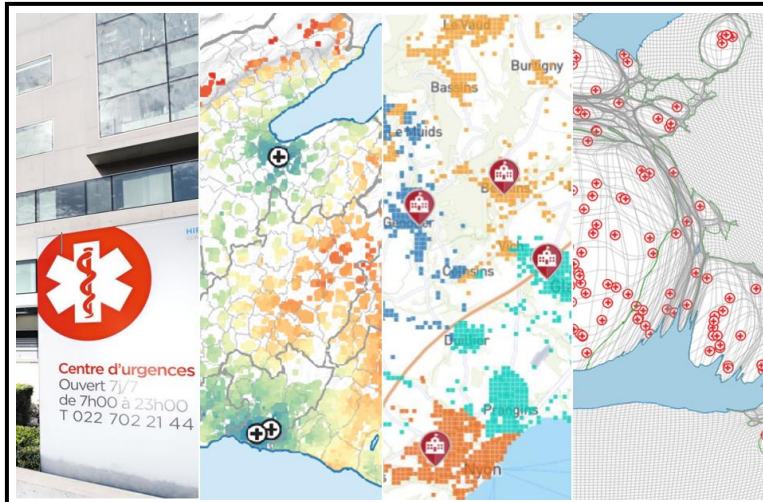


Accessibilité aux services d'urgence à la personne

Analyse de la desserte et des inégalités spatiales dans le canton de Vaud au moyen de cartogrammes et d'une application de géovisualisation dynamique

Nicolas Monachon

Sous la direction du Dr. Christian Kaiser



Ce travail n'a pas été rédigé en vue d'une publication, d'une édition ou diffusion. Son format et tout ou partie de son contenu répondent donc à cet état de fait. Les contenus n'engagent pas l'Université de Lausanne. Ce travail n'en est pas moins soumis aux règles sur le droit d'auteur. A ce titre, les citations tirées du présent mémoire ne sont autorisées que dans la mesure où la source et le nom de l'auteur sont clairement cités. La loi fédérale sur le droit d'auteur est en outre applicable.

Accessibilité aux services d'urgence à la personne

Analyse de la desserte et des inégalités spatiales
dans le canton de Vaud au moyen de cartogrammes et
d'une application de géovisualisation dynamique

Sources de l'image de couverture :

*Cartes : Travaux personnels
Photographie : Groupe Hirslanden*

Ce travail comporte :

- Le contenu intégral du présent dossier
- L'application de géovisualisation VD-SerVIS (<https://nmonach2.github.io/VD-SerVIS>)
- Le dépôt (repo) GitHub de l'application (<https://github.com/nmonach2/VD-SerVis>)

Résumé

Dans ce travail, deux méthodes d'analyse de la localisation et des inégalités spatiales relatives à une catégorie de services ont été présentées et confrontées sur le cas pratique des services d'urgence dans le canton de Vaud. Elles émanent toutes deux d'un cadre théorique commun de résolution de problèmes dits du *p-médian*, mais deux approches différentes ont été ici mises en commun pour se compléter : l'utilisation analytique de cartogrammes et la conception d'une application de géovisualisation dynamique basée sur des principes de routing. La méthode des cartogrammes offre la possibilité de quantifier une distribution spatiale, de par sa proximité ou non aux densités de population. Sur cette base, il est donc possible de comparer des distributions ponctuelles issues de régions différentes ou même des types de services entre eux. La seconde méthode utilisée lie à la fois production et transmission d'informations ; par complémentarité à la précédente méthode utile à l'échelle du système, celle-ci permet de localiser des phénomènes, parfois avec une grande précision. Parmi les sept types de services étudiés, à savoir les urgences hospitalières, les bases ambulancières, les centres publics de consultation médicale, les pharmacies, les cabinets médicaux et deux échelons d'intervention des services de défense incendie et secours, trois différentes stratégies de localisation ont globalement pu être relevées, décrites et illustrées. Si selon certains auteurs, la distribution optimale est proportionnelle à la densité de population élevée à la puissance $\frac{2}{3}$, il a été observé que d'autres valeurs sont parfois recherchées selon le type de service considéré. Finalement, l'application web conçue pour ce travail permet une transmission élargie et détaillée d'une grande partie des résultats, mobilisables autant à des fins scientifiques qu'opérationnelles.

Table des matières

1. Introduction	9
1.1. Contexte et enjeux relatifs à la distribution des services	9
1.2. Situation en Suisse	10
1.3. Monitoring des politiques à incidence spatiale	13
2. Dimensions de l'étude	14
2.1. Présentation	14
2.2. Système de services retenu	15
2.3. Visée et buts	20
3. Cadre théorique	21
3.1. Les modèles classiques	21
3.2. Les approches modernes	23
3.3. La méthode utilisée	25
4. Méthodologie et description des outils	27
4.1. Présentation	27
4.2. Préparation des données de base	29
4.3. Régression simple	31
4.4. Projection d'égalisation de la densité	32
4.5. Routing et allocation par chemin le plus court	36
4.6. Développement d'une application de géovisualisation dynamique	40
4.6.1. Introduction	40
4.6.2. Usage de l'application	41
4.6.3. Structure de l'interface	43
4.6.4. Structure des fichiers de l'application	47
5. Résultats	48
5.1. Structure et éléments	48
5.2. Fiches de résultats	50
5.3. Commentaires et discussions	58
5.3.1. Urgences hospitalières (URG)	58
5.3.2. Bases d'ambulances (AMB)	59
5.3.3. Centres publics de consultation médicale (CDC)	60
5.3.4. Pharmacies (PHA)	61
5.3.5. Cabinets médicaux (MED)	61
5.3.6. Détachements de premiers secours (DPS) et détachements d'appui des SDIS (DAP)	62
6. Conclusion	63
7. Références	67
8. Annexe	72

1. Introduction

1.1. Contexte et enjeux relatifs à la distribution des services

Les équipements publics sont inégalement répartis sur tout territoire donné, dans le sens où il existe inévitablement des différentiels d'accessibilité. Par exemple, la différence tend souvent à être importante entre le rural et l'urbain, mais aussi parfois au sein de l'urbain-même (Beaucire & Drevelle, 2013). En effet, tout réseau de services étant constitué d'éléments spatialement définis, leur présence induit, toute chose étant égale par ailleurs, une plus ou moins large matrice d'absence en d'autres lieux, créant ainsi des distinctions qualitatives de l'espace. Dans un effort d'amélioration du bien-être des populations, par exemple en installant des infrastructures sanitaires ou des centres de soins dans une zone urbaine, les planificateurs et les géographes construisent involontairement dans leurs solutions un biais spatial qui perpétue et aggrave les inégalités (Morrill, 1974). La répartition des unités de service désigne ainsi à la fois une action inscrite dans l'espace en tant que mécanisme générateur, mais également par extension son résultat, structurel et fonctionnel, qui en est le produit (Bavoux & Chapelon, 2014). Ces productions différentielles inhérentes à l'espace géographique sont par essence une source d'inégalités entre les hommes, dépendamment d'où ils naissent et vivent (Rawls, 1997). En Suisse par exemple, ces externalités tendent à être prises en compte via un aménagement territorial orienté, en définissant au sein d'un territoire des hotspots de développement (ou centres) selon un maillage régulier du point de vue de la localisation des foyers de population, ainsi qu'en y assurant la connectivité locale (Etat de Vaud, 2018). Concrètement, pour tout service public ou semi-public, deux questions élémentaires surviennent relativement à la structure du réseau à proposer (Richard, 1982) :

- 1) Combien faut-il d'unités ?
- 2) Où doit-on les localiser ?

