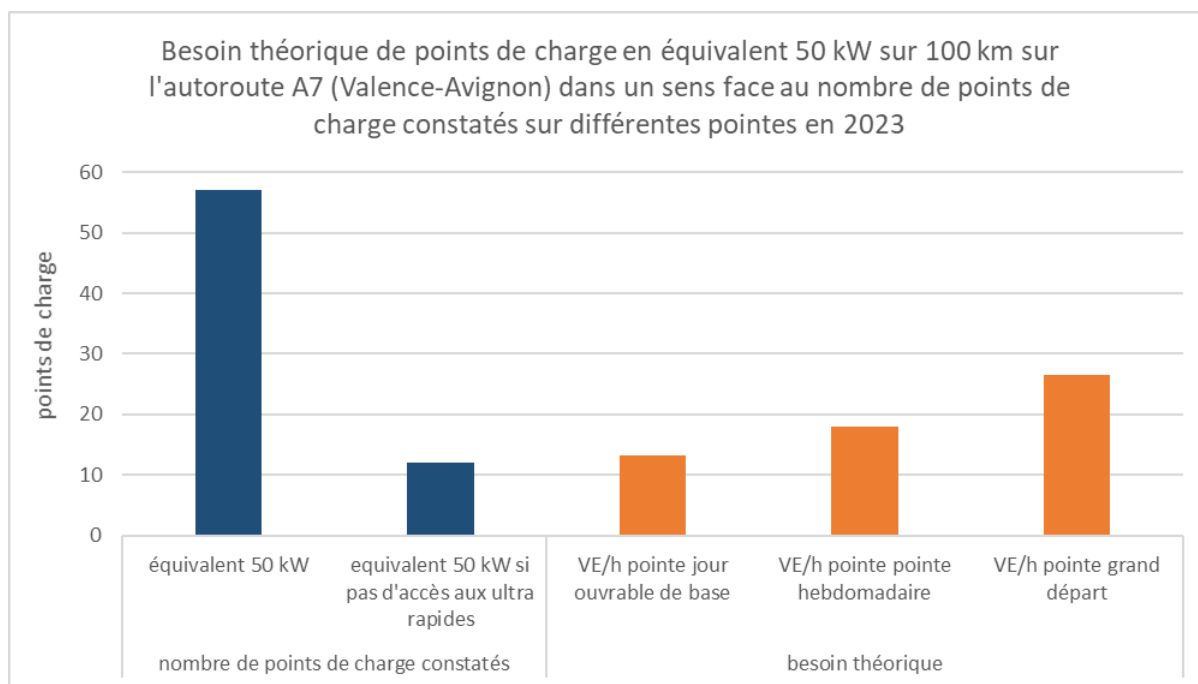


Figure 8 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 kW sur 100 km sur l'autoroute A7 (Valence-Avignon) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

Le nombre de points de charge en équivalent 50 kW sur le graphique ci-dessus, montre au premier abord un surdimensionnement apparent sur l'autoroute A7 (Valence-Avignon). Cela soulève la question de savoir si, par exemple, une Tesla peut se charger sur un point de charge Ionity. La compatibilité des voitures avec les bornes et les normes proposées peut poser des conflits. Il est essentiel de déterminer si tous les véhicules peuvent utiliser toutes les bornes de recharge afin de démontrer que ce surdimensionnement ne serait qu'une apparence. Tesla dispose d'un écosystème de recharge très rapide, mais est-il accessible pour toutes les voitures ? Par exemple, on peut se demander si la voiture électrique la plus utilisée en France, la Zoé de Renault, peut recharger sa batterie sur une borne de 300 kW ? Bien que des adaptateurs existent, la chimie des batteries ne le supporte pas toujours, ce qui peut entraîner des complications pour les utilisateurs.

Pour recharger une voiture électrique sur une borne Tesla, le véhicule doit être équipé soit d'un connecteur de Type 2, soit d'un connecteur de Type Combo CSS. En Europe, tous les Superchargeurs V2 de Tesla sont équipés de bornes à double câble pour prendre en charge les ports de recharge à courant continu de Type 2 (norme CEI 62196) ainsi que le CCS Combo 2 depuis novembre 2018. La grande majorité des nouveaux véhicules électriques lancés sur le

marché européen sont désormais équipées du connecteur Combo CSS pour la recharge en courant continu. Le connecteur Type 2 permet une recharge à courant continu jusqu'à 50 kW, offrant des options de charge lente et rapide. En revanche, le connecteur de Type Combo CSS offre des débits supérieurs à 250 kW. Il existe deux versions : la version CCS 1.0 avec une puissance maximale de 80 kW (400 Volts, 200 Ampères), et la version CCS 2.0 avec une puissance maximale de 350 kW (200 à 1000 Volts, 500 Ampères). Il est important de rappeler que si l'utilisateur ne dispose pas du bon connecteur, il ne pourra pas utiliser le point de charge. Comme expliqué dans la méthodologie, la voiture Zoé de chez Renault peut supporter jusqu'à 50 kW, ce qui est la limite des points de charge rapide et qui explique en partie le choix d'avoir calculé des points de charges équivalent 50 kW. Cela indique que le graphique peut sembler surdimensionné, mais ces facteurs doivent être pris en compte de manière significative (Tom's guide, 2022). Ces informations mettent en évidence l'importance de la compatibilité entre le connecteur de recharge du véhicule et le type de borne disponible. Il est essentiel de prendre en compte les spécifications techniques et les normes de connecteurs pour garantir une utilisation correcte des points de charge et éviter toute incompatibilité qui pourrait entraîner des problèmes de recharge pour les utilisateurs.

Il est important de noter qu'il n'y a aucun problème de dimensionnement pour les propriétaires de voitures haut de gamme, tels que ceux possédant une Tesla. Les voitures de type Zoe peuvent se charger sur des bornes Tesla, mais il existe un obstacle tarifaire qui rend la recharge plus coûteuse par rapport à l'essence (Tesla Mag, 2022). C'est également pour cette raison que le calcul que j'ai effectué est purement théorique, en plus des obstacles liés aux connecteurs. Ensuite, il convient de se demander si une voiture lambda de type Zoe peut se charger sur un réseau de recharge rapide agrégateur tel que Ionity. Bien que ces enseignes puissent affirmer que tout le monde peut les utiliser, il est crucial de considérer le coût associé, car si l'on ne dispose pas d'un partenariat avec Ionity ou d'un abonnement spécifique, les prix peuvent rapidement augmenter. (Automobile Magazine, 2021) En l'absence de frais fixes préalablement payés, les utilisateurs pourraient se voir facturer des tarifs variables, ce qui reviendrait également plus cher que le prix de l'essence et ne serait donc pas rentable pour les particuliers. Le site de Renault indique que nous pouvons nous brancher avec un connecteur CCS 1.0, permettant une puissance maximale de 50 kW. Aucune information n'est fournie concernant le CCS 2.0. (Renault Group, 2023)

Les propriétaires de voitures électriques haut de gamme, comme Tesla, ont accès à tous les points de charge, tandis que d'autres n'ont pas accès aux bornes ultra-rapides en raison des obstacles mentionnés précédemment, notamment les obstacles tarifaires. Lorsque l'on ne possède pas de Tesla ou de voiture compatible directement avec le réseau Ionity à un tarif avantageux, il devient évident que le surdimensionnement du graphique n'est qu'une apparence.

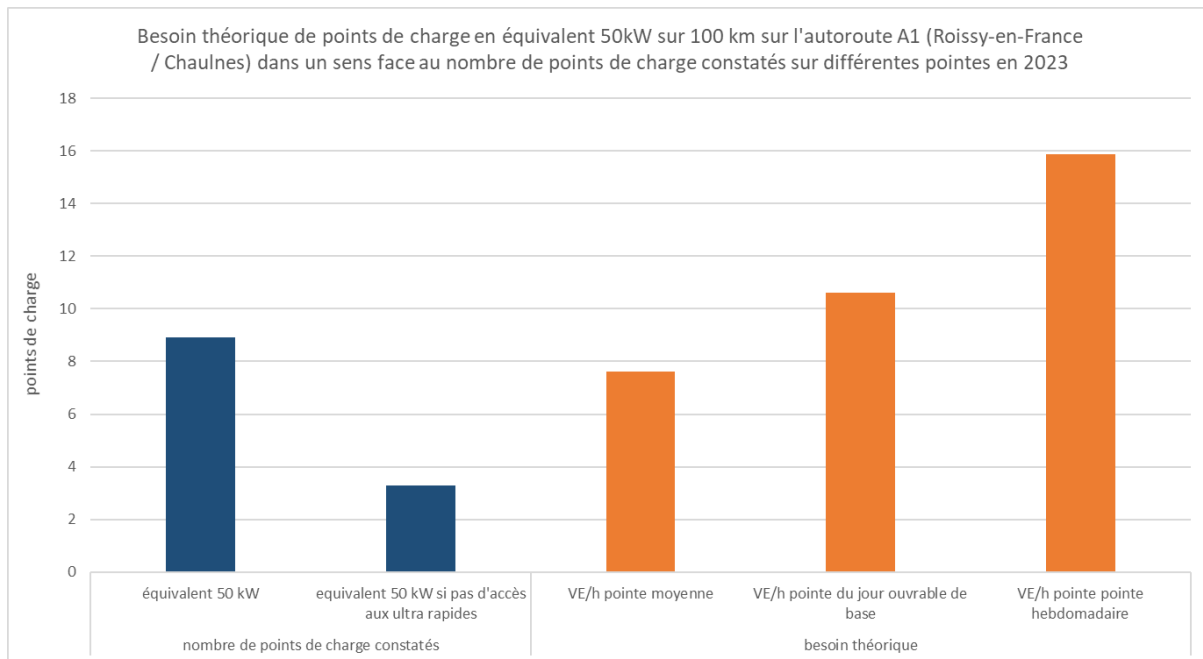


Figure 9 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 sur 100 km sur l'autoroute A1 (Roissy-en-France / Chaulnes) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

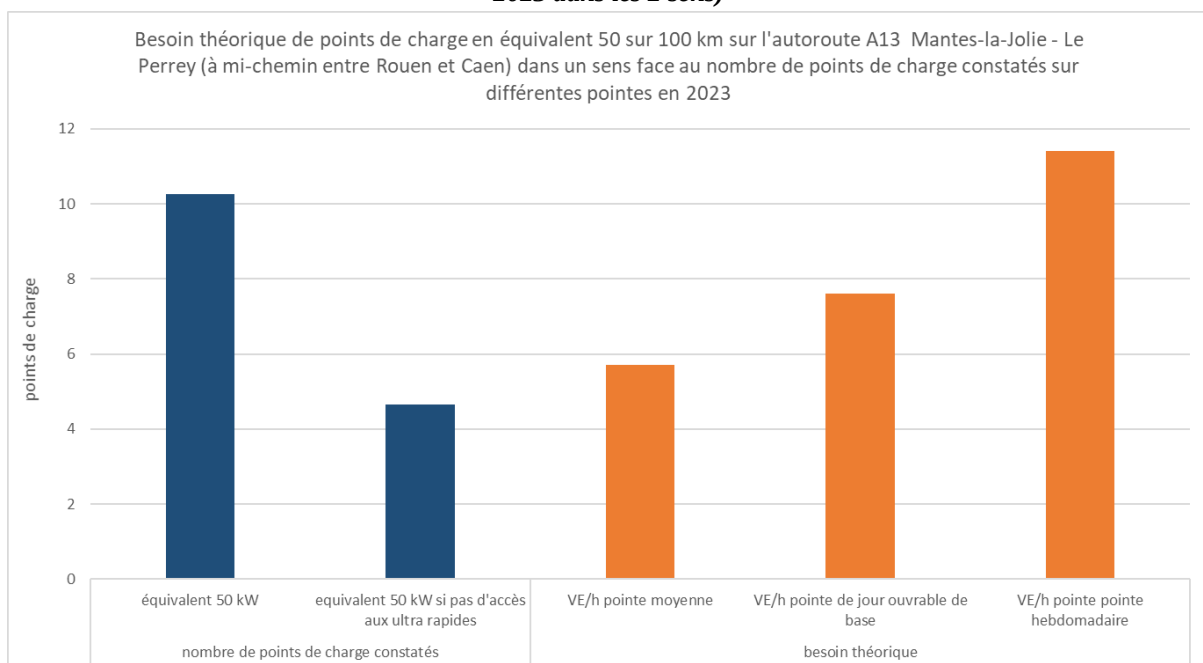


Figure 10 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 sur 100 km sur l'autoroute A7 (Valence-Avignon) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

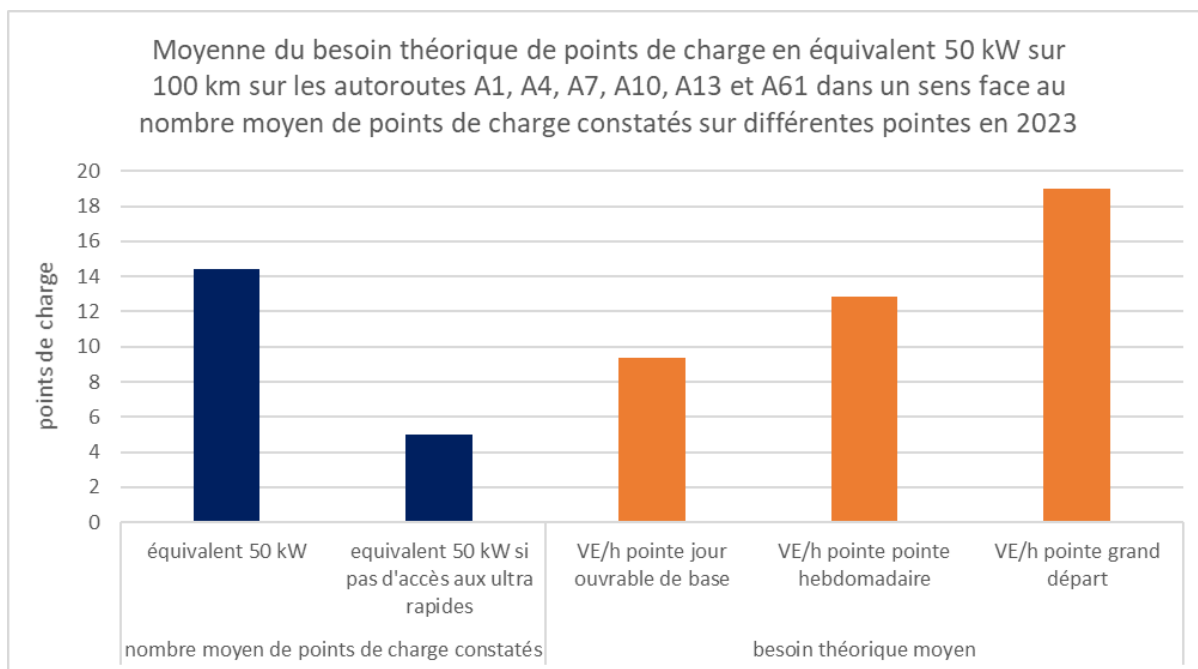


Figure 11 : Moyenne du besoin théorique de points de charge en équivalent 50 kW sur 100 km sur les autoroute A1, A4, A7, A10, A13 et A61 dans un sens face au nombre moyen de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023

Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

Après avoir analysé les résultats concernant l'autoroute A7 qui semblait initialement présenter un surdimensionnement des points de charge pour les véhicules électriques, nous avons constaté qu'en réalité, nous étions confrontés à un sous-dimensionnement en raison de nombreux facteurs mentionnés précédemment. Il est maintenant intéressant d'analyser le cas des autoroutes A1 et A13. Les graphiques montrent clairement un besoin de points de charge équivalents à 50 kW pour les deux autoroutes, tant pour les pointes de demande que pour les utilisateurs n'ayant pas accès aux points de charge ultra-rapides. Le graphique ci-dessus représentant la moyenne des autoroutes étudiées vient confirmer ce sous-dimensionnement. Ce problème est d'autant plus préoccupant pour les périodes de grands départs qui connaissent une forte demande.

Malgré les inévitables incertitudes liées à un certain nombre de paramètres difficiles à évaluer, tels que la proportion de véhicules pouvant être chargés à domicile, pour lesquels nous n'avons pas une connaissance complète, nos tests de sensibilité montrent que les améliorations ne sont pas aussi significatives. Cela suggère que dans l'ensemble, la situation est acceptable pour les véhicules capables de charger en ultra-rapide avec un connecteur CCS 2.0, à condition que la batterie soit adaptée à ce type de charge. Pour ceux qui possèdent des véhicules pouvant accepter une puissance de charge élevée, la situation est relativement satisfaisante pour les pointes moyennes pendant les jours ouvrables de base, car nous ne pouvons pas dire que le nombre de points de charge est insuffisant. Cependant, pour les autres véhicules, nous constatons que les pointes moyennes sont à peine couverts, même s'il existe des incertitudes.

Dès que nous abordons les pointes de jour ouvrables de base et les pointes de grands départs, la situation devient nettement insatisfaisante. Cela signifie qu'il n'est pas confortable pour les utilisateurs de s'engager dans un voyage interurbain car ils ont toujours des inquiétudes légitimes quant à la disponibilité des bornes de recharge. Ils risquent de se retrouver à devoir utiliser une borne de faible puissance dans un supermarché éloigné de l'autoroute, ce qui entraînerait des temps de charge extrêmement longs. Cette situation constitue un handicap majeur pour l'adoption des véhicules électriques, qui est pourtant un levier essentiel pour la décarbonation.

Étant donné les incertitudes inhérentes au calcul du dimensionnement, il est essentiel d'encourager les acteurs du domaine à s'emparer de cette question et à améliorer la méthodologie, en particulier en rendant les données disponibles. Nous pouvons saluer les progrès réalisés ces dernières années, mais ils ne sont pas suffisants et le déploiement des bornes doit être intensifié. Des efforts sont consentis dans le domaine des immeubles en copropriété, mais la situation des bornes rapides et ultra-rapides n'est pas encore satisfaisante. L'analyse que j'ai réalisée est confortée par ce qui est rapporté dans la presse, où l'on constate que l'utilisation quotidienne des véhicules électriques n'est pas toujours facile, notamment lors de longs trajets pour lesquels il est difficile de simuler les conditions réelles. La diversité des types de prises, les pannes ou l'indisponibilité des points de charge contribuent à rendre tous ces éléments peu clairs dans l'esprit des voyageurs, d'autant plus qu'ils entendent dans la presse automobile que tout ne fonctionne pas correctement. Mon analyse semble indiquer que ces préoccupations sont fondées.