La réponse à la première question s'avère vaine si la seconde n'est pas correctement considérée. En effet, la pertinence d'un réseau de services ne dépend pas en premier lieu du nombre d'unités qui le composent, mais de leur distribution géographique relativement à la demande. Lorsque cette dernière est solutionnée, la taille du réseau, souvent dictée par des analyses économiques de type coûts-bénéfices (Meunier & Marsden, 2009) peut dès lors contribuer effectivement à l'amélioration de la desserte (Beguín, Hansen, & Thisse, 1982). Dans le cas des services publics et semi-publics, les problèmes de localisations optimales se posent dans l'optique de maximiser la capacité à satisfaire les besoins des usagers, dans la limite des ressources allouées. Ces biens et services relèvent du service universel, ne sont pas substituables et sont susceptibles de porter atteinte à la qualité de vie s'ils ne sont pas obtenus. Le Conseil fédéral suisse admet la définition suivante : "Par service public, on entend une desserte de base de qualité, comprenant des biens et des prestations d'infrastructure, accessibles à toutes les

catégories de la population et offerts dans toutes les régions du pays à des prix abordables et aux mêmes conditions." (DETEC, 2020). En théorie donc, l'approvisionnement se doit d'être de qualité dans toutes les régions du pays, y compris dans celles où ces services ne sont pas rentables. Les enjeux sous-jacents sont nombreux : justice sociale, attractivité territoriale, développement équitable, etc. (Morrill, 1977). Par ailleurs, la recherche d'une organisation territoriale qui respecte des règles d'équité entre les différentes parties s'inscrirait comme une condition *sine qua non* d'un développement durable (Rawls, 1997 ; Beal, 2011). Ces objectifs illustrent ainsi l'importance et les enjeux d'une couverture spatiale à la fois performante et égalitaire.

1.2. Situation en Suisse

L'OFS propose deux approches pour rendre compte de la qualité de l'offre en services : la répartition territoriale et l'accessibilité (OFS, 2020). La première permet d'estimer quelle part de la population peut avoir recours auxdits services à l'intérieur de la juridiction de sa commune. Il s'agit d'une approche centrée sur le territoire institutionnel. La seconde indique la distance à parcourir pour se rendre au service le plus proche depuis le domicile. Il s'agit d'une approche centrée sur l'individu. Alors que l'accessibilité peut parfois être définie comme l'offre de mobilité indépendante de celui qui la requiert, ou encore comme l'ensemble des « solvabilités » ou façons de répondre à une volonté de déplacement (Lévy & Lussault, 2013), elle est ici comprise directement en termes de distances géographiques, interprétées sur la base du réseau routier existant. Les méthodes utilisées dans ce travail préféreront par ailleurs cette définition, où l'accessibilité est comprise comme la plus ou moins grande facilité avec laquelle des lieux, des personnes ou des activités économiques peuvent être atteints (Bavoux & Chapelon, 2014), sachant que la « facilité » est ici évaluée sous l'angle de la proximité au service.

La première référence proposée par l'OFS pour mesurer la qualité de l'offre en services sur le territoire suisse permet de rendre compte de la probabilité de présence des différents types de services au sein d'une commune et donne une première estimation de la densité de leurs réseaux respectifs. Sous cet angle, il apparaît que les services les plus couramment représentés, même dans les plus petits villages, sont liés à l'administration communale et aux transports publics (présents dans plus de 98% des communes), aux cafés-restaurants et aux établissements scolaires primaires (présents dans plus de 88% des communes), ainsi que les salons de coiffures, garages et magasins d'alimentation (présents dans plus de 78% des communes) [Fig. 1]. Les types de service précités sont dits « banaux » car ils sont sollicités régulièrement, voire quotidiennement par la population et nécessitent une accessibilité facilitée (Lamarlière & Staszak, 2000). Ces sept premiers types de services se détachent visiblement des autres, que l'on aura tendance à ne retrouver que dans moins d'une commune sur deux en Suisse. A l'extrême

inverse, on retrouve des types de services soit occasionnels, soit substituables, soit nécessitant des infrastructures ou ressources majeures (hypermarchés, universités et hautes écoles, cinémas et théâtres, etc.). La portée de ces services est plus grande, c'est-à-dire que les clients affluent depuis des endroits plus distants, moyennant un « coût » en accessibilité plus important (cf. Christaller, 1933).

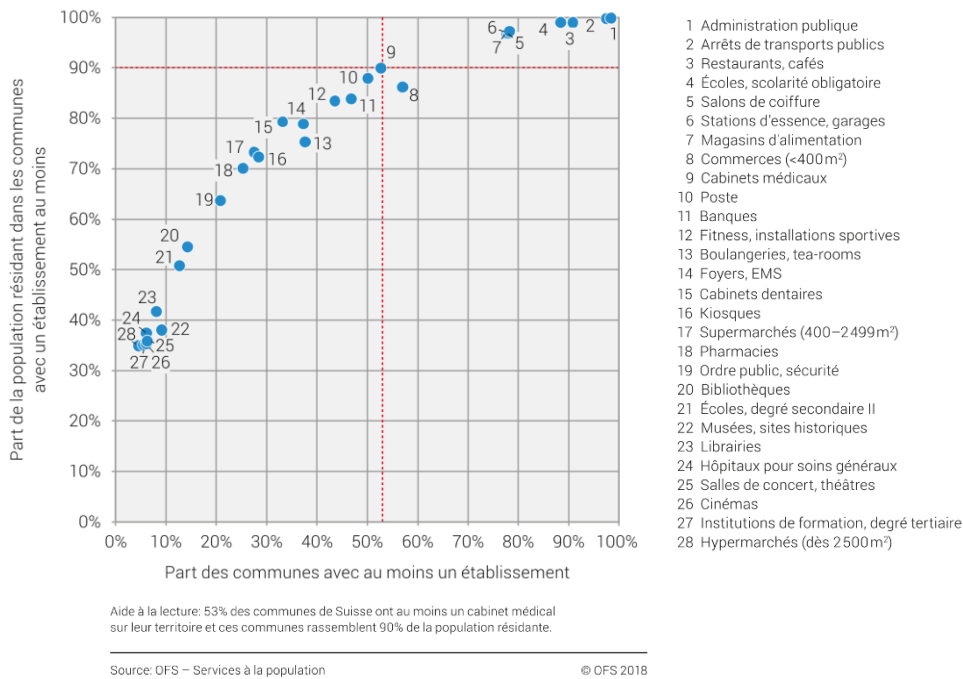


Fig. 1 : Equipement des communes suisses en services en 2015 (OFS, 2018)

Cette même approche offre également des comparaisons intéressantes entre les typologies communales, en mettant par exemple en relation les densités des différents types de service relativement à leur milieu d'implantation. Elle permet clairement la mise en exergue des inégalités d'accessibilité plus ou moins orientées ou marquées selon le type d'espace et de service [Fig.2]. Par exemple, une grande partie des services considérés présente une plus faible densité en communes intermédiaires qu'en moyenne suisse. De toute évidence, les personnes qui y habitent ont tendance à se procurer les services dont elles ont besoin dans les communes-centres, souvent proches et où elles ont leur lieu de travail (OFS, 2020). Proportionnellement à la population, les écoles ou postes sont « surreprésentées » en milieu rural, alors que l'inverse est vrai pour les cabinets médicaux, théâtres et institutions de formations supérieures. Cette observation révèle deux tendances antagonistes ; la première illustre des réseaux d'unités de service privilégiant une accessibilité égalitaire (équité) et la seconde des structures davantage axées sur des logiques de rentabilité (efficacité) (Beguin et al., 1982). En Suisse, le mécanisme de restructuration progressif du réseau d'offices postaux illustre par exemple un déplacement sur ce gradient. Ce processus s'étant avéré fortement politisé, autant d'un point de vue citoyen qu'aux instances fédérales, il témoigne des enjeux et des tensions qui peuvent parfois survenir dans la définition d'un point d'équilibre (Rennwald, 2001; Joerin & Bozovic, 2007).

Nombre d'établissements par habitants, indexé à la moyenne suisse

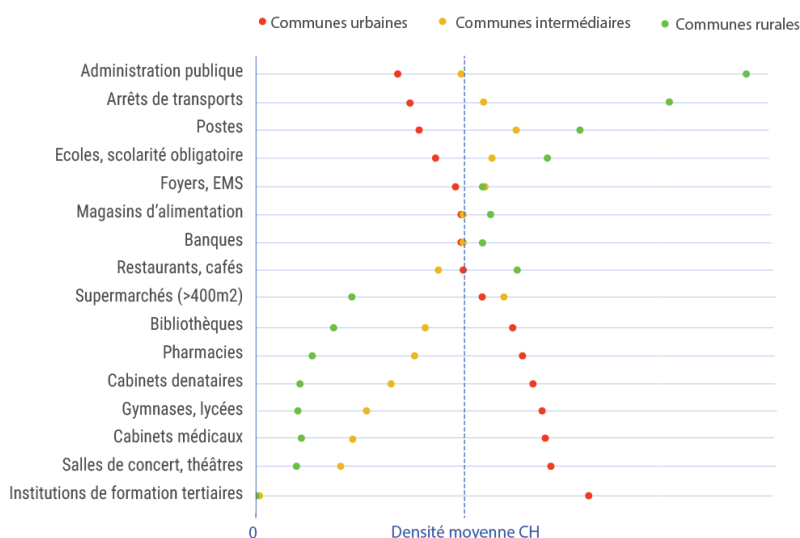


Fig. 2 : Densité des services selon le type d'espace, en 2015 (OFS, 2018)

La seconde approche mentionnée par l'OFS, soit l'analyse de l'accessibilité, mesurée en termes de distances routières séparant le domicile de l'unité de service la plus proche, permet une analyse de la répartition des services à une échelle plus fine. En effet, elle gomme tout biais induit par la taille du territoire ou la présence préalablement non-induite de plusieurs infrastructures de type similaire au sein d'une même commune, tout en offrant un aperçu plus proche des réalités individuelles. Les résultats ne fluctuent que peu entre les deux approches [Fig.3 & 4], bien que l'analyse par l'accessibilité ouvre la possibilité à des comparaisons plus détaillées. De fait, elle s'avère plus intéressante dans le cas où l'on chercherait par exemple à conduire une analyse sur les différentiels d'accessibilité sur un système territorial plus réduit que la Suisse entière ou au sein d'une même commune.

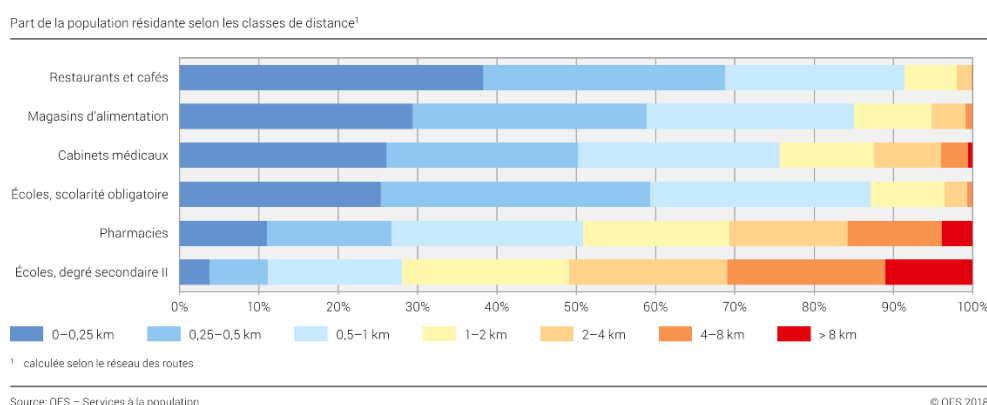


Fig. 3 : Accessibilité à un choix de service en 2015 (OFS, 2018)

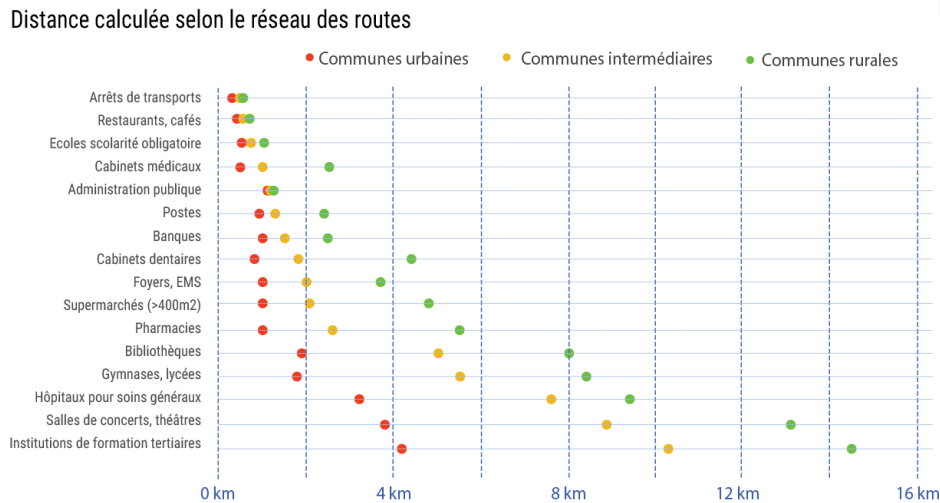


Fig. 4 : Distance moyenne jusqu'à l'unité de service la plus proche, selon le type d'espace, en 2015 (OFS, 2018)

1.3. Monitoring des politiques à incidence spatiale

Dans le canton de Vaud plus spécifiquement, le Plan Directeur Cantonal compile les lignes directrices et stratégies d'aménagement pour le développement du territoire vaudois. Il se décline en trois enjeux principaux qui fondent le projet, dont celui de la *qualité du cadre de vie* qui est explicité à l'aune d'une offre en équipements publics efficace:

« Le climat de concurrence économique ne doit pas conduire le Canton à réduire ses exigences en matière de qualité d'équipements. Au contraire, [...] la qualité et l'accessibilité aux services et à la formation sont des enjeux plus stratégiques que jamais. [...] Le projet de territoire cantonal vise le renforcement d'un réseau de centres forts couvrant l'ensemble du canton. Il ne laisse aucune région à l'écart et définit, dans ce cadre, les priorités d'urbanisation qui doivent permettre un développement équilibré. Les bouleversements rapides de l'économie tendent à creuser les inégalités entre les composantes internes du canton, au risque de laisser à l'écart du développement certaines catégories de population, des secteurs urbains défavorisés et des régions périphériques. Ce contexte fait de la cohésion cantonale et du maintien des équilibres entre les centres et les régions une priorité de l'action publique. » (PDC-VD, 2018).