VI. Conclusion

6.1 Retour critique sur l'étude et difficultés rencontrées

Lorsque l'on analyse les données concernant les points de charge pour véhicules électriques en France, on constate une disparité avec d'autres pays, notamment l'Allemagne et les Pays-Bas, en termes de puissance disponible. Bien que la France dispose d'un nombre similaire de points de charge sur la voie publique par rapport à l'Allemagne, sa capacité de recharge rapide et ultra-rapide est nettement inférieure. Cette situation soulève des interrogations quant à la capacité de la France à répondre efficacement à la demande croissante de recharge pour les véhicules électriques. Il est légitime de se demander s'il existe un lien entre la puissance de recharge, le nombre de points de charge en équivalent 50 kW et le taux d'achat de véhicules électriques neufs. Plusieurs facteurs peuvent influencer le taux d'achat de véhicules électriques neufs, tels que la politique de bonus/malus mise en place par le pays et les besoins spécifiques des différentes clientèles. Par exemple, les loueurs de véhicules sont contraints d'avoir des véhicules électriques ou sont fortement incités à le faire en raison des exigences en matière de développement durable. Il est donc crucial d'évaluer la corrélation entre la puissance de recharge des points de charge, le nombre de points disponibles en équivalent 50 kW et le taux d'achat de véhicules électriques neufs. Cette analyse permettrait de mieux comprendre les facteurs qui influencent l'adoption des véhicules électriques et d'identifier d'éventuelles lacunes dans l'infrastructure de recharge en France. De telles informations sont essentielles pour guider les décisions politiques et les investissements visant à promouvoir la mobilité électrique et à accélérer la transition vers des solutions de transport plus durables. Les entreprises sont de plus en plus encouragées à adopter des véhicules électriques, car cela améliore leur rapport en matière de développement durable. Cependant, il arrive parfois au sein des entreprises que les employés ne souhaitent pas utiliser ces véhicules, car ils ne vivent pas nécessairement en maison individuelle et rencontrent des difficultés pour la recharge. En particulier en Île-de-France, la recharge peut être compliquée, car tous les logements ne disposent pas d'équipement à l'instar de parkings collectifs équipés de bornes de recharge. Malgré ces défis, ces stratégies incitatives contribuent à augmenter le taux de véhicules électriques neufs en France.

Les utilisateurs de véhicules électriques peuvent être des propriétaires de maisons individuelles qui effectuent principalement des déplacements locaux. Il y a également des personnes très favorables à la voiture électrique, souhaitant agir contre les émissions de carbone, par exemple. En général, les utilisateurs de voitures électriques vivant en maison individuelle et effectuant des déplacements locaux sont plutôt satisfaits de leur choix. De plus en plus de personnes se rendent compte que l'achat d'une voiture électrique peut être avantageux grâce aux aides mises en place par l'État. Cependant, il est important de noter que les aides ont diminué en 2023 par rapport à la fin du premier confinement de 2020. Pendant cette période, les concessionnaires automobiles étaient à l'arrêt complet en raison du confinement, ce qui a entraîné une forte baisse de la production automobile. Pour relancer l'économie, l'État a alors mis en place un bonus exceptionnel incitant les gens à se rendre chez les concessionnaires pour acheter une voiture électrique.

Les conditions permettant l'achat de véhicules électriques sont multiples. Actuellement, tout le monde est très satisfait car nous sommes passés d'un taux de 1% à 12% de ventes de véhicules électriques neufs en France. Cependant, en pratique, comme je l'ai mentionné précédemment, nous avons des marchés un peu contraints, tels que les loueurs de voitures, etc. Ensuite, nous avons une part de marché chez les personnes vivant en maison individuelle, en partie parce que l'électricité n'est pas taxée. Cependant, lors de l'achat, les voitures électriques sont un peu plus chères que les voitures à essence, donc l'idéal serait d'habiter dans une maison individuelle et de ne pas effectuer de trajets longue distance, étant donné les problèmes évoqués lors des pointes moyenne, de jour ouvrable de base et de grand départ. Il est également nécessaire de disposer d'une certaine trésorerie, car même si l'utilisation du véhicule coûte moins cher en termes de carburant (énergie) en raison de la faible taxation, même après la subvention de l'État, le véhicule revient tout de même plus cher. Les utilisateurs doivent donc faire un effort financier. Les personnes capables de faire cet effort financier sont généralement issues des classes moyennes supérieures au minimum, ce qui représente un certain nombre de filtres à prendre en compte.

Ces filtres pourraient éventuellement être levés, mais une partie du problème est peut-être perçue par les constructeurs automobiles, qui risquent des amendes s'ils ne vendent pas les quotas requis. Ils imaginent à tort ou à raison que s'ils n'atteignent les quotas, ils seront taxés. Cependant, si la majorité de la profession ne respecte pas les quotas, il est possible que l'Union européenne ne mette pas à exécution ses menaces et trouve un arrangement de dernière minute. Dans les pays latins, c'est souvent ainsi que les choses se passent, alors que dans les pays du Nord, en général, une fois qu'une règle est écrite, elle est appliquée. C'est pourquoi de nombreux constructeurs allemands, par exemple, prennent les quotas très au sérieux, tandis que les constructeurs français n'ont peut-être pas complètement perdu espoir que ces pénalités ne seront pas forcément appliquées et qu'ils pourront s'en sortir d'une manière ou d'une autre, comme par exemple en obtenant un remboursement de l'Union européenne après avoir payé une amende. Ensuite, pour mettre en place une stratégie similaire à celle des constructeurs allemands chez Ionity, il faut avoir une situation financière solide, car il est nécessaire d'investir dans des projets qui ne rapportent pas immédiatement, et il n'est pas certain que les constructeurs français soient prêts à le faire immédiatement. Nous verrons donc ce qu'il en est. Il est également possible qu'en France, il y ait un aspect d'autosatisfaction qui nous pousse à nous contenter de ce que nous avons tout en ignorant certains problèmes.

Pour préserver la durée de vie d'une voiture électrique, il est également important de respecter plusieurs règles, comme effectuer des charges lentes de temps en temps pour préserver la batterie. La chaleur et le grand froid jouent également un rôle important dans la préservation de la batterie. Il est également essentiel de noter qu'il est inutile de recharger son véhicule sur une borne ultra-rapide de 300 kW, par exemple, si le véhicule ne supporte qu'une puissance de 100 kW. En effet, la voiture ne pourra pas bénéficier d'une puissance supérieure, ce qui représente non seulement une perte d'argent, mais aussi une utilisation inefficace de la borne de recharge. Il est important de souligner que l'utilisateur moyen ne comprend pas forcément tout le vocabulaire et le fonctionnement des voitures électriques, ce qui peut susciter

de l'incertitude. Cependant, lorsque l'un de ses proches décide d'acquérir une voiture électrique, cela peut contribuer à rassurer et à familiariser l'utilisateur avec cette technologie. (Chargemap, 2023)

Lors de mon étude, j'ai rencontré des difficultés pour obtenir des bases de données fiables et complètes, d'autant plus que le nombre de points de charge évolue rapidement. Le manque de transparence évoqué dans la partie 3 de mon étude constitue un véritable défi. Il est nécessaire de trouver des solutions potentielles pour permettre à l'État d'accéder aux bases de données sur les bornes de recharge pour les voitures électriques, en tenant compte du contexte de problème d'accès aux données. Une solution potentielle serait d'établir des partenariats public-privé. L'État pourrait collaborer avec les entreprises privées qui possèdent ces bases de données afin de mettre en place des partenariats qui permettent le partage d'informations. Cela pourrait se faire par le biais d'accords contractuels ou de réglementations incitatives. L'État pourrait également jouer un rôle actif dans la promotion de normes et de formats de données communs pour les bases de données sur les bornes de recharge. Cela faciliterait l'échange d'informations entre les différentes parties prenantes et permettrait à l'État de consolider les données de manière plus efficace. Des obligations légales ou réglementaires pourraient également être imposées aux entreprises privées possédant ces bases de données, les obligeant à partager les données avec des entités publiques désignées ou à fournir des rapports réguliers sur l'état du réseau de bornes. L'État pourrait également envisager le développement d'une plateforme nationale centralisée qui rassemble les informations sur les bornes de recharge à l'échelle du pays. Cette plateforme pourrait être alimentée par les données fournies par les entreprises privées, avec des incitations ou des obligations pour encourager leur contribution. Pour favoriser la recherche et le développement, l'État pourrait investir dans de nouvelles technologies et méthodologies pour collecter et partager les données sur les bornes de recharge. Cela pourrait inclure l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle, de crowdsourcing ou d'autres approches novatrices. Enfin, pour encourager la transparence et la responsabilité, l'État pourrait promouvoir des politiques incitant les entreprises privées à partager volontairement leurs données et à rendre compte de leurs activités. Cela pourrait être réalisé par le biais d'incitations fiscales, de certifications ou de labels de qualité. Ces différentes mesures permettraient de surmonter les obstacles liés à l'accès aux bases de données sur les bornes de recharge et favoriseraient une meilleure planification et gestion du réseau de bornes, contribuant ainsi au développement efficace de l'infrastructure de recharge pour les véhicules électriques.

6.2 Retour réflexif sur le stage

Le stage s'est déroulé en présentiel, comme en témoigne le calendrier ci-dessous, qui illustre le déroulé de mon stage avec notamment les différentes rencontres que j'ai eues avec mon tuteur professionnel. Ces rendez-vous se sont généralement tenus le matin et ont duré environ trois heures. Dans certains cas, lorsque la présence physique de mon tuteur n'était pas possible, nous avons opté pour des réunions en visioconférence à l'aide de l'outil Lifesize. Cette option nous a permis de partager notre écran et de travailler simultanément sur des tableurs lorsque mon tuteur n'était pas physiquement présent au bureau.

[illegible]

Tâches

- | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|
|  | Prise de connaissance de la doc |  | Tournage de vidéo pour LinkedIn |
|  | Collecte de données via Python |  | Point d'avancement avec Alain Sauvart |
|  | Collecte de données via l'analyse géospatiale |  | Assemblée Générale |
|  | Interprétation des données pour la comparaison par pays |  | Congés |
|  | Disponibilité des points de charge sur autoroute | | |
|  | Rédaction de l'étude | | |

Chaque rendez-vous était une occasion de faire le point sur mon travail depuis notre dernière rencontre. C'était l'opportunité de poser les questions qui étaient survenues au cours de la semaine et de présenter l'avancement que j'avais réalisé, ce qui engendrait souvent de nouvelles interrogations. Nous consacrons une partie de notre temps à identifier et résoudre les problèmes rencontrés dans les tableurs, puis nous réfléchissons ensemble aux tâches à accomplir d'ici notre prochain rendez-vous. Le tableau illustre que ces points de discussion étaient plus nombreux en début de stage. En effet, ayant pris connaissance des travaux préalables pour pouvoir poursuivre et approfondir la tâche, j'ai consacré les premières semaines à la lecture de documents et à l'analyse de tableurs Excel existants. Ces rendez-vous

d'avancement me permettaient ainsi de m'assurer de ma compréhension de la démarche et des éléments déjà en place.

Outre les quelques difficultés mentionnées dans la première partie de la conclusion, certains aspects de ma mission ont été particulièrement enrichissants.

Tout d'abord, j'ai apprécié l'apprentissage du travail en tant qu'assistant ingénieur, qui implique une approche calculatoire et la manipulation de modèles complexes à comprendre et à interpréter pour obtenir des résultats significatifs. Bien que les interactions avec les autres membres du personnel aient été limitées, j'ai pris plaisir à assister aux débats stimulants qui ont eu lieu lors des réunions de groupe de travail.

De manière plus générale, ce stage m'a permis d'approfondir mes connaissances et d'acquérir une culture générale sur des sujets qui m'intéressaient déjà, tels que les transports, la pollution, le réchauffement climatique et les mesures à mettre en place pour y faire face. Je souhaite donc orienter ma carrière vers des postes qui requièrent des compétences scientifiques et qui traitent de sujets tels que les transports et le changement climatique. Les enjeux liés au réchauffement climatique me tiennent à cœur et je trouve un épanouissement professionnel dans un travail qui contribue à y faire face. Cependant, en discutant de mon expérience avec mes collègues de formation, j'ai constaté que bon nombre d'entre eux avaient également acquis une expérience sur le terrain. À l'avenir, j'aimerais donc occuper un poste qui comporte également des missions sur le terrain, bien que cette mission en particulier ne s'y prêtait pas en raison de son échelle plus globale

VII. Bibliographie

Automobile Magazine. (2021) "Recharge des voitures électriques : qui peut utiliser le réseau Ionity en France ?" <https://www.automobile-magazine.fr/voitures-electriques/article/28400-recharge-voitures-electriques-qui-peut-utiliser-le-reseau-ionity-en-france>

Autorité des Transports. (2021). "Le transport de voyageurs en France avant COVID-19." <https://www.autorite-transport.fr/wp-content/uploads/2021/12/le-transport-de-voyageurs-en-france-avant-covid19.pdf>

Commissariat Général à la stratégie et à la prospective. (2013). "Pour une politique du stationnement au service des usagers."

<https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/stationnement.pdf>

Houguet, Eric. (13 novembre 2019). "Les véhicules électriques ne tiennent pas la cote sur le marché de l'occasion." La Tribune Auto.

<https://www.latribuneauto.com/reportages/economie/12670-les-vehicules-electriques-ne-tiennent-pas-la-cote-sur-le-marche-de-loccasion>

Numerama. "J'ai parcouru 1 000 km en voiture électrique pendant les vacances pour que vous n'ayez pas à le faire." <https://www.numerama.com/vroom/1355554-jai-parcoursu-1-000-km-en-voiture-electrique-pendant-les-vacances-pour-que-vous-nayez-pas-a-le-faire.html>

Réseau Action Climat. (2014). "Les solutions de mobilité soutenable en milieu rural et périurbain." <https://reseauactionclimat.org/publications/solutionsmobilite-milieu-rural-periurbain/>

Renault Group. "Tout savoir sur la recharge de la Renault Zoé." URL: <https://www.renaultgroup.com/news-onair/actualites/tout-savoir-sur-la-recharge-de-la-renault-zoe/>

Teslamag. (2022) "J'ai payé 50,5€ pour 9 kWh avec ma Renault Zoé, un propriétaire témoigne." <https://www.tesla-mag.com/jai-paye-505e-pour-9kwh-avec-ma-renault-zoe-un-propretaire-temoigne/>

Yves Crozet, Alain Sauvart et Jincheng Ni (2022). "Prospective 2040-2060 des transports et des mobilités - Rapport thématique - Mobilité des personnes." *France stratégie* URL: https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/prospective_2040-2060_des_transports_et_des_mobilites_-rapport_thematique-mobilite_des_personnes-fevrier_2022.pdf

VIII. Annexe

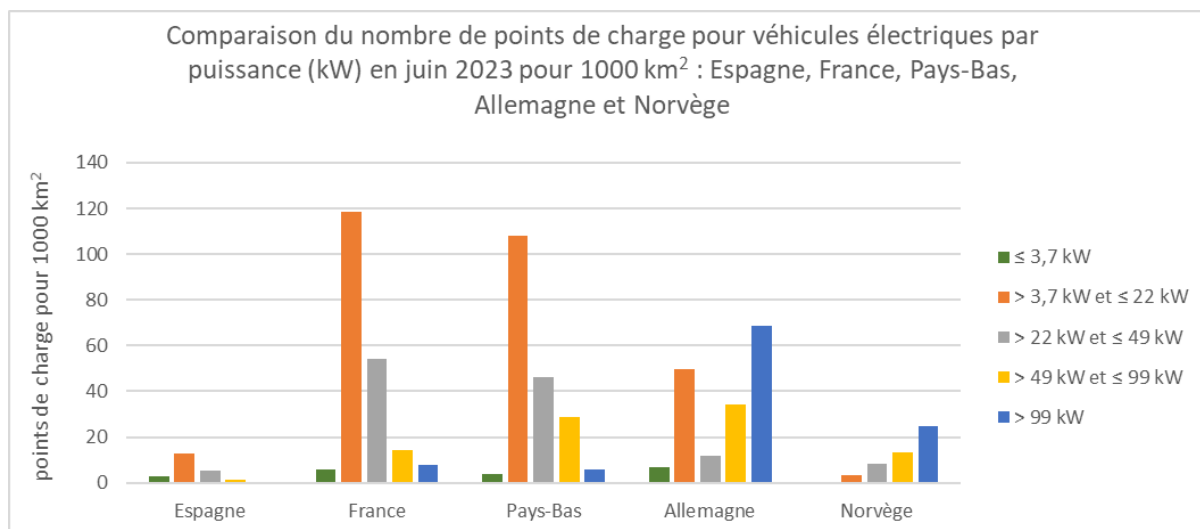


Figure 12 : Comparaison du nombre de points de charge pour véhicules électriques par puissance (kW) en juin 2023 pour 1000 km² : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

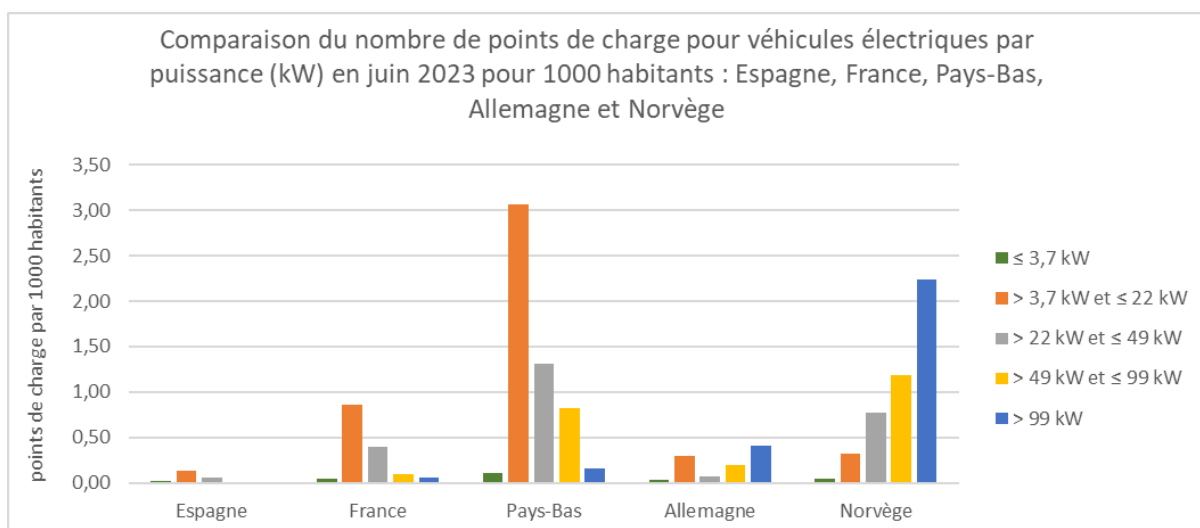
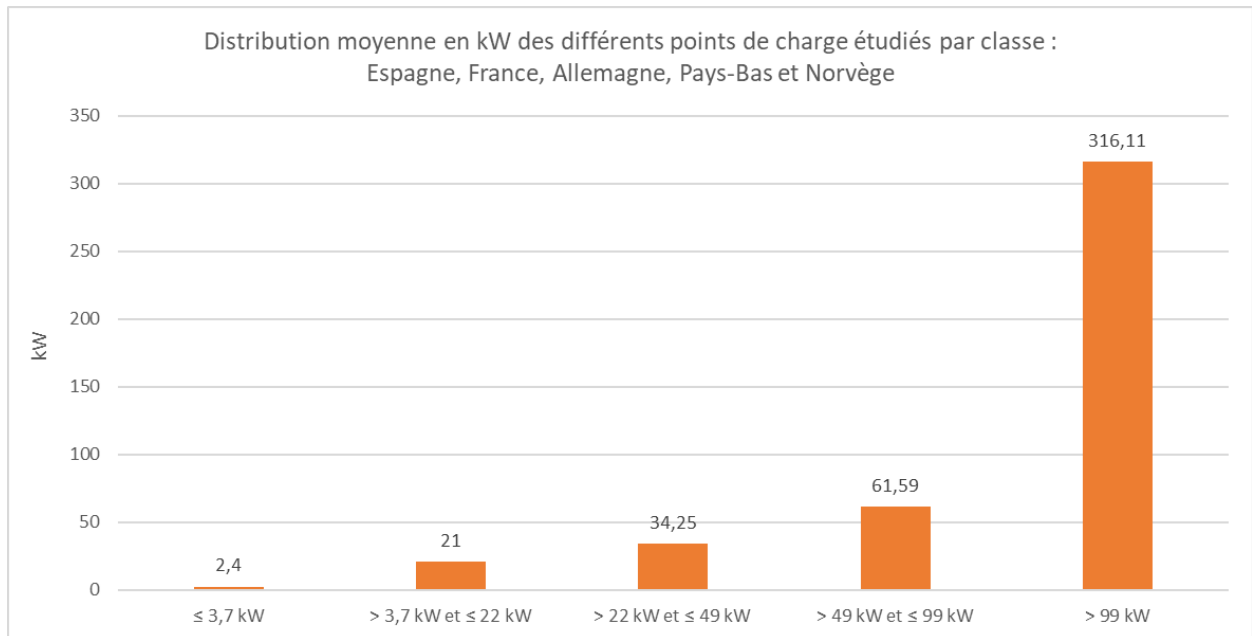