Un second volet traitant de la solidarité sociale et de l'équilibre entre les régions et les centres recoupe cette même thématique. Dans le même document, le Canton propose quelques leviers d'actions à l'implémentation des objectifs fixés pour cette thématique, dont par exemple la hiérarchisation de ses communes (centres cantonaux, régionaux et locaux) et l'assignation à chaque classe de fonctions

spécifiques, également dans l'offre en services. Un réseau d'équipements doit également correspondre à la population dans sa composante spatiale, liée à la répartition et à l'accessibilité.

Cette version du plan directeur forme un continuum avec ses prédécesseurs. La définition de ce programme doit tenir compte des ressources et localisations préexistantes. Il est donc nécessaire de disposer de diagnostics territoriaux ou d'éléments d'évaluation de la situation actuelle lorsqu'il s'agit de décliner ces mesures en politiques publiques localisées dans l'espace, afin d'en assurer leur cohérence. Toute politique publique peut ainsi être appréhendée sous l'angle d'une approche séquentielle [Fig.5]. Elle souligne le caractère temporel des politiques publiques et leur déconstruction possible en différentes phases de maturation (Jones, 1970).



Fig.5 : Schéma de déconstruction séquentielle d'une politique publique (Jones, 1970)

Ce schéma séquentiel suggère que la portée d'une politique publique ne s'arrête pas après sa mise en œuvre. En effet, une phase d'évaluation du programme s'impose ensuite (phase 4), pour permettre une réflexion concrète sur ce que produit la politique, ou tout du moins rendre compte dans quelle mesure l'effet escompté s'est produit. Parfois, elle peut aboutir à un « remodellement » des actions pour garantir une efficacité durable par des processus itératifs d'ajustement. On parlera la plupart du temps de phase d'évaluation, dictant quel type de terminaison est à donner au programme (reformulation d'un programme différent, similaire ou complémentaire, surveillance active ou monitoring, etc.).

2. Dimensions de l'étude

2.1. Présentation

Par analogie, le présent travail s'inscrit dans une volonté d'analyse et d'évaluation de la situation actuelle en matière de répartition des services, à l'aide d'une démarche cartographique et quantitative. Si les quelques analyses effectuées au niveau suisse [Fig.1-4] en brossent un bref portrait, la démarche sera appliquée à l'échelle du canton de Vaud selon le maillage le plus fin possible, à l'aide de deux principales méthodes complémentaires : une analyse du système par cartogrammes et une analyse locale de l'accessibilité grâce à une application de géovisualisation dynamique développée à cet effet.

Le territoire administratif du canton de Vaud constitue un cas d'étude local, à périmètre restreint. Il s'agit d'un espace non-hétérogène, aussi bien en termes physiques (les reliefs divers y induisent de fortes variabilités spatiales et les quatre principales régions géographiques suisses y sont représentées) qu'humains [Fig.6]. De plus, la qualité des données disponibles est excellente, puisque l'OFS propose certaines statistiques à l'échelle hectométrique. Le niveau d'agrégation spatiale est donc maximisé. Ce travail se base essentiellement sur la collecte de données de localisation des unités de service (cf. partie 2.2), comparées aux données statistiques STATPOP de l'OFS relatives à la population et aux ménages en 2015 et à la structure des entreprises STATENT (OFS, 2016a ; OFS,2016b).

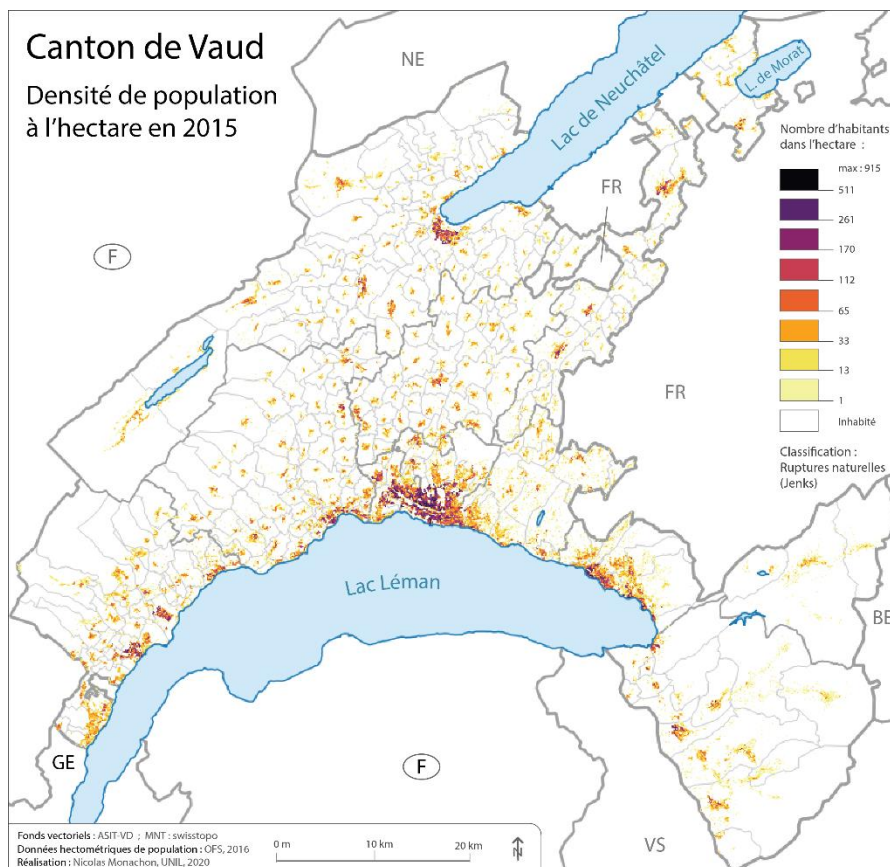


Fig. 6 : Densité de population à l'hectare dans le canton de Vaud en 2015

2.2. Système de services retenu

Pour ce travail, un système de sept types de services de même catégorie sera retenu. Il s'agit de services issus du domaine des « urgences à la personne » (IGAS, 2018). Cela regroupe aussi bien les urgences médicales que les services garants du soutien à la santé aux personnes dans le besoin, ainsi que les dispositifs de secours. L'un des intérêts à mener cette étude sur ce panel de type de services réside dans le fait qu'en géographie de l'urgence, la logique de recours à la plus proche unité de service peut en

principe s'appliquer de façon effective, en adéquation avec la définition de l'accessibilité retenue ci-avant. Dans ces conditions, on admet que toutes les unités de services se valent qualitativement, et donc souscrire à une hypothèse économique de type « néo-classique » où le choix entre elles n'est opéré qu'en fonction de la minimisation du temps de trajet entre l'individu et la prestation requise (Merenne-Schoumaker, 2008). La capacité à agir rapidement implique effectivement de s'affranchir de temps de trajets trop importants entre le pourvoyeur de service et le demandeur. L'espace étant organisé de façon différenciée, certaines populations sont sujettes à des temps de transport plus élevés, ce qui dans le cas de l'urgence à la personne les place potentiellement en situation de vulnérabilité accrue. On parlera alors de vulnérabilité spatiale. Les sept types de services choisis pour cette analyse sont définis et présentés ci-après plus en détails [Fig.7-13].