Figure 13 : Comparaison du nombre de points de charge pour véhicules électriques par puissance (kW) en juin 2023 pour 1000 habitants : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice



**Figure 14 : Distribution moyenne en kW des différents points de charge étudiés par classe :
Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège**
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

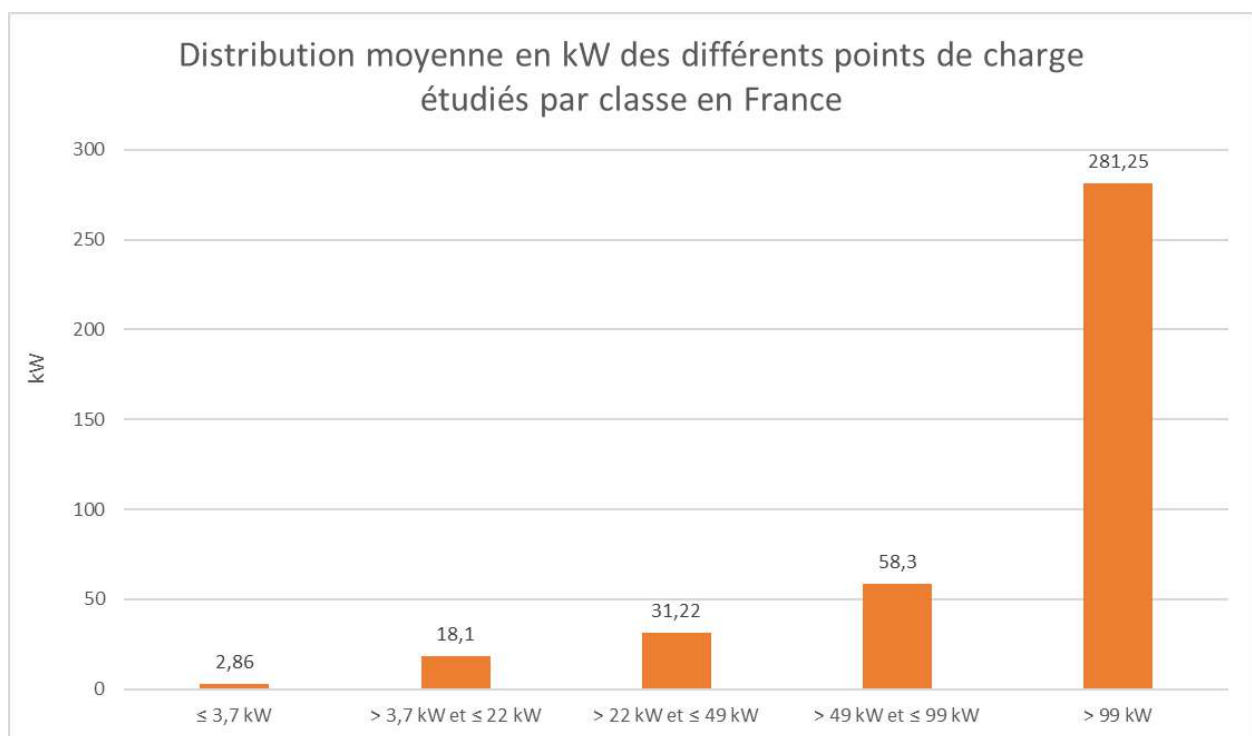


Figure 15 : Distribution moyenne en kW des différents points de charge étudiés par classe en France
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

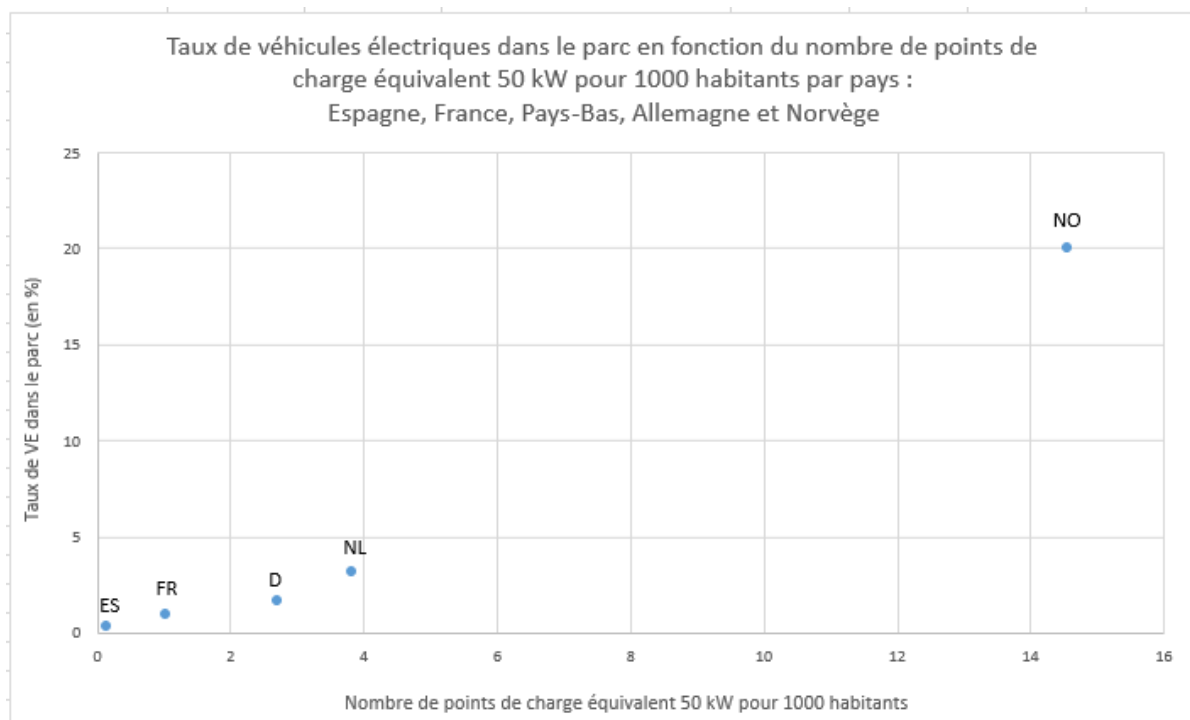


Figure 16 : Taux de véhicules électriques dans le parc en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW pour 1000 habitants par pays : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

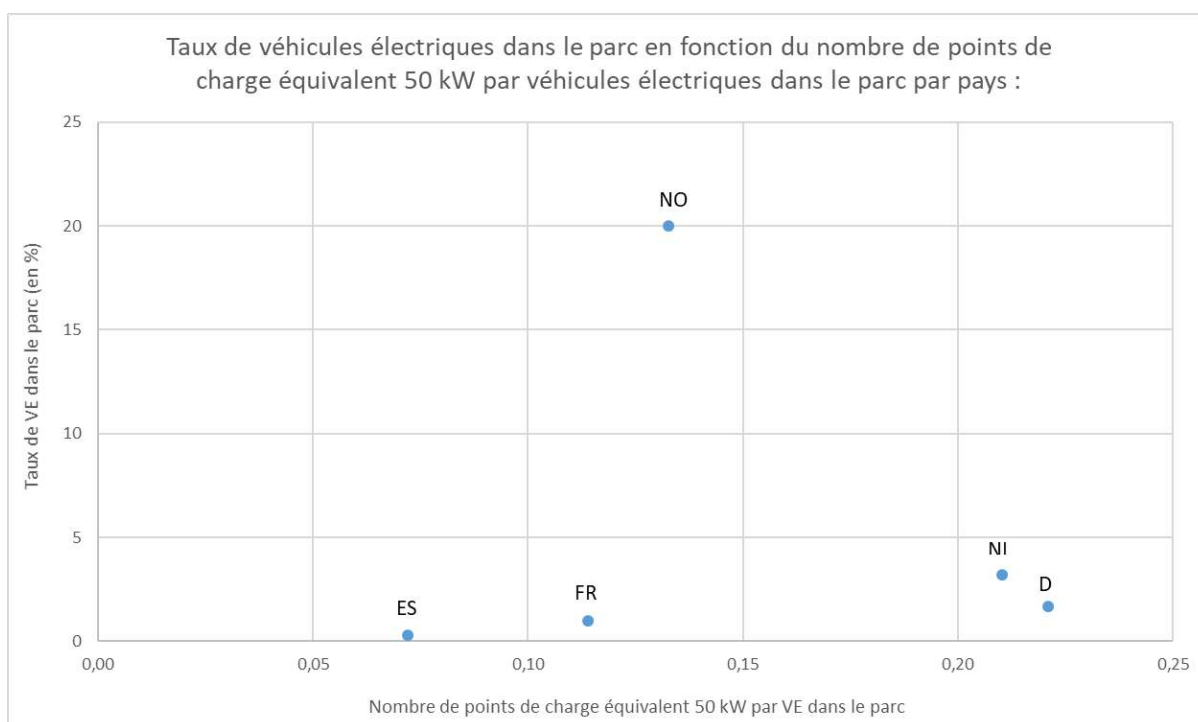


Figure 17 : Taux de véhicules électriques dans le parc en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW par véhicules électriques dans le parc par pays : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

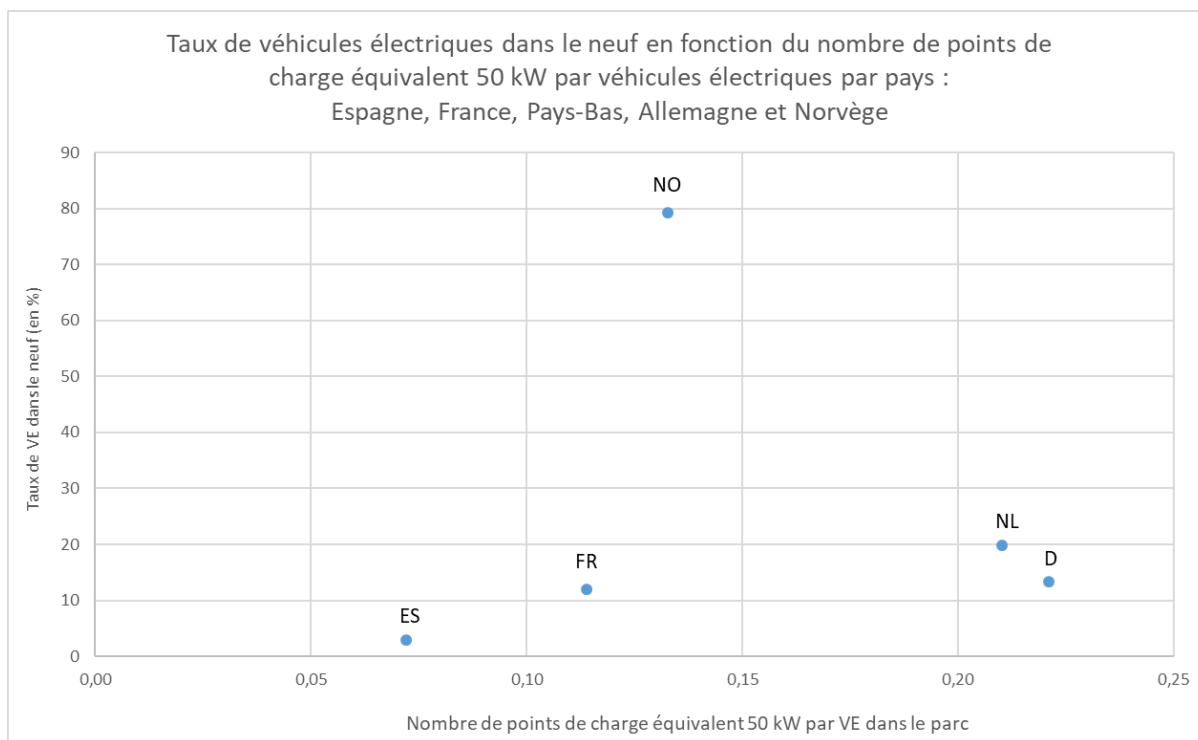


Figure 18 : Taux de véhicules électriques dans le neuf en fonction du nombre de points de charge équivalent 50 kW par véhicules électriques dans le parc par pays : Espagne, France, Pays-Bas, Allemagne et Norvège
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice

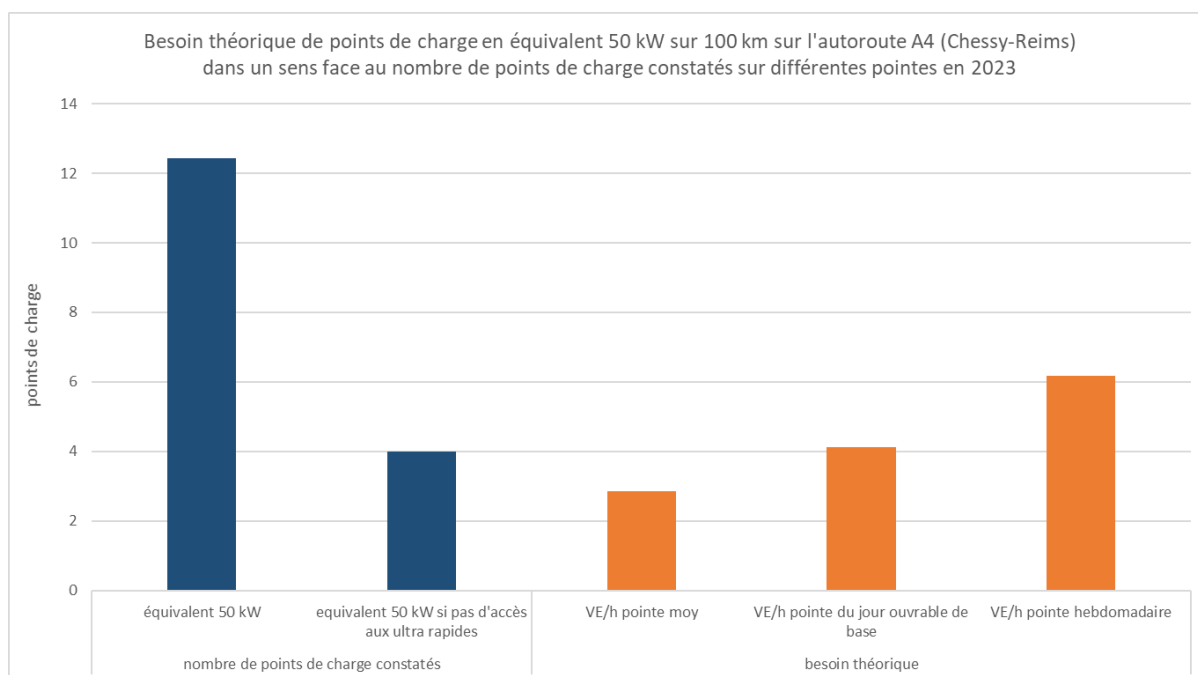


Figure 19 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 kW sur 100 km sur l'autoroute A4 (Chessy-Reims) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023
Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

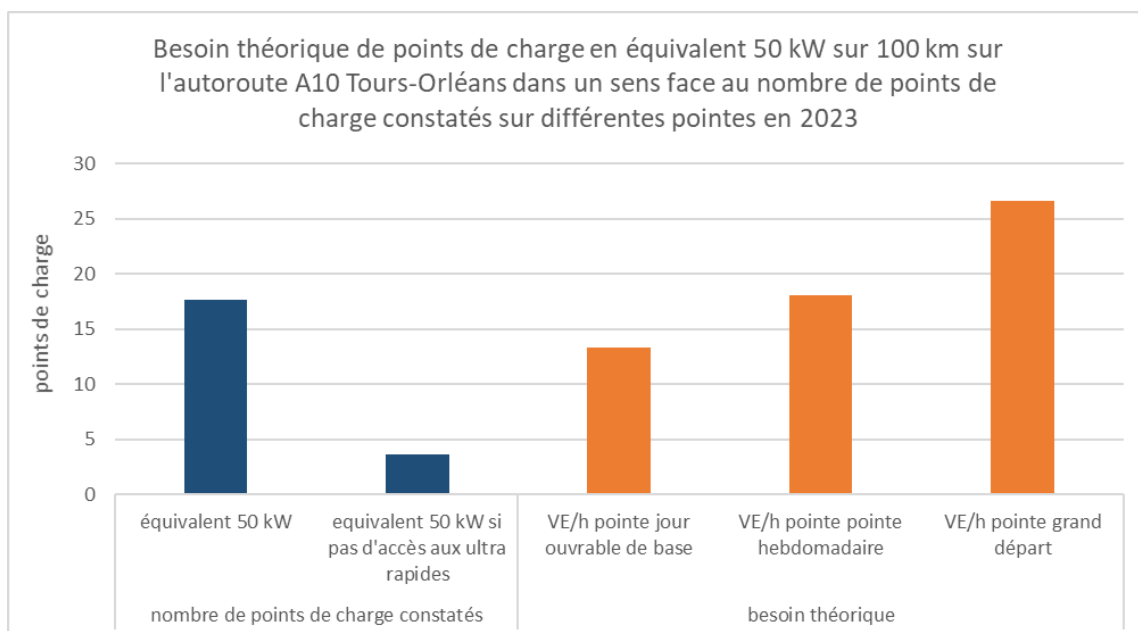


Figure 20 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 sur 100 km sur l'autoroute A10 (Tours-Orléans) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023
 Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

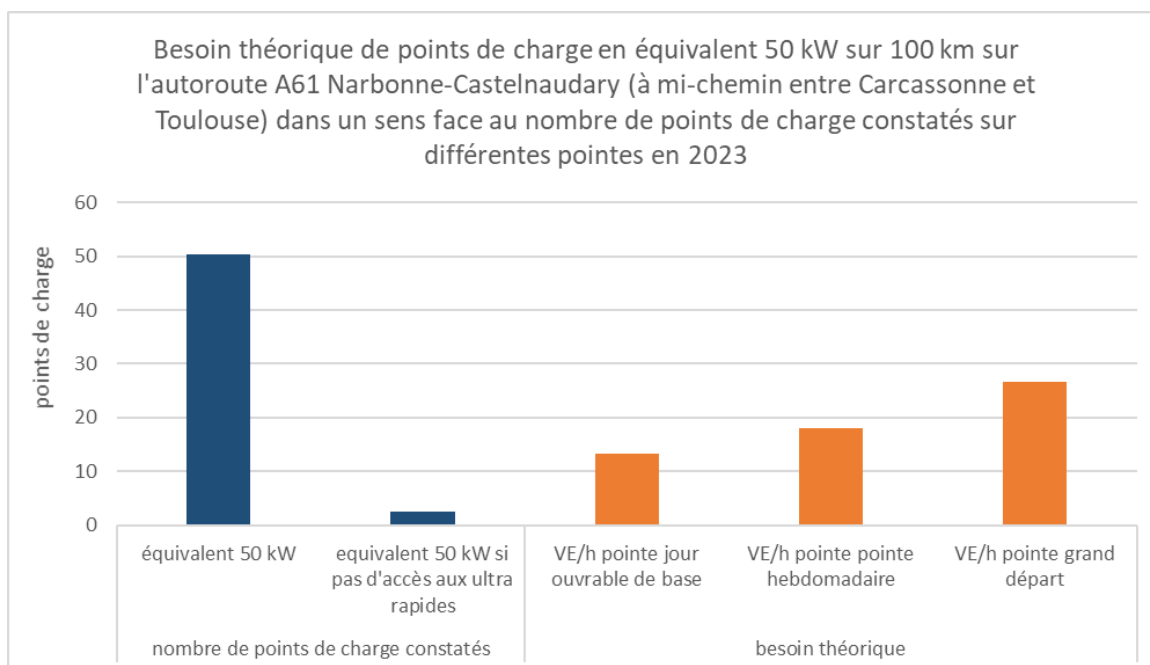


Figure 21 : Besoin théorique de points de charge en équivalent 50 kW sur 100 km sur l'autoroute A61 Narbonne-Castelnaudary (à mi-chemin entre Carcassonne et Toulouse) dans un sens face au nombre de points de charge constatés sur différentes pointes en 2023
 Source : Open charge map, plugshare et chargeprice (databases charging points) données ART 2019 (ratio besoin charges rapides / charges totales) “Carte de recensement de la circulation sur les routes nationales et autoroutes 1999 by Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement and Setra” (Calcul TMJA 2023 dans les 2 sens)

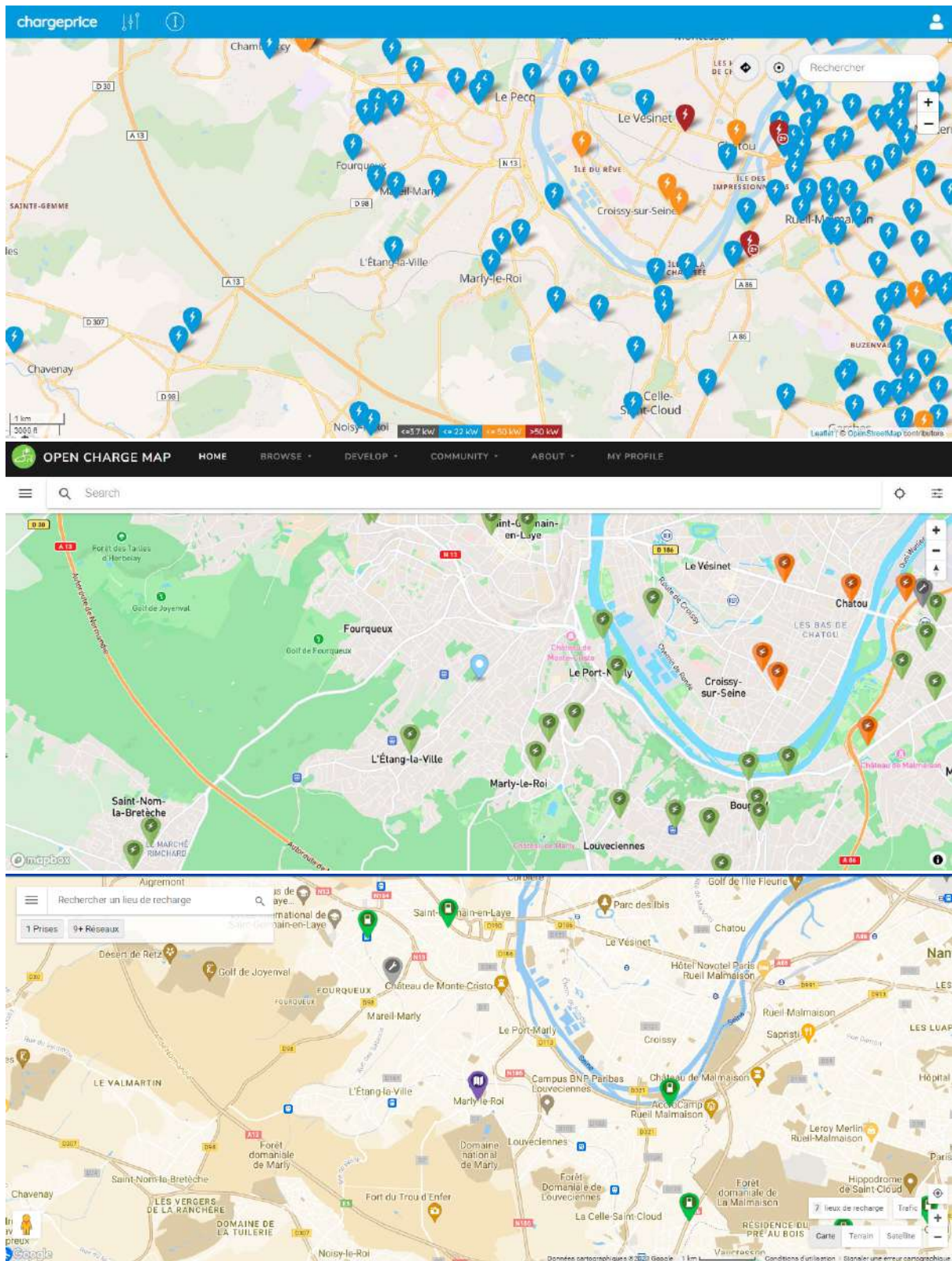


figure 22 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région parisienne
Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

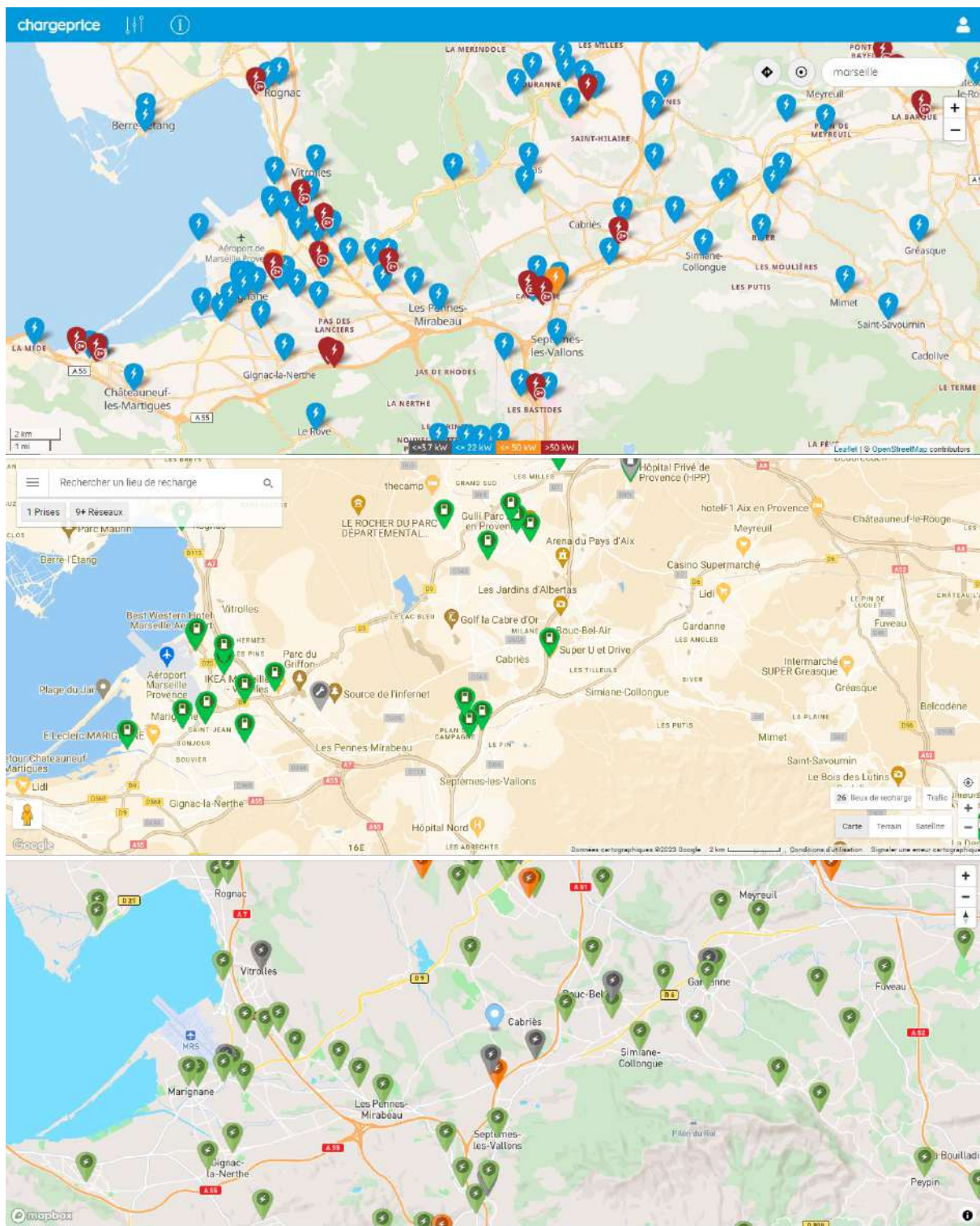


figure 23 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région marseillaise

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

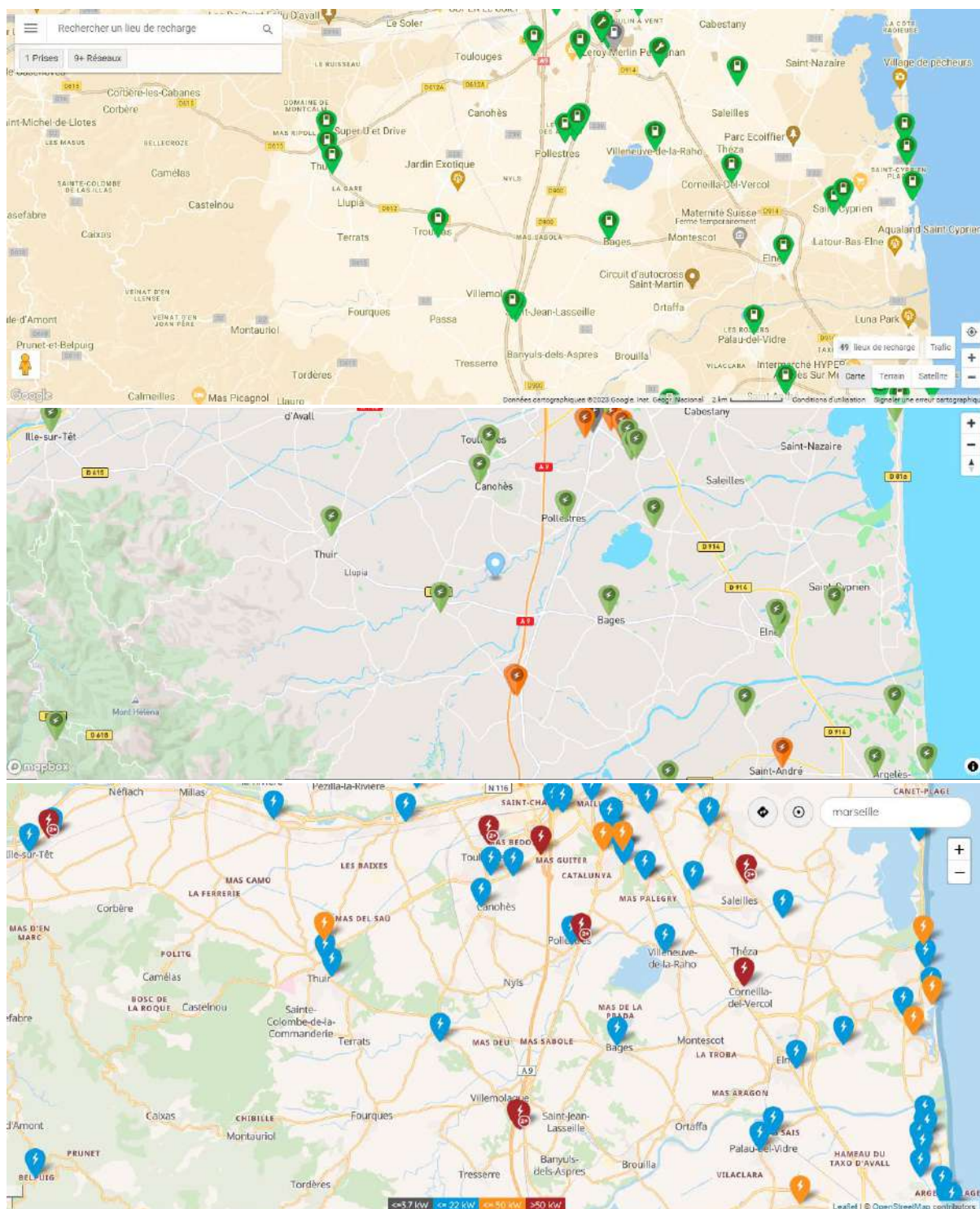


figure 24 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région perpignanaise
Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

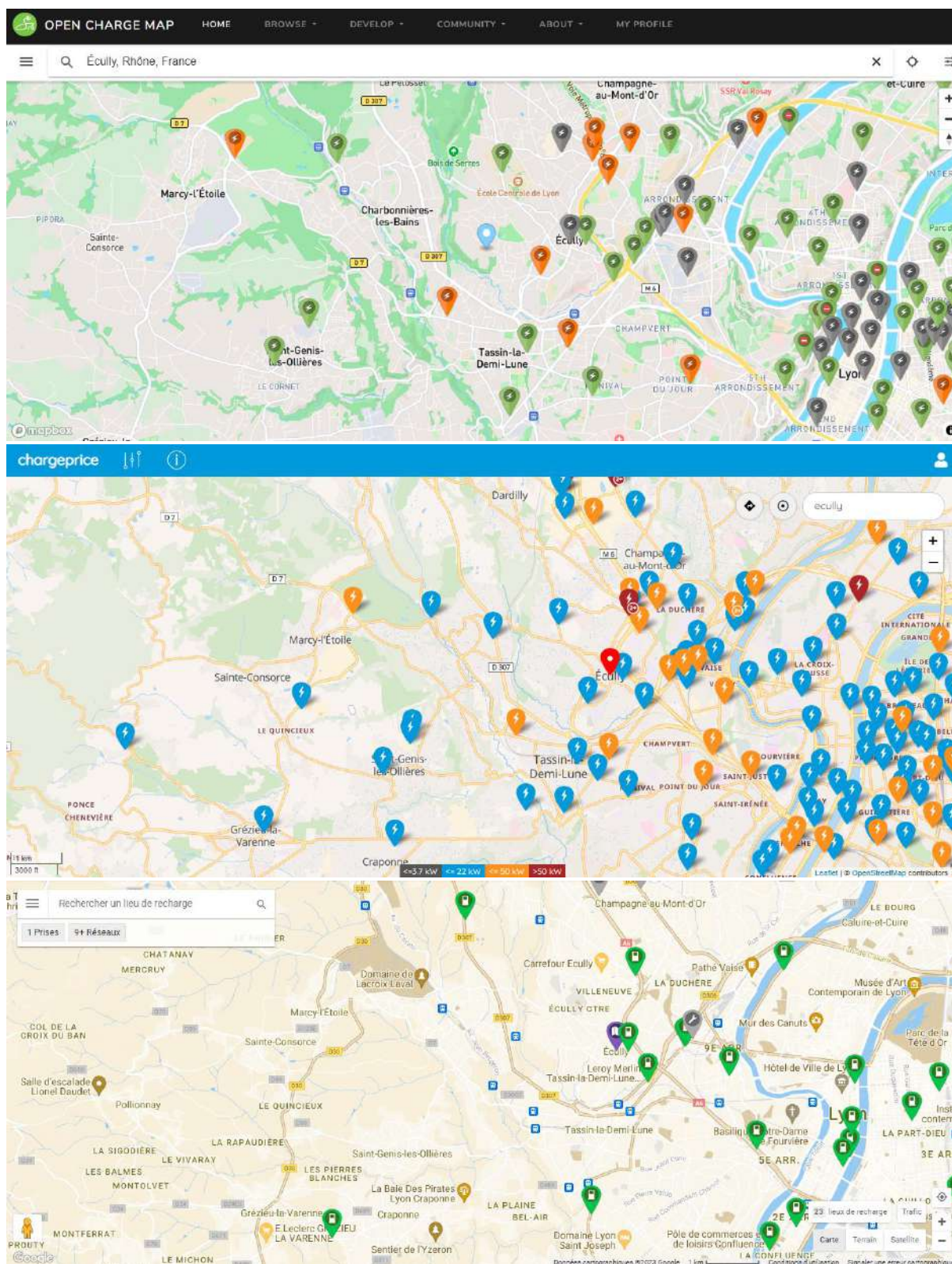


figure 25 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région lyonnaise

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

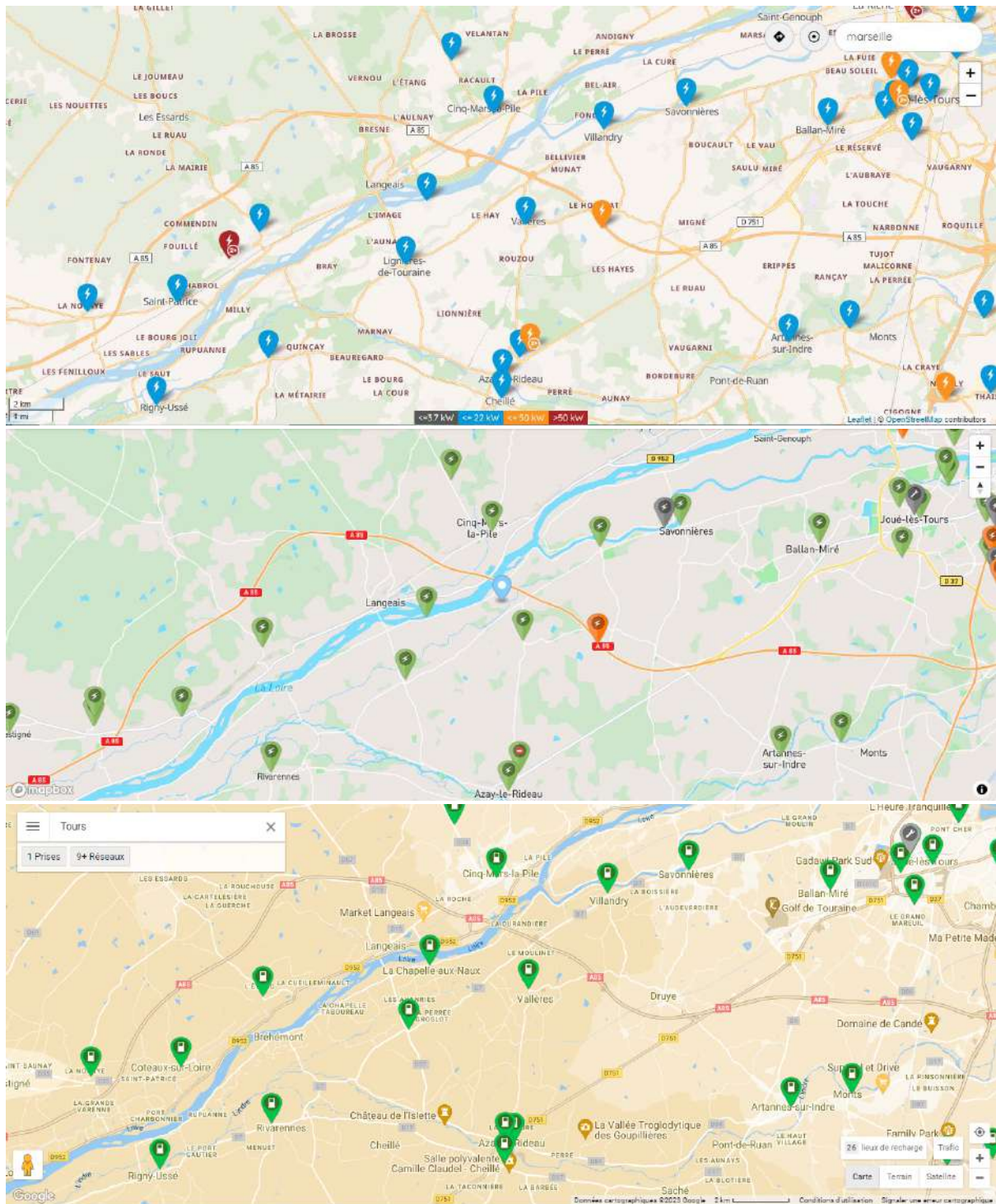


figure 26 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région tourangelle