Afin de définir plus en détails le domaine de services retenu, il convient de distinguer, parmi les services collectifs, différents types de rapports entre l'utilisateur et le service (Beguïn et al., 1982):

- Les services *fixes* ou *mobiles*, selon que l'utilisateur se déplace vers le service ou que le service se déplace vers l'utilisateur
- Les services à demande *élastique* ou *inélastique*, selon que la demande de l'utilisateur tend à dépendre du coût de la distance ou non
- Les services où l'utilisateur *choisit librement* son lieu de consommation ou ceux où il lui est *imposé*.

Selon cette classification, les services d'urgences sont constitués aussi bien de services fixes que de services mobiles, selon que l'urgence s'avère déplaçable ou non. En général, il s'agit de services à demande inélastique, car la propension à consommer n'est pas fonction du coût de déplacement, mais de la situation encourue par l'utilisateur. Ceci dit, le coût de déplacement revêt une importance primordiale dans ce domaine, non dans le processus de formulation du choix de consommation mais dans la qualité de la prestation, comme explicité ci-avant. Finalement, c'est en fonction de la gravité de l'urgence que l'utilisateur est en mesure ou non de choisir le lieu de sollicitation du service. Cependant, même si le choix lui est laissé, on estime qu'il répondra à la logique du plus proche service, à quelques exceptions près [Fig.13].

Le panel proposé se veut varié en terme de nombre d'unités spatiales, de niveaux d'urgences, de statut (public, privé, partenariat public-privé) et du rapport entre l'utilisateur et le service afin d'offrir quelques comparaisons lors des résultats.



Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	URG	Urgences hospitalières	11	
Définition				<i>NB : La liste complète des unités (nom, adresse, coordonnées géographiques, détails...) est disponible en format CSV dans le sous-dossier « data » de l'application VD-SerVIS. Par ailleurs, il est possible d'obtenir des informations sur chaque établissement dans l'application elle-même en cliquant sur le popup correspondant.</i>
Ce type de service regroupe tous les établissements hospitaliers vaudois (ou à moins de 5km de la frontière cantonale) membres de l'organisation nationale des hôpitaux H+ et disposant d'un service de réception publique des urgences médicales sans prise de rendez-vous préalable. Ces unités accueillent en principe les urgences déplaçables les plus sévères.				
Acquisition				
La liste des membres du réseau national des hôpitaux à été consultée pour la section vaudoise (Organisation H+, 2020). Parmi cette sélection, les sites web des partenaires concernés ont été consultés afin de prendre connaissance de la présence ou non d'un système d'urgences hospitalières en leur établissement.				
Remarques				
Avec 11 unités (dont 10 sur territoire vaudois), il s'agit du réseau de service le moins dense du système d'analyse. Les individus n'y ont en principe recours que très occasionnellement, mais en cas de nécessité, le temps de parcours est globalement élevé. Selon le besoin, d'autres alternatives (centres de consultation, médecin de famille, ligne des médecins de garde) coexistent.				

Fig. 7 : Fiche de présentation du type de service 1/7 « URG – Urgences hospitalières »


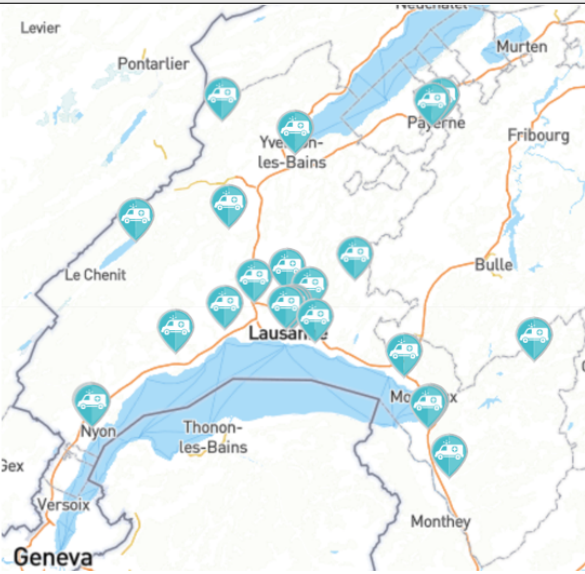
Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	AMB	Bases d'ambulances	24	
Définition				<i>NB : La liste complète des unités (nom, adresse, coordonnées géographiques, détails...) est disponible en format CSV dans le sous-dossier « data » de l'application VD-SerVIS. Par ailleurs, il est possible d'obtenir des informations sur chaque établissement dans l'application elle-même en cliquant sur le popup correspondant.</i>
Ce type de service regroupe toutes les bases d'ambulances situées sur le territoire du Canton de Vaud. Elles peuvent être soit directement subventionnées par l'Etat, soit privées lorsqu'elles sont autorisées par l'Etat à faire de l'urgence. Ces unités se déplacent depuis leur base jusqu'au client, elles traitent les urgences non-déplaçables sévères et létales.				
Acquisition				
La liste des ambulances autorisées à pratiquer l'urgence sur le territoire vaudois est disponible sur le Guichet cartographique du Canton de Vaud, thème « Santé et social » (Etat de Vaud, 2020). À des fins de vérification, la liste obtenue a été validée par un professionnel du secteur.				
Remarques				
Il s'agit du type de service au degré d'urgence estimé le plus élevé. Minimiser les temps de déplacement de la base jusqu'aux clients est susceptible d'être vital; une localisation optimale des bases en fonction des foyers de population s'avère de fait primordiale. L'attribution du plus proche véhicule à un cas déclaré est une évidence.				

Fig. 8 : Fiche de présentation du type de service 2/7 « AMB – Bases d'ambulances »



Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	CDC	Centres publics de consultation	43	
Définition				
Ce type de service regroupe toutes les structures médicales membres de l'un des quatre réseaux de santé vaudois, ou sises à moins de 5km de la frontière cantonale. Elles doivent proposer des prestations d'accueil, de consultation médicale par un médecin et de soins de base sans nécessiter une prise de rendez-vous préalable. Il s'agit dans la plupart du temps de permanences médicales ou de polycliniques.				
Acquisition				
La liste des structures médicales membres des réseaux de santé vaudois est disponible sur la page « organisation » de chacun des quatre pages web des sous-régions du réseau (Réseaux Santé Vaud, 2020). Les sites web des partenaires concernés, les annuaires, le guichet cartographique du canton de Vaud, et l'application mobile « Urgences Vaud » (CHUV, 2020) ont été consultés pour déterminer quelles unités correspondaient à la définition établie.				
Remarques				<p><i>NB : La liste complète des unités (nom, adresse, coordonnées géographiques, détails...) est disponible en format CSV dans le sous-dossier « data » de l'application VD-SerVIS. Par ailleurs, il est possible d'obtenir des informations sur chaque établissement dans l'application elle-même en cliquant sur le popup correspondant.</i></p>
Le réseau des centres publics de consultation s'est passablement développé ces dernières années et se veut une alternative pour décharger les urgences hospitalières des cas bénins à degré d'urgence moindre.				