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

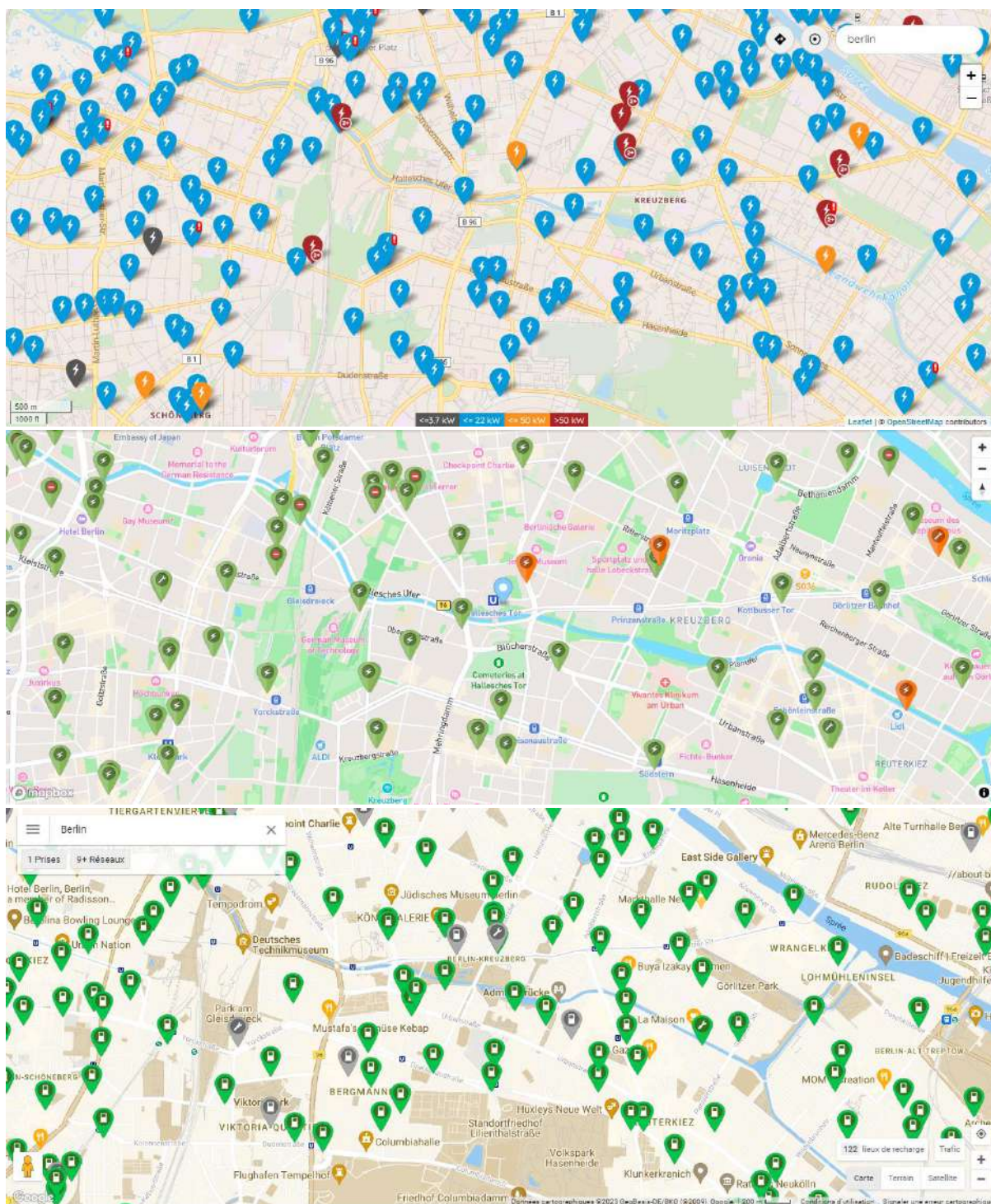


figure 27 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Berlin, Allemagne

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

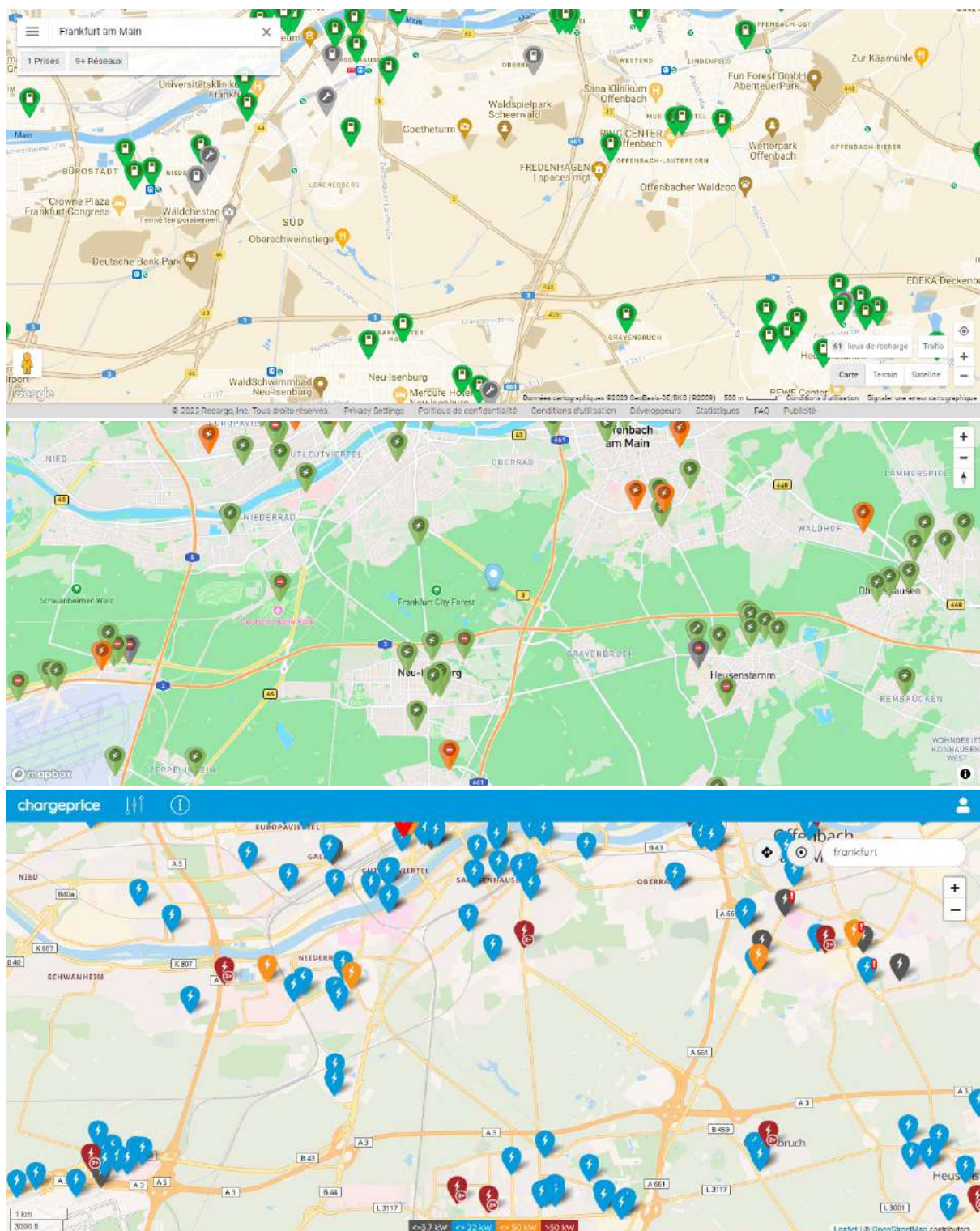


figure 28 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Frankfurt, Allemagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

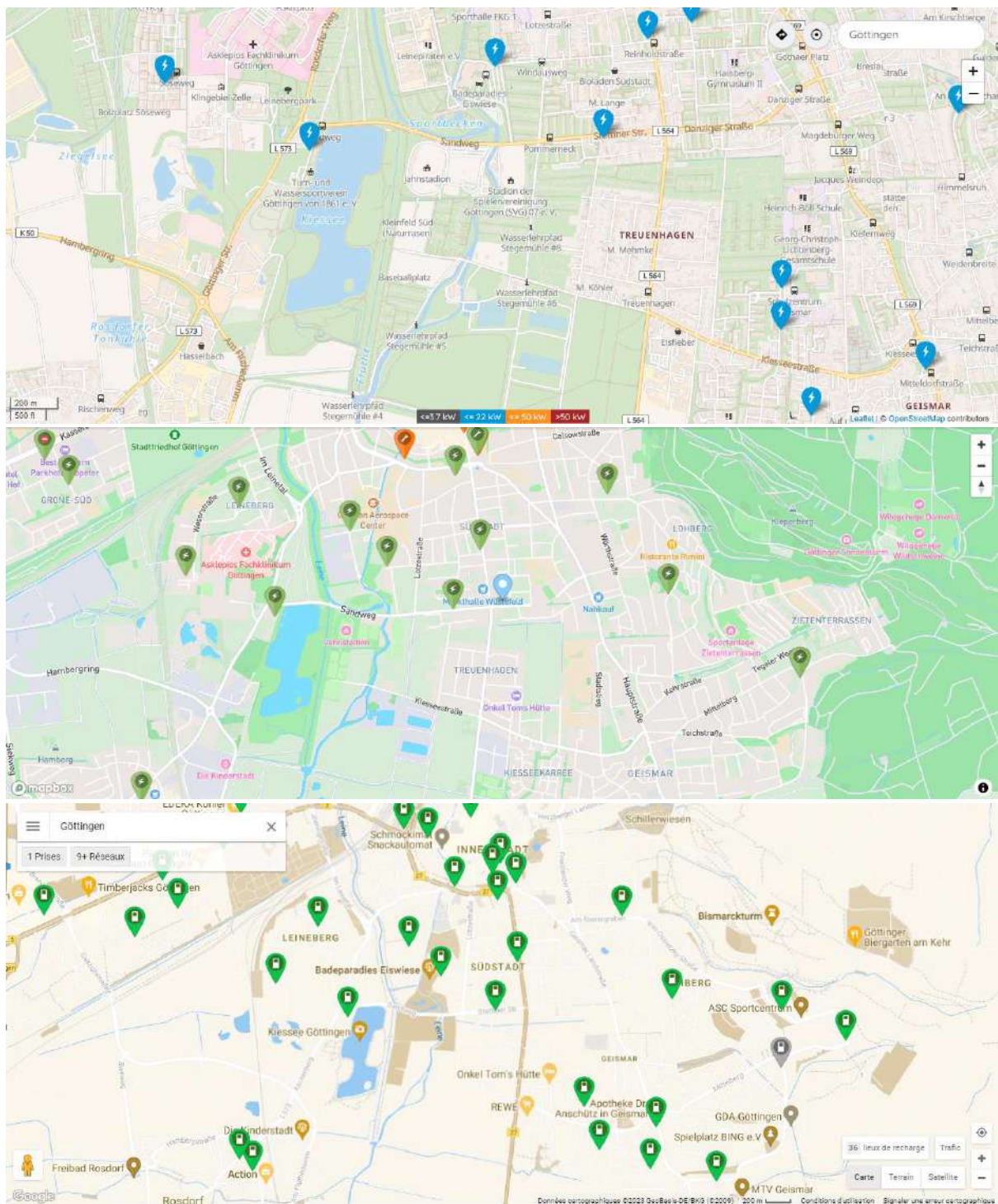


figure 29 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Göttingen, Allemagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

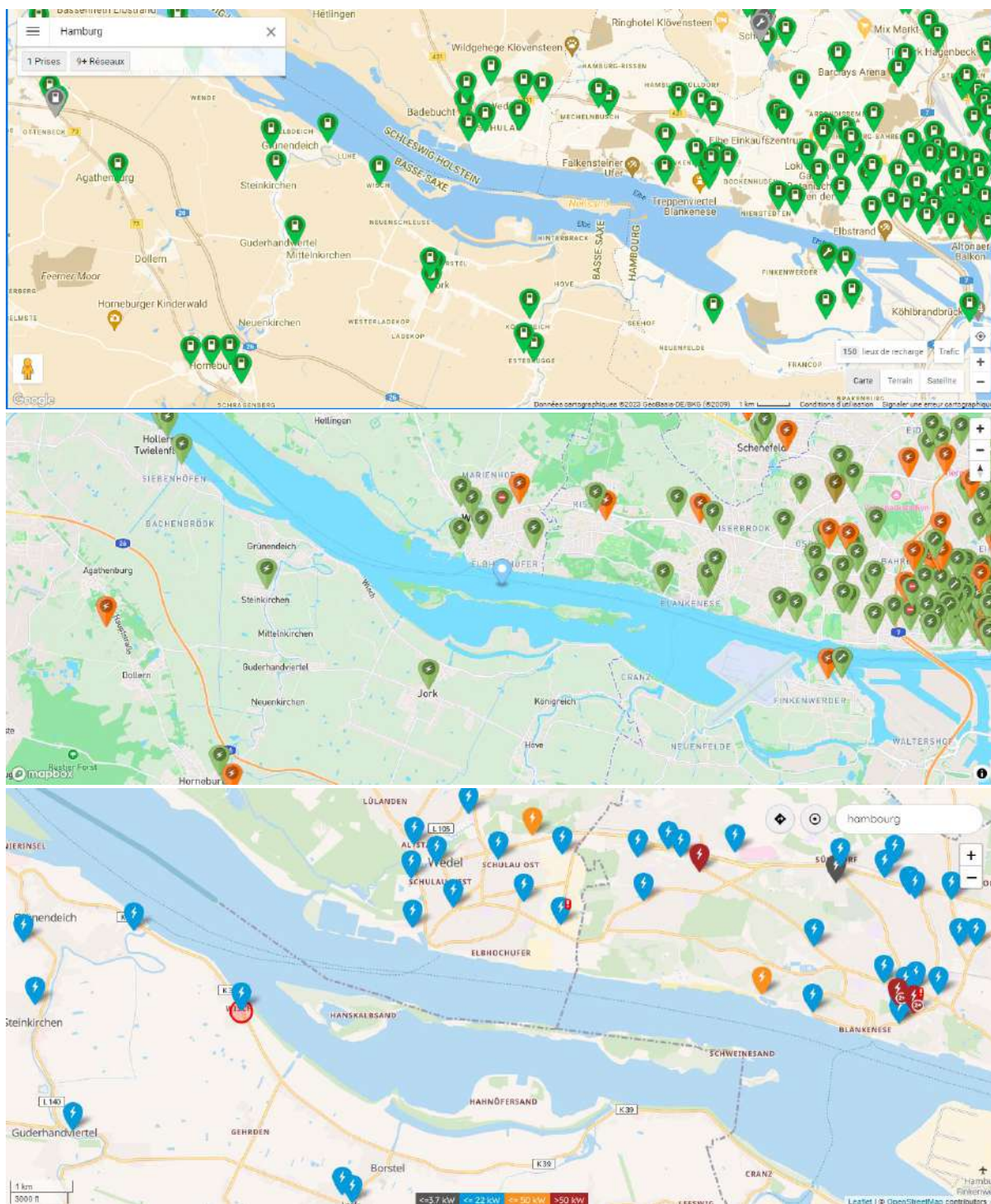


figure 30 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Hambourg, Allemagne
Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

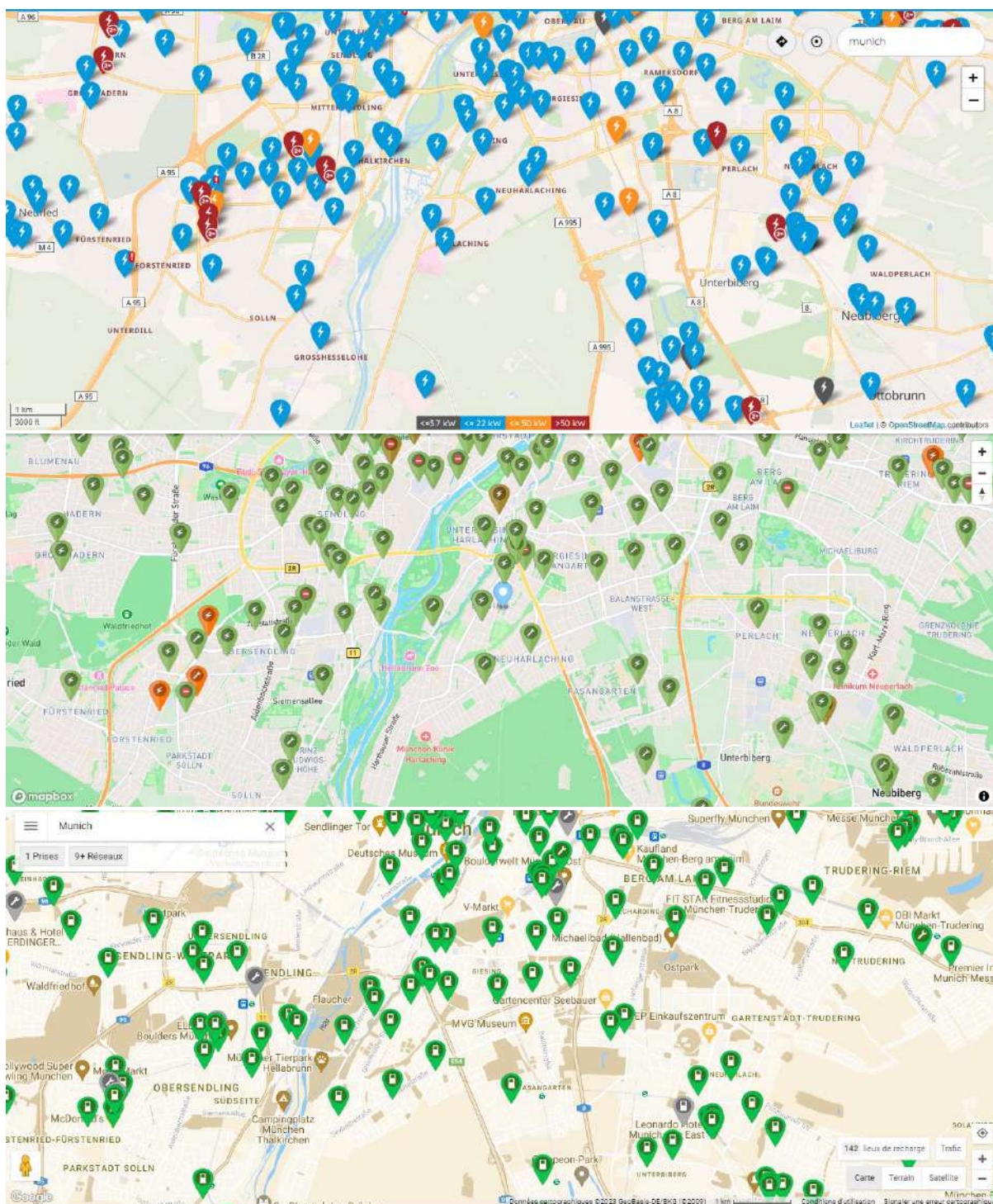


figure 31 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Munich, Allemagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

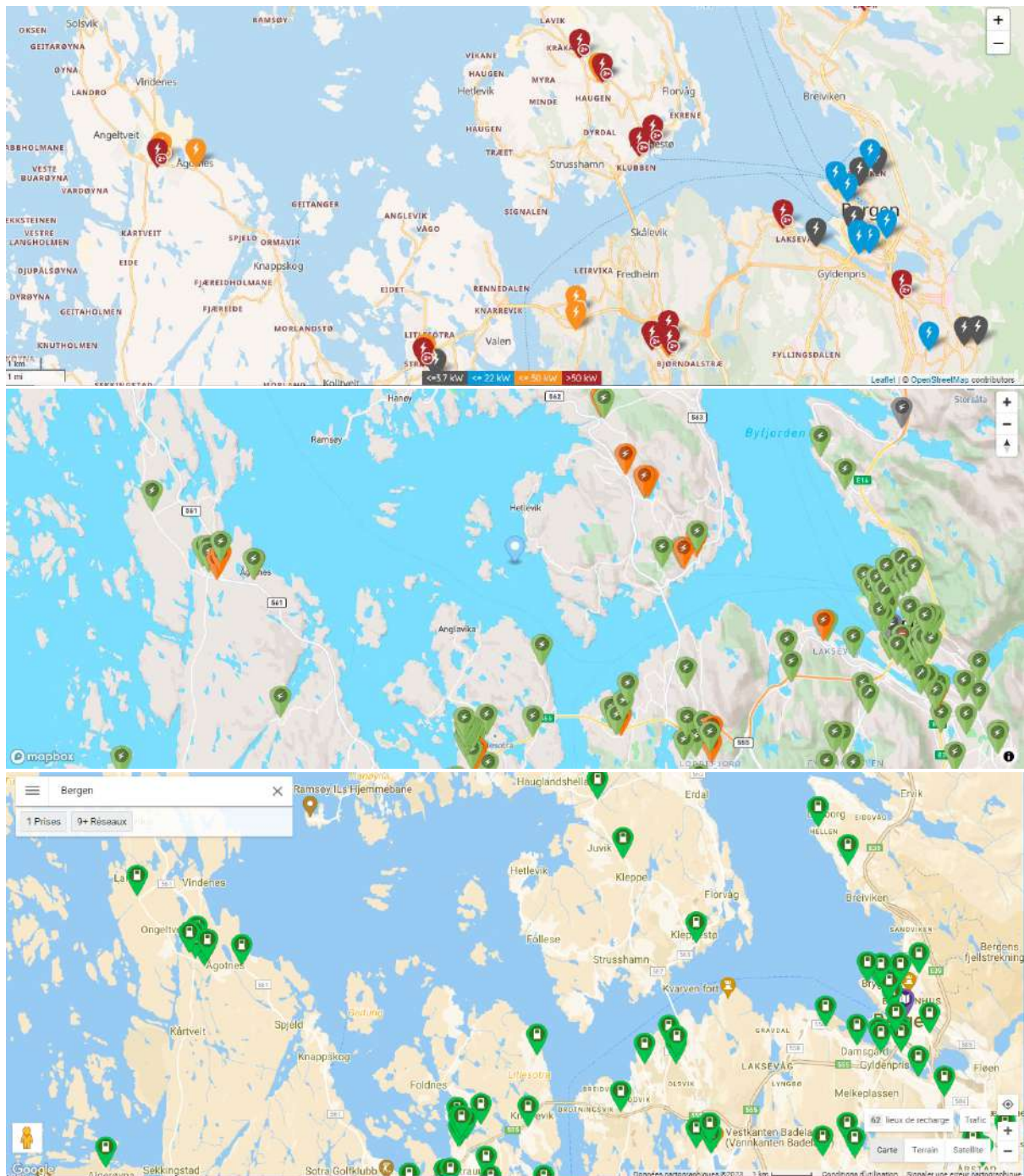


figure 32 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Bergen, Norvège

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

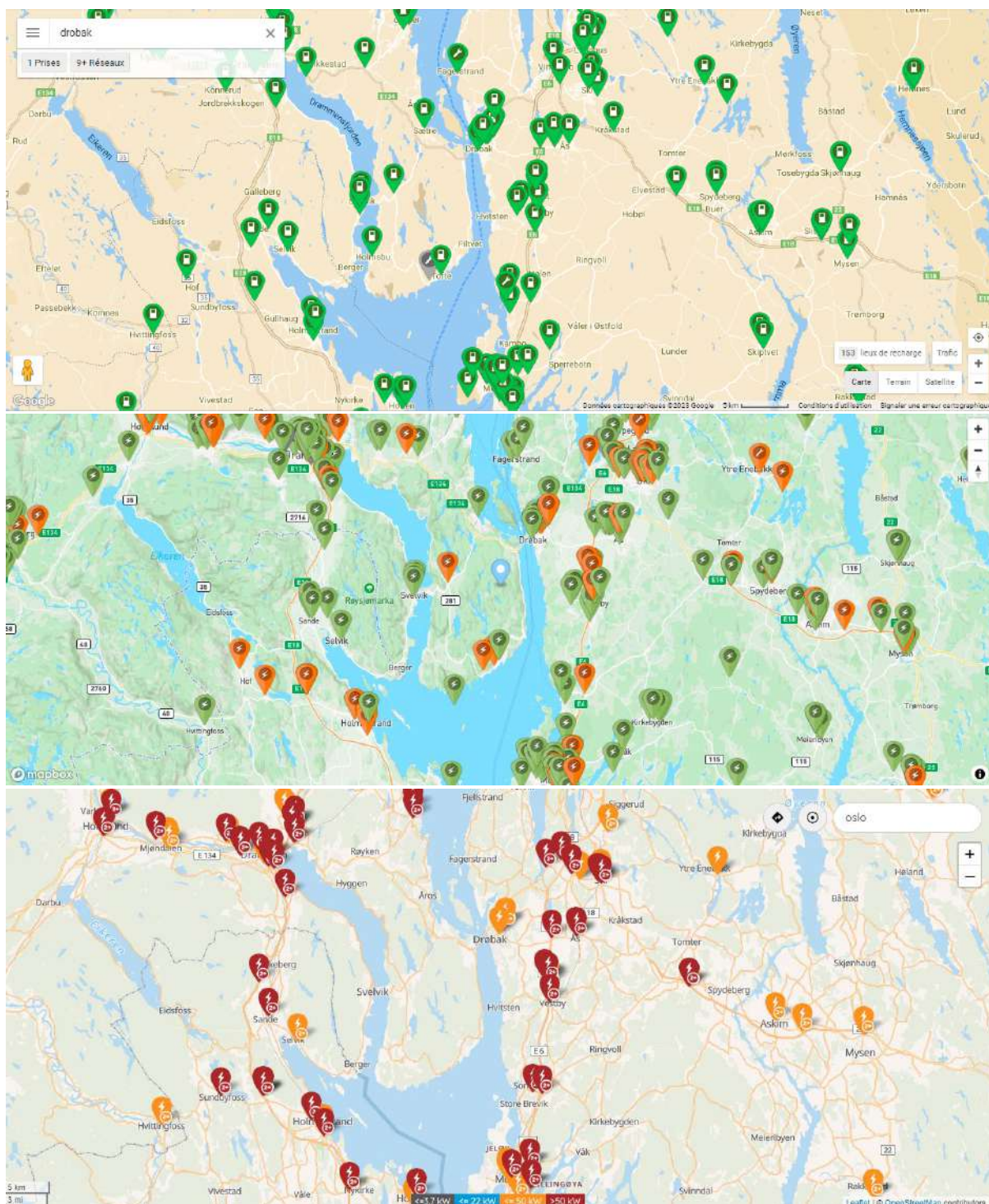


figure 33 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Drøbak, Norvège

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

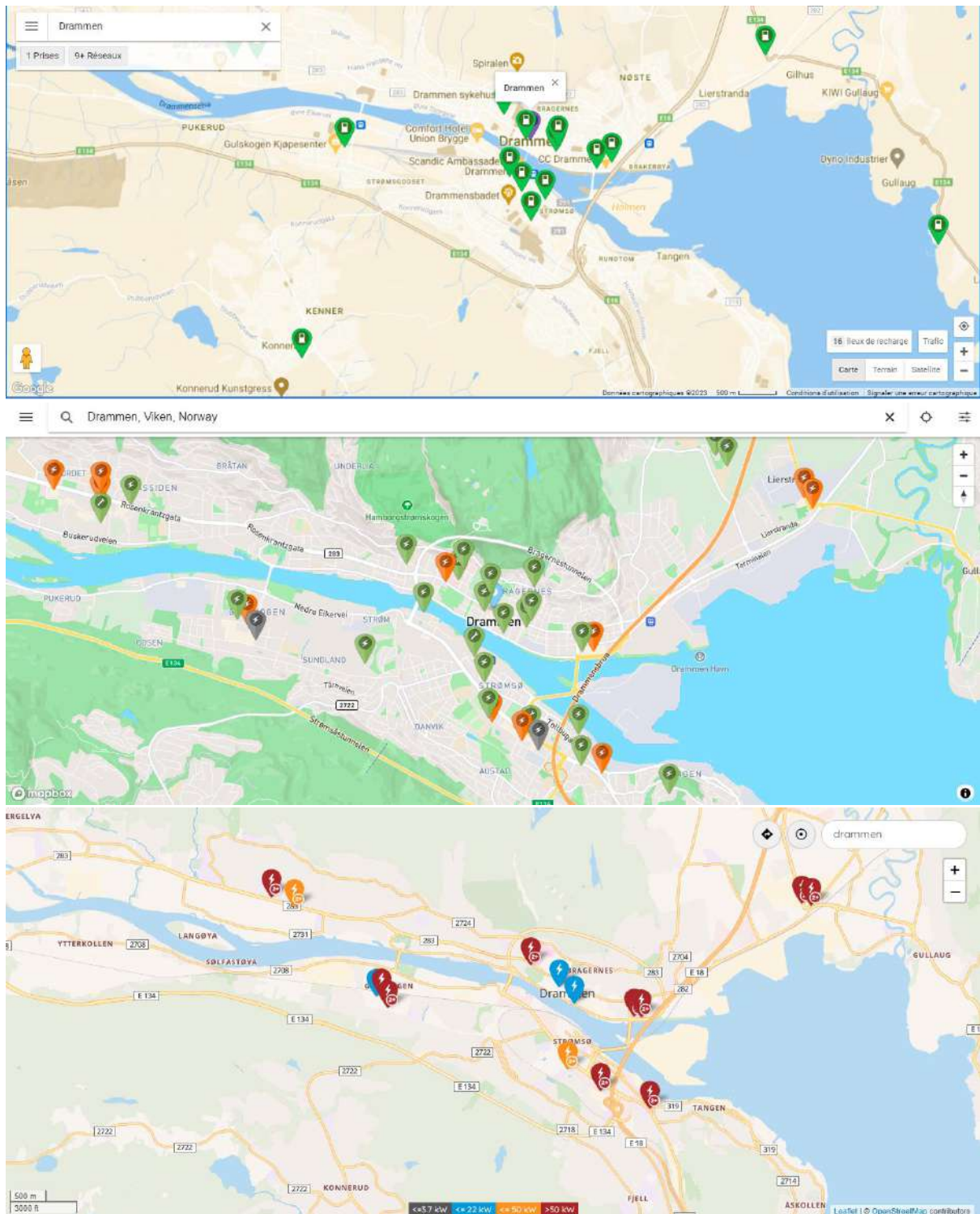


figure 34 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Drammen, Norvège

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

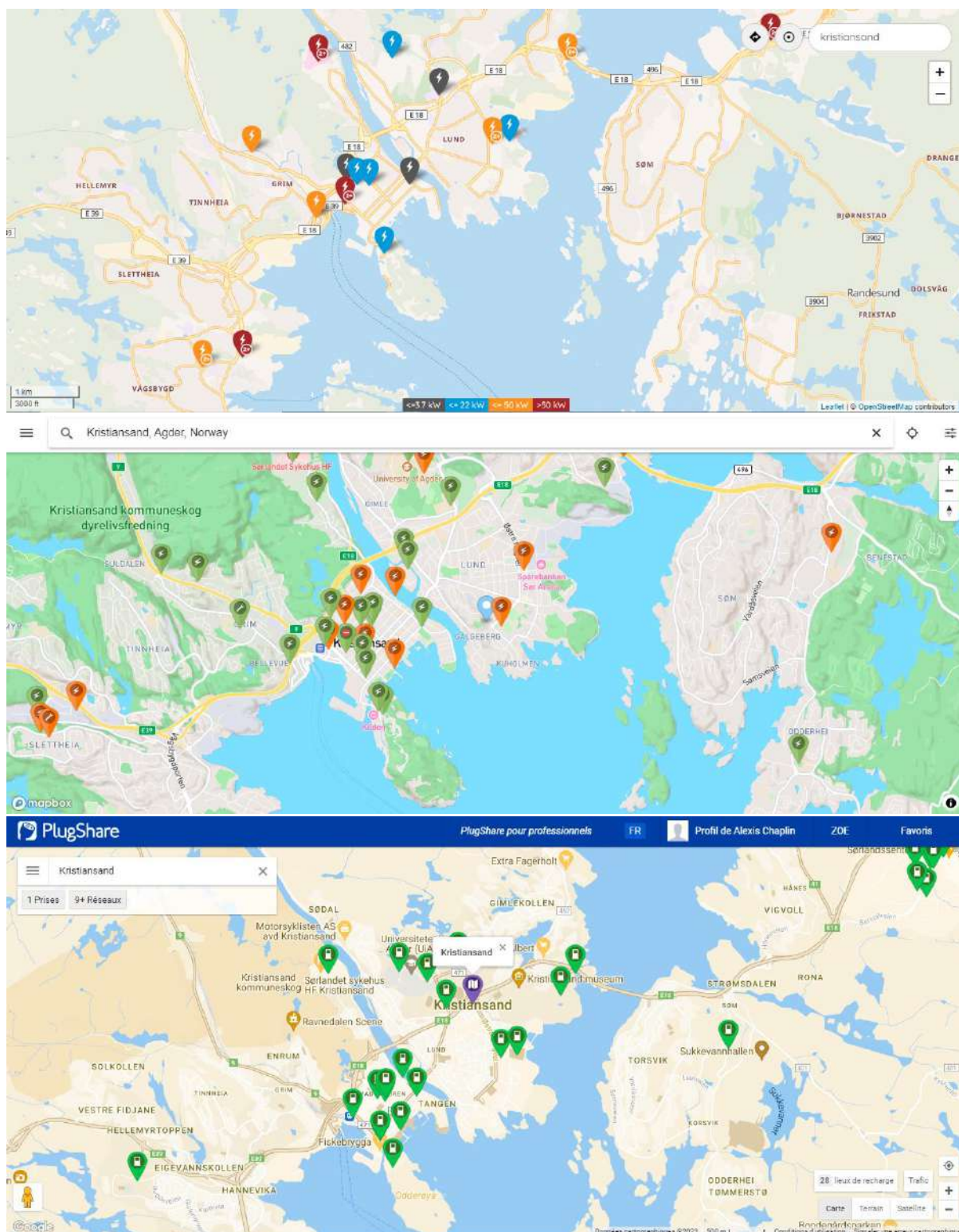


figure 35 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Kristiansand, Norvège

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

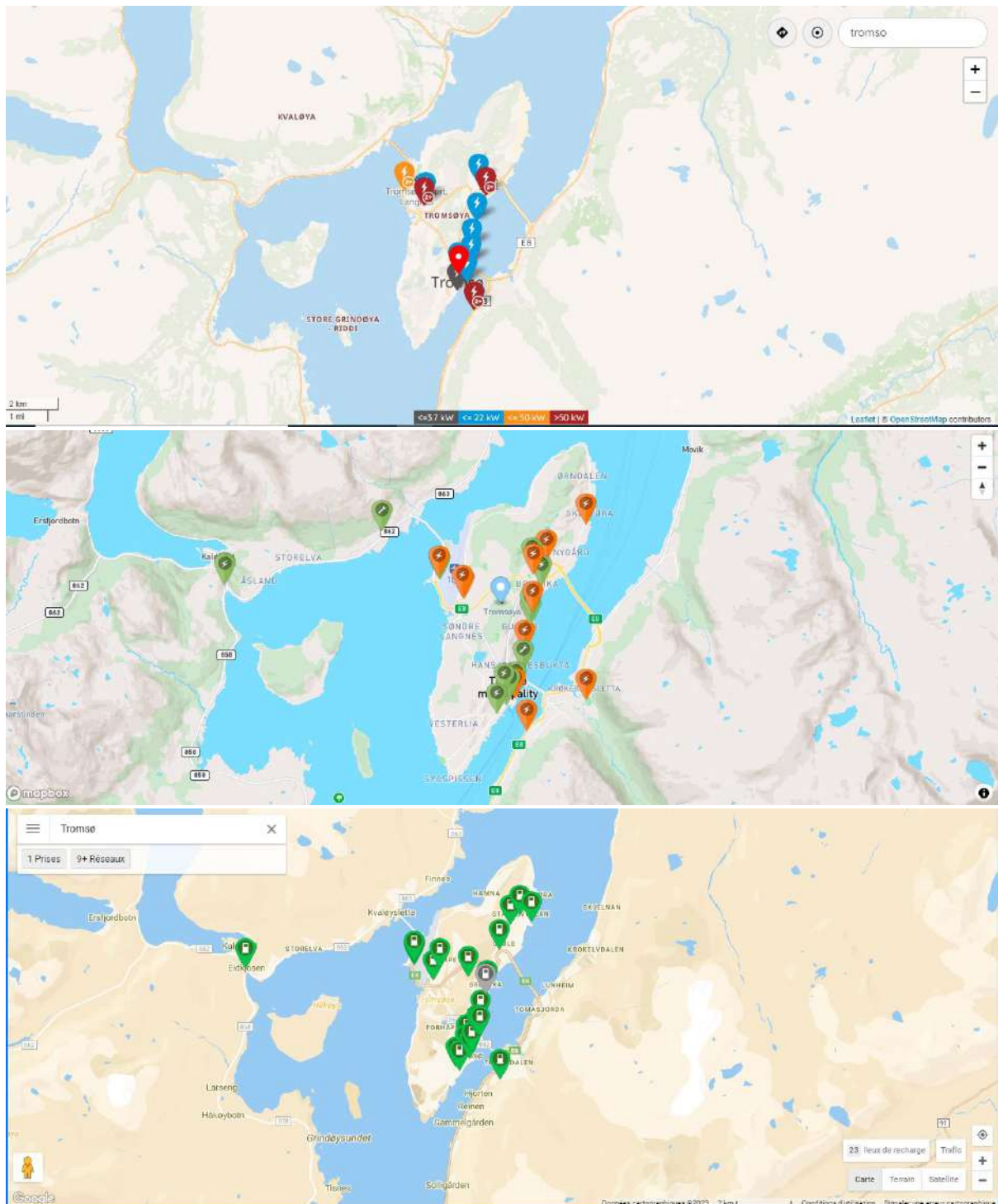


figure 36 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Tromsø, Norvège
Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