Fig. 9 : Fiche de présentation du type de service 3/7 « CDC – Centres publics de consultation »


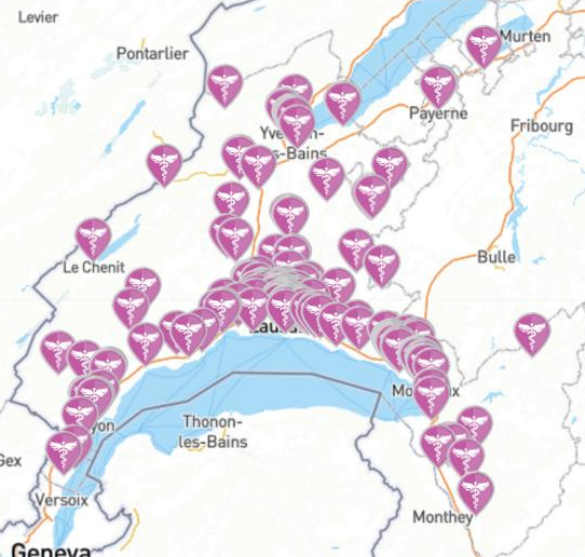
Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	PHA	Pharmacies	198	
Définition				
Ce type de service regroupe tous les offices de pharmacies présents sur le territoire du Canton de Vaud, qu'ils soient privés ou gérés par une société et membres d'un réseau de pharmacies.				
Acquisition				
La liste des pharmacies vaudoises est disponible sur le Guichet cartographique du Canton de Vaud, thème « Santé et social » (Etat de Vaud, 2020).				
Remarques				
Le réseau des pharmacies est l'un des plus denses du système étudié, il fait partie des services sollicités de façon récurrente par les individus.				

Fig. 10 : Fiche de présentation du type de service 4/7 « PHA – Pharmacies »


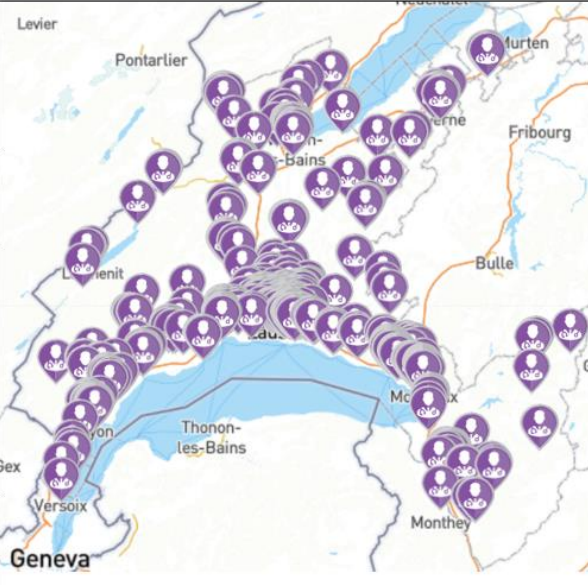
Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	MED	Cabinets médicaux	1038	
Définition				
Ce type de service regroupe tous les médecins-généralistes reconnus par la Société Vaudoise de Médecine et exerçant sur le territoire vaudois.				
Acquisition				
Sur son site web, la Société Vaudoise de Médecine propose un outil informatique pour rechercher un médecin agréé en fonction du lieu de pratique ou de sa spécialisation (SVM, 2020). Une requête JavaScript a été préparée et exécutée dans la console du navigateur pour interroger les bases de données sous-jacentes à l'interface de recherche et en retirer la liste complète des praticiens avec leurs adresses professionnelles. Une faible proportion d'entre eux (env. 5-10%) a renoncé à communiquer toute coordonnée sur le site, ils ne font donc pas partie de l'échantillon retenu.				
Remarques				
Il s'agit du réseau de service le plus dense de cette analyse. Bien que la visualisation ne soit pas optimale sur VD-SerVIS pour autant d'unités spatiales et que le patient n'opte pas forcément pour le plus proche médecin au vu de la taille de l'offre et de ses attentes personnelles, le service a tout de même été implémenté à des fins de consultation. Lorsque plusieurs médecins exercent à la même adresse, seule la première occurrence est prise en compte.				
<i>NB : La liste complète des unités (nom, adresse, coordonnées géographiques, détails...) est disponible en format CSV dans le sous-dossier « data » de l'application VD-SerVIS. Par ailleurs, il est possible d'obtenir des informations sur chaque établissement dans l'application elle-même en cliquant sur le popup correspondant.</i>				

Fig. 11 : Fiche de présentation du type de service 5/7 « MED – Cabinets médicaux »



Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	DPS	Détachements de premiers secours	64	
Définition				
Ce type de service regroupe tous les DPS mis en place par les 30 services régionaux vaudois de défense contre l'incendie et de secours (SDIS) reconnus par l'ECA. Premier échelon d'intervention, les DPS sont composés de sapeurs-pompiers affectés à une caserne du SDIS et garantissent en tout temps la capacité de première intervention dans leur secteur. Leur domaine d'action couvre les cas d'incendie, d'inondation, de pollution, d'assistance sanitaire, d'accident avec personnes incarcérées et dans bien d'autres situations encore (ECA Vaud, 2015).				
Acquisition				
Chaque SDIS possède la compétence d'organisation de ses différents détachements au sein de son territoire. De fait, les sites web de chacun des 30 SDIS vaudois a été consulté afin de localiser les casernes concernées, puis de dissocier si elles accueillent un détachement de premier secours (DPS) ou seulement un détachement d'appui (DAP).				
Remarques				
A l'instar des ambulances, le service se déplace depuis sa base en direction du client. La plupart des interventions revêtent un haut degré d'urgence.				
<i>NB : La liste complète des unités (nom, adresse, coordonnées géographiques, détails...) est disponible en format CSV dans le sous-dossier « data » de l'application VD-SerVIS. Par ailleurs, il est possible d'obtenir des informations sur chaque établissement dans l'application elle-même en cliquant sur le popup correspondant.</i>				

Fig. 12 : Fiche de présentation du type de service 6/7 « DPS - Détachements de premiers secours »


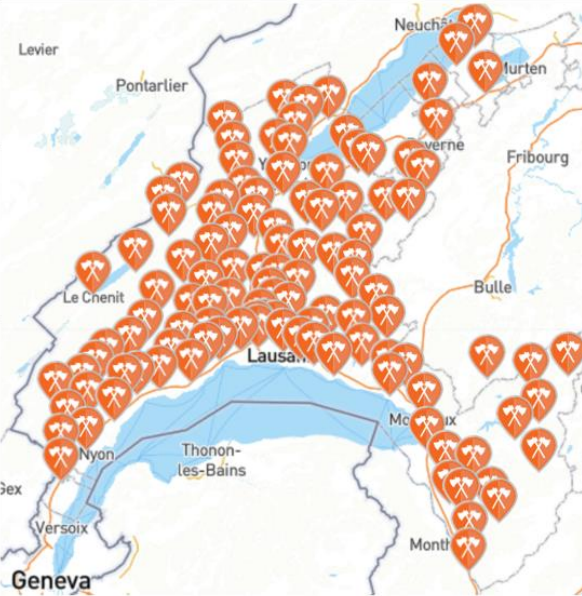
Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	DAP	Détachements d'appui	114	
Définition Ce type de service regroupe tous les DAP mis en place par les 30 services régionaux vaudois de défense contre l'incendie et de secours (SDIS) reconnus par l'ECA. Second échelon d'intervention, les DAP sont composés de sapeurs-pompiers affectés à une caserne ou un local du feu du SDIS et garantissent l'appui aux DPS en cas de besoin (ECA Vaud, 2015).				
Acquisition Chaque SDIS possède la compétence d'organisation de ses différents détachements au sein de son territoire. De fait, les sites web de chacun des 30 SDIS vaudois a été consulté afin de localiser les casernes concernées, puis de dissocier si elles accueillent un détachement de premier secours (DPS) ou seulement un détachement d'appui (DAP).				
Remarques A l'instar des ambulances, le service se déplace depuis sa base en direction du client. La plupart des interventions revêtent un haut degré d'urgence.				

Fig. 13 : Fiche de présentation du type de service 7/7 « DAP - Détachements d'appui »

2.3. Visée et buts

Le but de ce travail est double. Premièrement, il vise à proposer une analyse détaillée de l'accessibilité aux services d'urgence dans le canton de Vaud, que ce soit à l'échelle du système ou des agents individuels, dans un but évaluatif. Sous cet angle, il s'agit d'un travail de géographie appliquée, délivrant un outil d'information, d'analyse et d'aide à la décision. Le questionnement qui anime cette recherche pourrait donc être formulé de la manière suivante : « Comment relever, mesurer et communiquer les inégalités interrégionales d'accessibilité aux services d'urgence dans le Canton de Vaud ? ». Plus spécifiquement, ce travail cherche à apporter des éléments de réponses précis aux exemples pratiques de questions suivantes, relatives à la gestion d'un réseau de service d'urgence :

- Dans le canton de Vaud, quel est le temps de trajet moyen pour atteindre une unité d'un type de service donné ? Qu'en est-il des autres types services en comparaison ?
- Quel pourcentage de la population habite/travaille à moins de X minutes de l'unité de service la plus proche ?
- En X minutes, quel pourcentage de la population peut atteindre une unité d'un type de service donné ?
- Depuis quels endroits peut-on atteindre une unité de service donnée en moins de X minutes ?
- Combien d'habitants dépendent d'une unité de service donnée ? Qu'en est-il des autres unités en comparaison ?
- Quel est le temps de trajet moyen de ce groupe d'habitants vers ladite unité de service ?

- La distribution spatiale des unités de service privilégie-t-elle certaines populations au détriment d'autres ?
- Où les inégalités sont-elles les plus grandes et pour quels types de services ?
- Selon quels schémas spatiaux les inégalités s'expriment-elles en fonction du type de service ?
- Comment quantifier la qualité de desserte d'un système entier ou d'une région à des fins de comparaisons interterritoriales ?

En second lieu et d'un point de vue plus scientifique, ce travail cherche également à confronter une méthodologie encore peu répandue : l'utilisation de cartogrammes à des fins analytiques (Gastner & Newman, 2006). Jusqu'à maintenant, dans le vaste champ de la géographie, l'utilisation de cartes en anamorphoses s'opère avant tout pour solutionner des besoins de représentation visuelle en cartographie thématique (Dykes, 1998 ; Sun & Li, 2010 ; Nusrat & Kobourov, 2016). Malgré son potentiel, elle n'est pas reconnue comme outil d'analyse spatiale en tant que tel. Ce travail se veut le terrain d'expérimentation, de confrontation et d'évaluation d'une méthode d'analyse nouvellement proposée sur le champ scientifique pour ce type de cas d'étude.

3. Cadre théorique

Face à ces questionnements, le géographe a un rôle important à jouer. Il possède en effet une série d'outils, parmi lesquels les modèles dits de « localisation-affectation optimale ». Ceux-ci lui offrent des pistes d'amélioration quant à l'organisation spatiale des services considérés en optimisant les distances à parcourir par les usagers (Querriau et al., 2004). Dans le présent cas de figure, l'idée n'est bien-sûr pas de proposer un nouveau réseau optimal, ce qui n'aurait que peu de sens au regard des structures existantes. Cependant, ce cadre offre entre autres des possibilités d'évaluation de la qualité d'un réseau et pose les bases théoriques et conceptuelles sur les façons de traiter ce type de problème.

3.1. Les modèles classiques

Le problème de la localisation optimale de services est un sujet déjà bien exploré parmi la communauté scientifique, impliquant des champs de recherche variés. Parmi les premiers travaux recensés qui s'y rapportent, on peut citer le mathématicien français Pierre de Fermat qui propose au XVII^{ème} siècle le problème mathématique suivant : « Etant donné trois points dans un plan (soit un triangle), quel est le point médian qui réduit au minimum la somme des distances entre lui-même et chacun des trois autres points ? » (cf. Reese, 2006). Au début du XX^{ème} siècle, Alfred Weber reprend cet énoncé en ajoutant une pondération variable aux trois points, afin de simuler la localisation d'une activité industrielle

relativement au positionnement de ses sources d’approvisionnement. La définition du point médian permettait dans ce cas de désigner un lieu potentiel d’implantation des activités manufacturières minimisant les coûts de transport des intrants, voire d’accès au marché (Weber, 1929) [Fig.14].

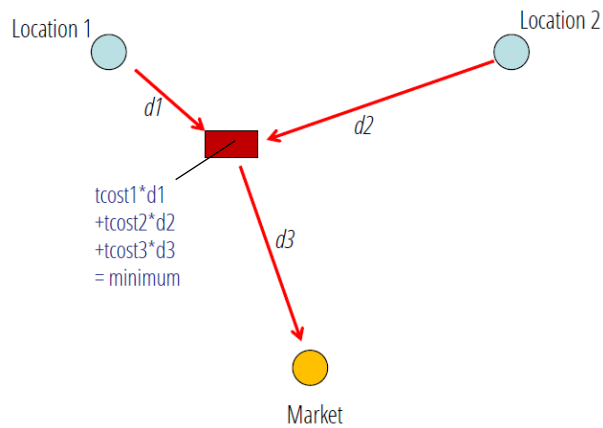


Fig. 14 : Principe de localisation optimale d’activités industrielles selon Weber (adapté de Dessemontet, 2018)

En réponse au problème de Weber, des solutions dans la définition du « point d’équilibre » sont apportées grâce à une mobilisation pluridisciplinaire, par exemple dans le champ de la géométrie mathématique par la représentation d’isodapanes (lieu géométrique projeté d’un coût de transport total donné) (Palander, 1935) ou en physique mécanique en analogie au cadran de Varignon (Kulin & Kuenne, 1962) [Fig.15]. Cette recherche est souvent considérée comme le point d’ancrage des problèmes de localisation-allocation optimale, cherchant à déterminer un emplacement pour les unités de service tout en affectant les points de demande à un ou plusieurs services (Reese, 2006).