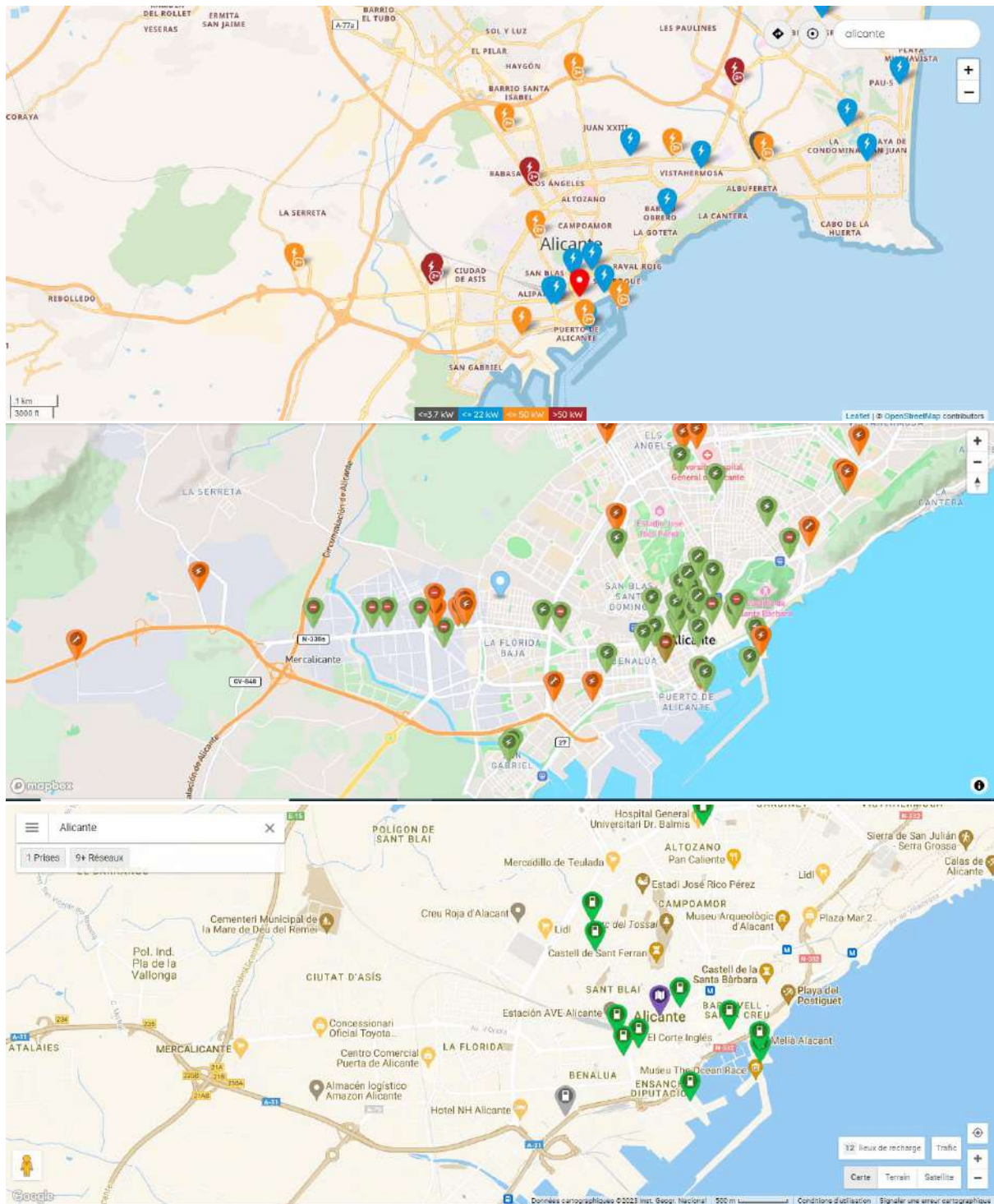


figure 37 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région d'Alicante, Espagne

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

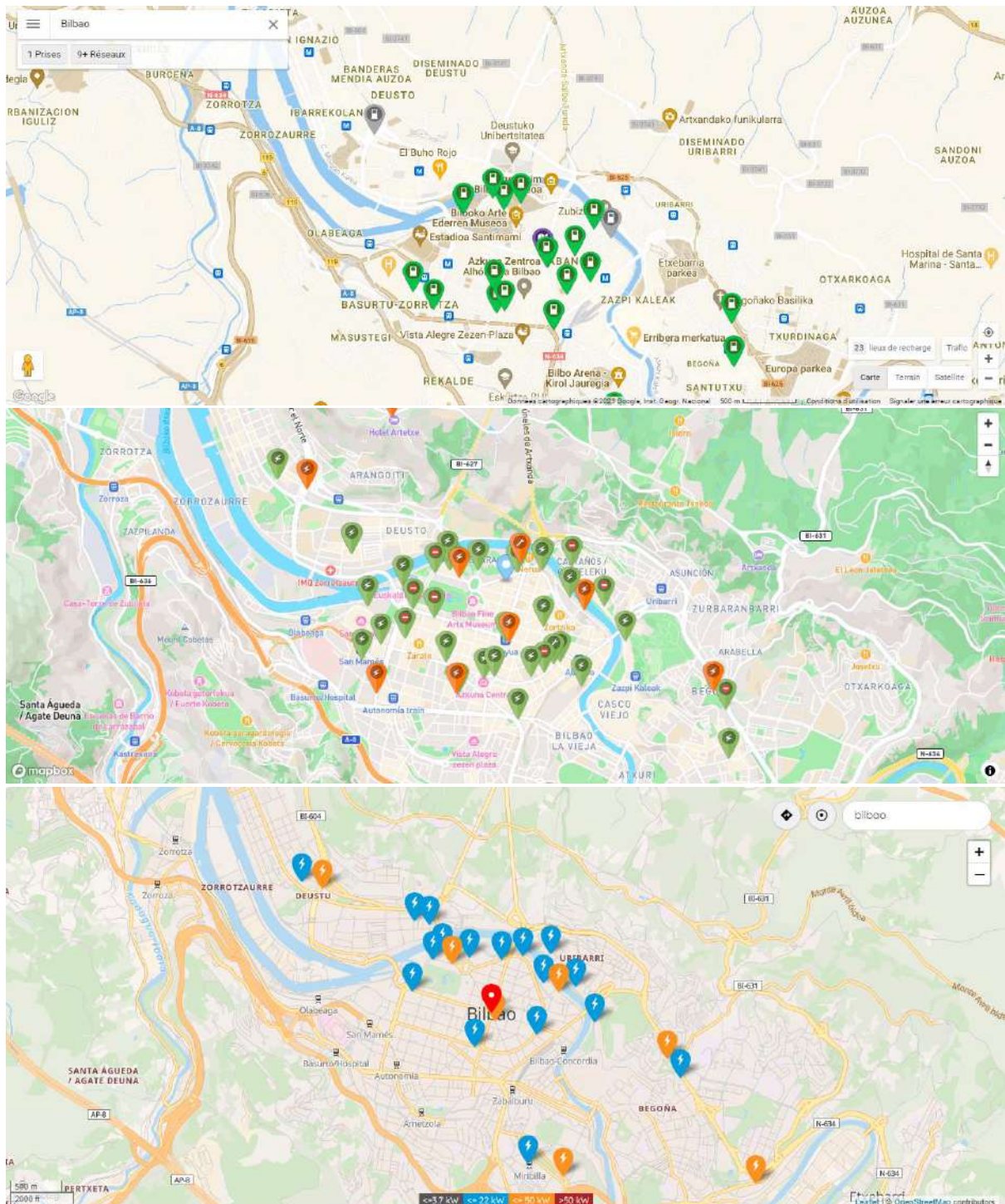


figure 38 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Bilbao, Espagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

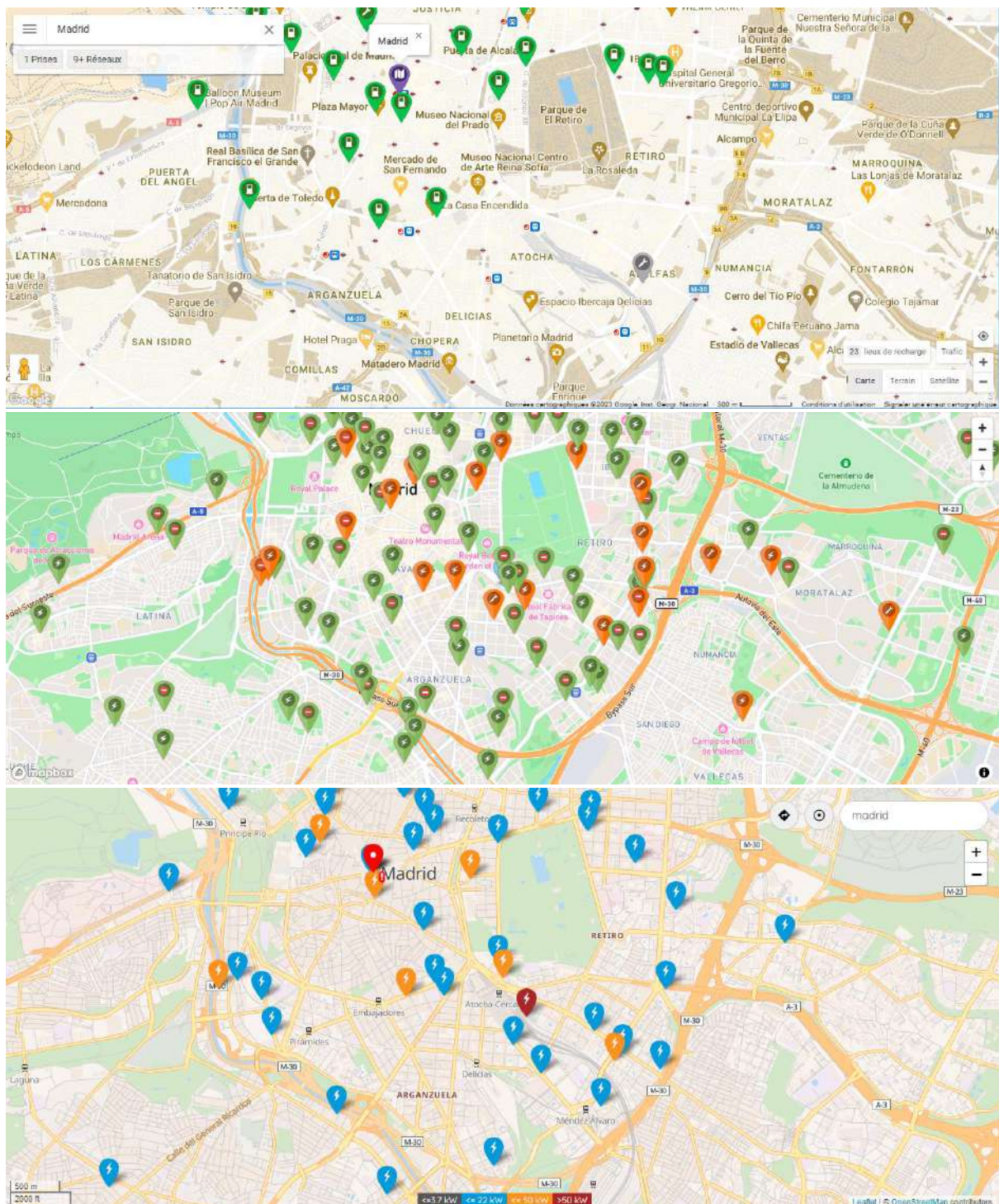


figure 39 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Madrid, Espagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map



figure 40 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Santander, Espagne
Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

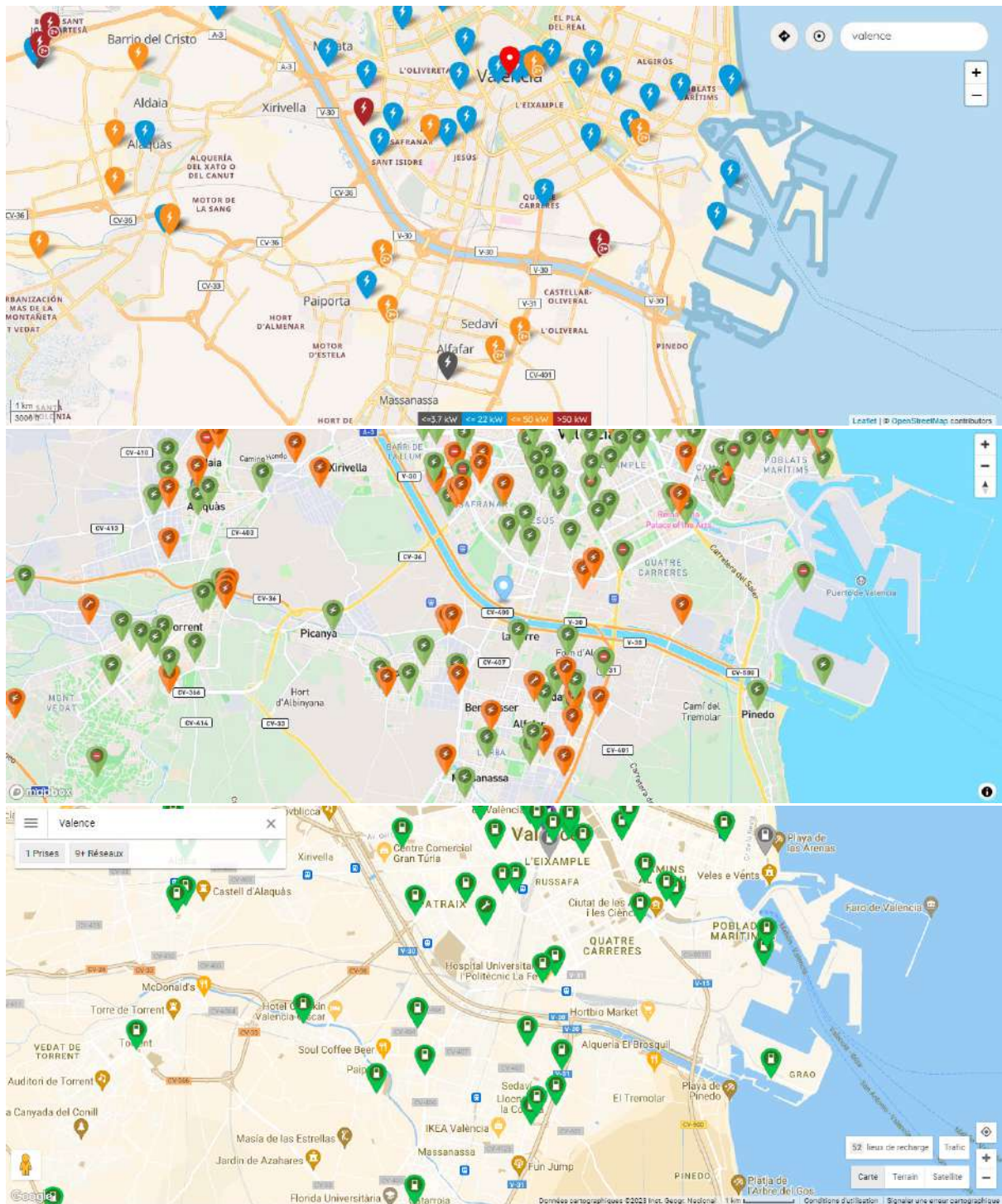


figure 41 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Vanlence, Espagne

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

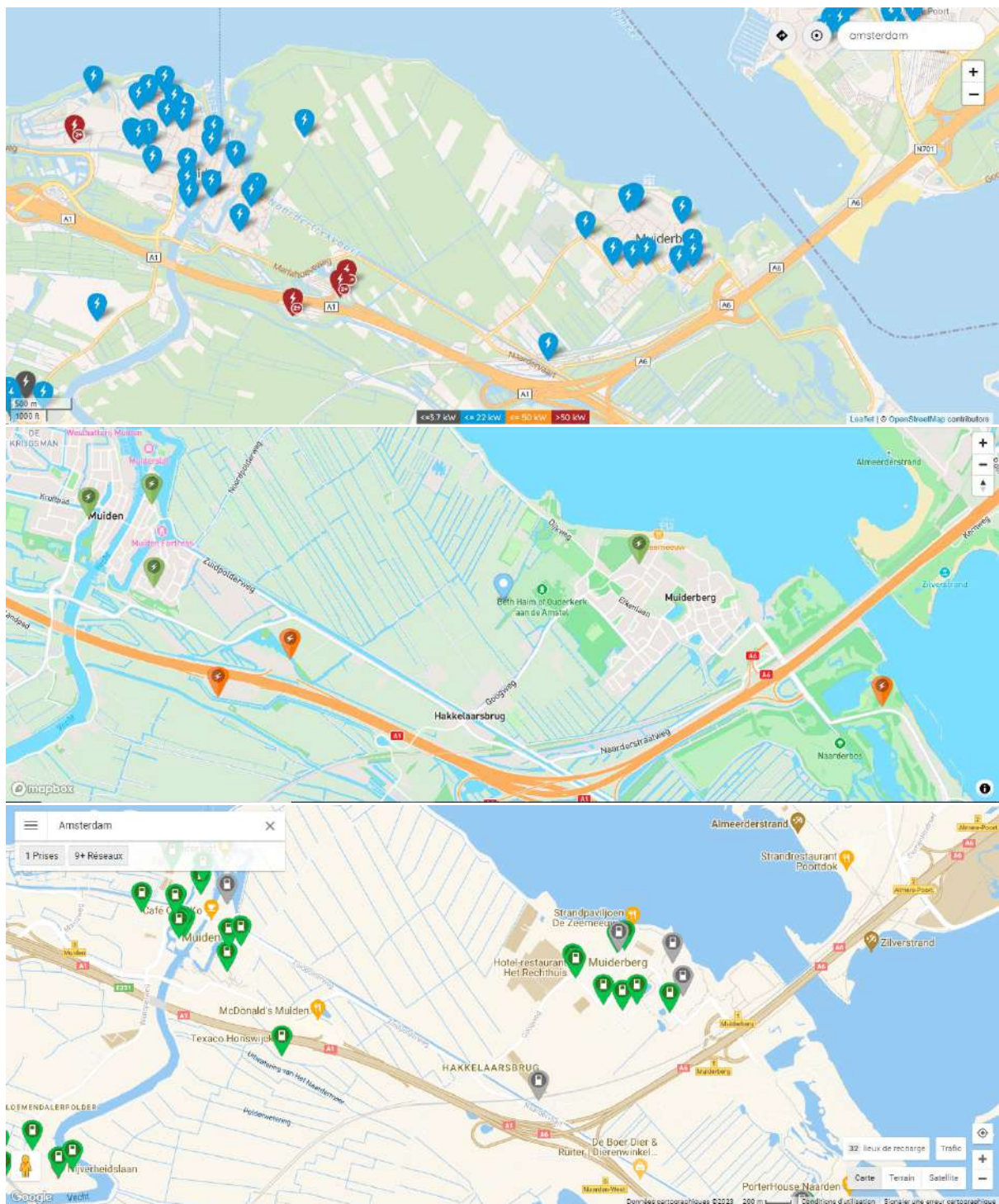


figure 42 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région d'Amsterdam, Pays-Bas

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

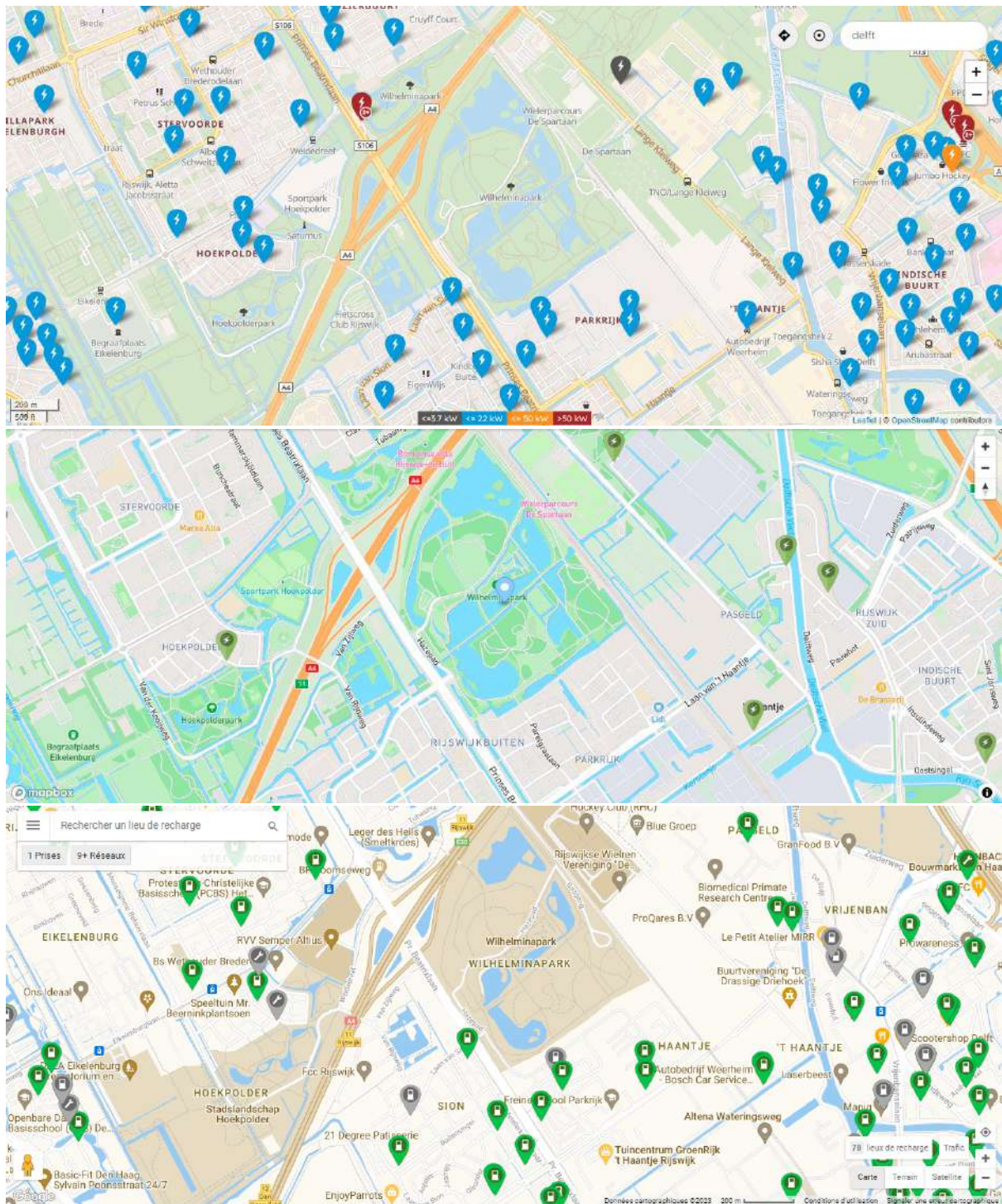


figure 43 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Delft, Pays-Bas

Source : chargeprice, plusgshare et Open charge map

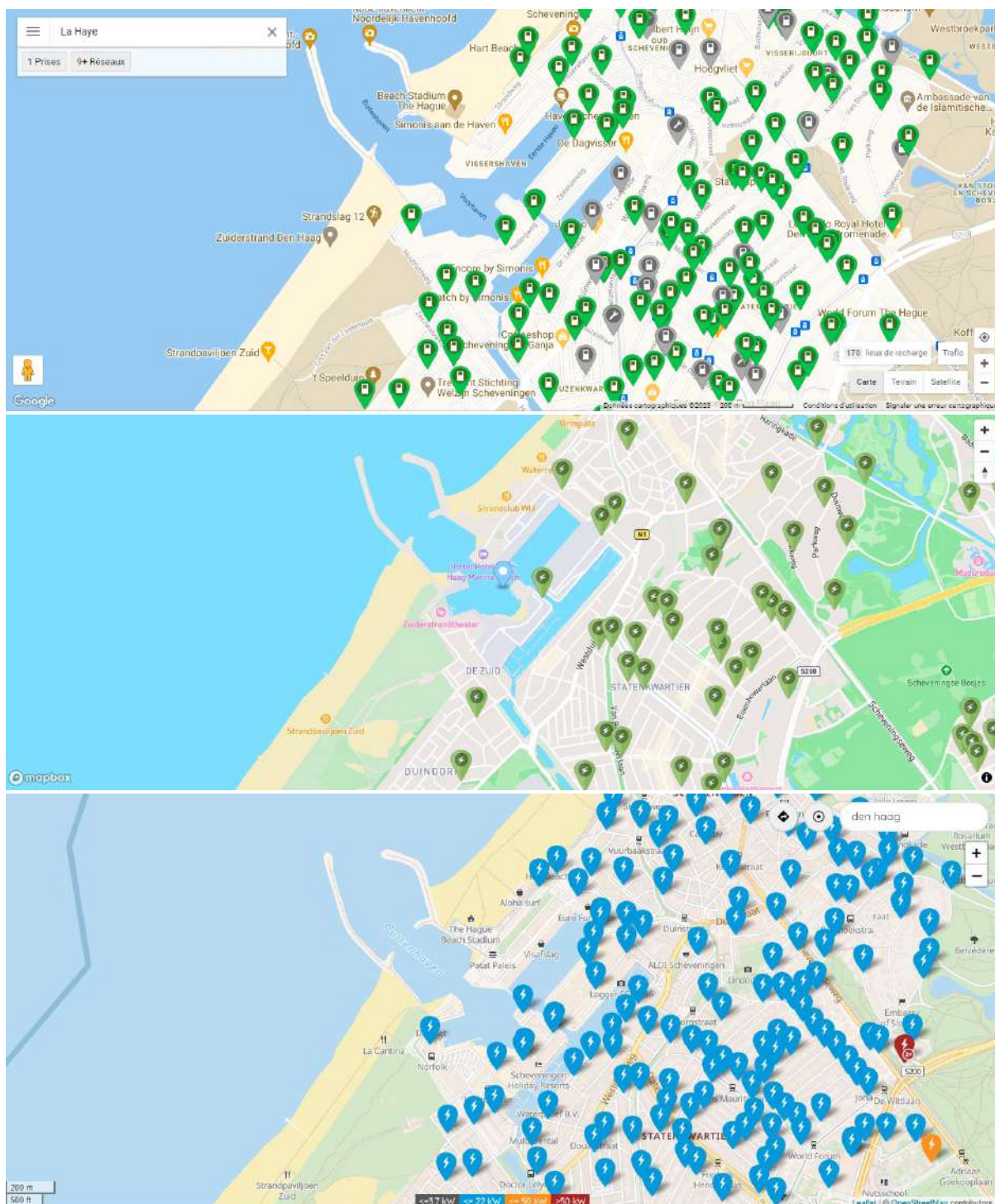


figure 44 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de La Haye, Pays-Bas

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

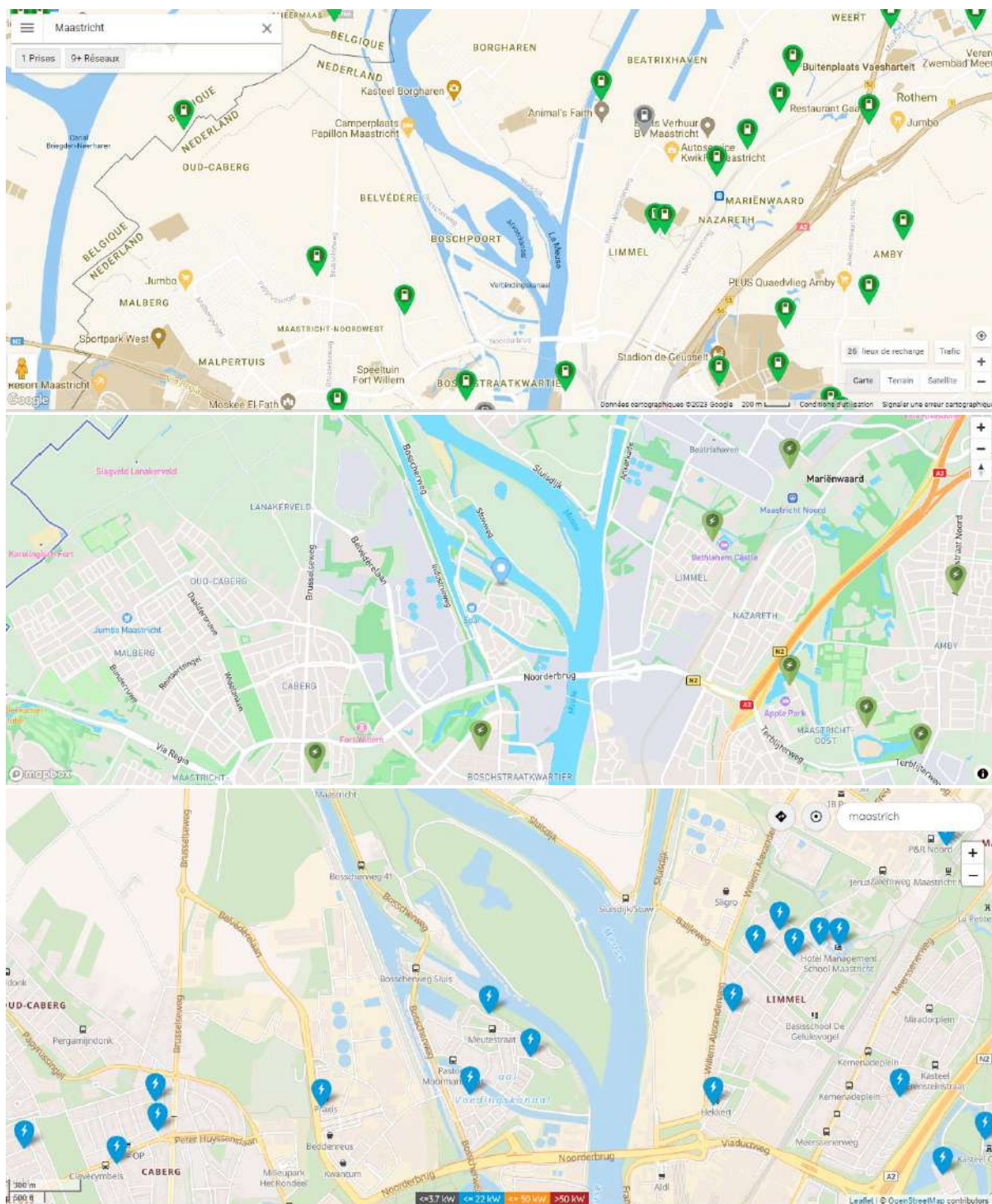


figure 45 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Maastricht, Pays-Bas

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map

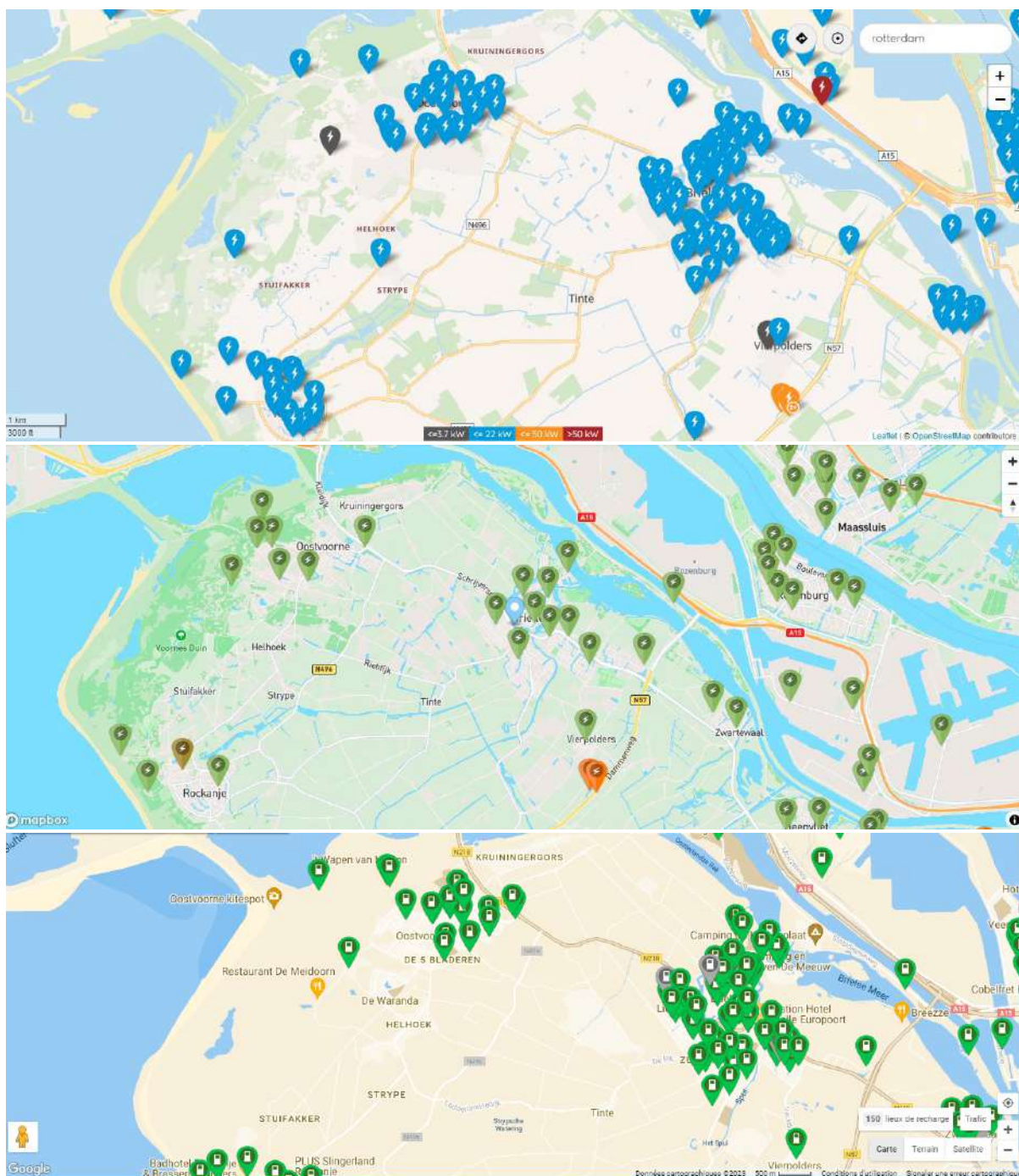


figure 46 : Unités de territoires utilisées pour la récupération des données des points de charge relatives à la région de Rotterdam, Pays-Bas

Source : chargeprice, plugshare et Open charge map



POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Comparaison internationale des véhicules à zéro ou faible émissions et identifications des bonnes pratiques

Ce rapport de stage a été écrit à la suite de mon stage de fin de quatrième année à Polytech Tours, au cours de mes études en génie de l'aménagement et de l'environnement. Il permet de présenter les missions et les résultats de mon étude pour lesquels j'ai eu l'occasion de travailler au sein de l'IGEDD. Il constitue aussi l'occasion de faire un retour réflexif sur cette expérience professionnelle.

La mission de ce stage vise principalement à établir une première comparaison par pays et à identifier les spécificités des points de charge, notamment en ce qui concerne leur puissance. Étant donné que ce domaine n'a pas encore été étudié par la structure, il offre diverses perspectives d'intérêt. Tout d'abord, l'objectif est de trouver des moyens de collecter des données sur ces points de charge afin de les analyser ultérieurement et d'apporter des orientations plus éclairées aux autorités compétentes. Dans un second temps, il s'agira de présenter les résultats et de créer des graphiques pertinents et représentatifs pour chaque pays étudié. En se concentrant notamment sur les trajets longue distance sur autoroute, l'analyse portera sur la disponibilité des points de charge, en mettant en évidence les éventuels obstacles et contraintes. Cette comparaison permettra de mettre en lumière les points forts et les faiblesses des infrastructures de recharge en France, afin de déterminer si elles offrent une qualité de service satisfaisante aux utilisateurs. Ce stage vise à explorer et à analyser les caractéristiques des points de charge des véhicules électriques, en se concentrant sur la collecte de données, la comparaison internationale et l'évaluation de la qualité de service sur les trajets longue distance.

Mots Clés : transport, Europe, points de recharge, véhicule électriques, bases de données, Python, autoroutes, puissance, bornes rapides, bornes ultra rapides

Ministère de la transition écologique
1 Place Carpeaux, 92800 Puteaux

Pierre Maeso
2022-2023

Tuteur entreprise :
Alain Sauvart
Directeur de l'AQST

Tuteur académique :
Laura Verdelli
Maître de conférence en composition urbaine