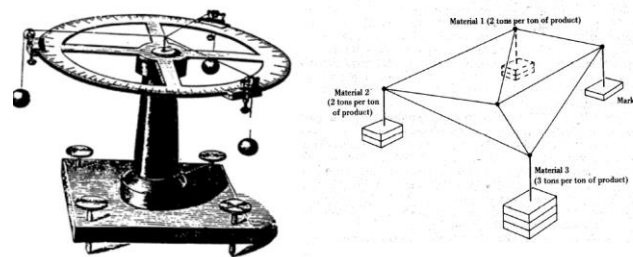


Fig. 15 : Une solution mécanique au problème de Weber (Kulin & Kuenne, 1962)

Parallèlement, d’autres méthodes ambitionnent de résoudre différemment le problème de localisation-allocation optimale appliqué cette fois spécifiquement aux services. Bien que l’idée d’une disposition régulière des villes ait émergé au début du XX^{ème} siècle aux Etats-Unis (Galpin, 1915) ou encore en Autriche (Bobek, 1928), c’est l’Allemand Walter Christaller qui généralise le premier modèle de répartition spatiale des services, le fondement de la théorie des lieux centraux (Christaller, 1933; Claval, 1966). Conçu pour être initialement appliqué à une région agricole du Bade-Wurtemberg, ce modèle se

voulait empirique. À l'inverse des travaux préexistants sur la répartition optimale des industries (Weber, 1929), l'idée était cette fois d'observer la réalité visible sur le terrain, puis de chercher à la modéliser. Christaller constate que chaque service possède une portée propre. Les lieux de regroupement de services (villes) ont des portées associées aux niveaux de services qu'elles contiennent. Sous postulat d'un espace isotrope, la localisation des services dépend de la distance qu'un individu est prêt à parcourir pour bénéficier de la prestation requise. Par extension, il est ainsi possible d'équiper tout le territoire considéré de sorte à ce que chaque citoyen, indépendamment de son lieu de résidence dans l'espace, puisse accéder à tous les services requis dans la portée qui lui est possible. Le modèle christallérien implique donc une hiérarchisation des services, où la portée maximale détermine la localisation relative des unités entre elles et de fait la densité de leur réseau [Fig. 16]. Un maillage trop fin serait sous-optimal, alors que l'inverse empêcherait certains individus de solliciter le service de la façon escomptée.

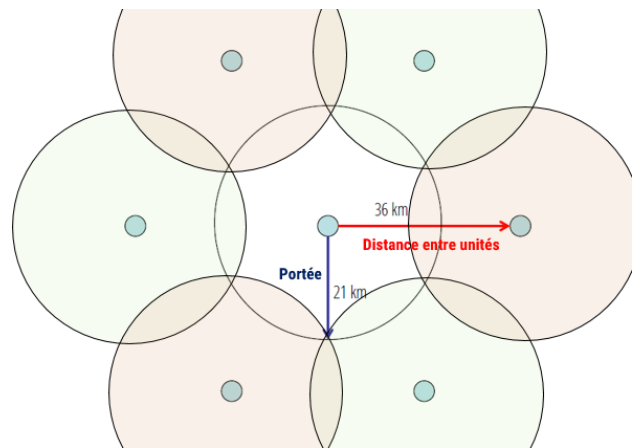


Fig.16 : Principe de localisation optimale des services selon Christaller (adapté de Dessemontet, 2018)

Ce modèle ne tient cependant pas compte de la différenciation de l'espace, tant au niveau de la distribution de population qui est ici supposée homogène et ubiquiste, que des possibilités de déplacements en réalité anisotropiques. De même, on ne cherche pas encore à minimiser l'accessibilité et le temps de trajet, car le but premier est ici de garantir une desserte commune (principe d'approvisionnement). Néanmoins, la communauté scientifique a maintes fois repris ce modèle, pour le généraliser ensuite par des méthodes et approches multiples et plus pointues, en géographie régionale d'abord, puis en géographie urbaine et aménagement du territoire (cf. Berry & Allen, 1961).

3.2. Les approches modernes

Jusqu'au début des années 1970, on assiste à une approche relativement unique de l'analyse des localisations, fortement construite sur les modèles classiques précités. Très prisée en Amérique du Nord en ce qui concerne l'implantation d'entreprises, elle cherche à construire des environnements

hypothétiques présentant des caractéristiques simples et à postuler des règles de comportement économique qui les régissent. Comme précédemment, elles se déclinent essentiellement sous forme d'analyses graphiques et mathématiques pour étudier les structures de localisation considérées comme optimales (Rushton, 1979). Les quelques principales contributions de cette phase résident en des travaux adjoignant ou améliorant quelques éléments ou hypothèses des théories classiques. Pour cette période, on peut citer des travaux mobilisant réseaux de transport et dynamiques d'agglomérations (Isard, 1956), l'inclusion de la subjectivité et des préférences émises par les agents selon une approche behaviouriste (Pred, 1969) ou encore les incertitudes inhérentes au processus de choix de la localisation des entreprises (Webber, 1972) par opposition à l'hypothèse *mainstream* d'un *Homo Oeconomicus* rationnel et disposant d'une information complète (cf. Pareto, 1906).

Dès les années 1970 et subséquemment à la généralisation des outils informatiques à travers la communauté scientifique, un nouveau paradigme d'analyse de la localisation se développe. Alors que les possibilités de modélisation se multiplient et que les nouveaux outils permettent de gérer un niveau de complexité bien plus élevé, il devient manifeste que les postulats simplificateurs hérités des théories classiques sont désormais en mesure d'être approfondis. Les analyses menées sur des environnements réels et non hypothétiques, incluant des schémas comportementaux largement évolués ne se veulent plus explicatives mais normatives, prescriptives (Rushton, 1979). Les nouveaux travaux s'intègrent au champ de la recherche opérationnelle déjà bien développé (cf. Kendall, 1960), en arborant des finalités telles que celle de l'aide à la décision politique.

Dès lors, les problèmes de localisation-affectation mobilisent essentiellement des algorithmes mathématiques, ont recours à la théorie des graphes (Erdős, 1967; Christofides, 1975; Gibbons, 1985) ou à des méthodes de data mining (cf. Hand, 2007). Les suggestions modernes de résolution du problème originel de Weber, repris sous le terme de problème du « p-médian » sont extrêmement nombreuses et variées [Fig.17].

Heuristics	
Vertex Substitution	
Other Heuristics	Approximation Algorithms
Metaheuristics	LP Relaxation
Variable Neighborhood Search	
Heuristic Concentration	Surrogate Relaxation
Genetic Algorithms	Surveys
GRASP Metaheuristic	IP Formulations and Reductions
Scatter Search	Complexity
Tabu Search	Graph Theoretic
Simulated Annealing	Enumeration
Neural Network	Other

Fig. 17 : Les différents types de résolution du problème du p-médian dans la littérature anglophone tels qu'observés par (Reese, 2006)

3.3. La méthode utilisée

La méthode que nous utiliserons dans ce travail diffère des approches ordinairement plébiscitées. Selon la distinction opérée par Reese [Fig.17], elle se classerait dans la catégorie « Other ». Cependant, comme explicité auparavant, cette méthode ne sera pas utilisée pour produire un réseau de services d'urgence optimisé pour le Canton de Vaud. Elle permettra d'évaluer la qualité de la localisation actuelle des unités de service au niveau du système relativement à sa supposée disposition optimisée. Par le biais de VD-SerVIS, elle sera complétée par une méthode de routing standard qui est un exemple classique d'allocation mobilisant la théorie des graphes (*allocation by shortest path*) [Fig.18] (Dijkstra, 1971).

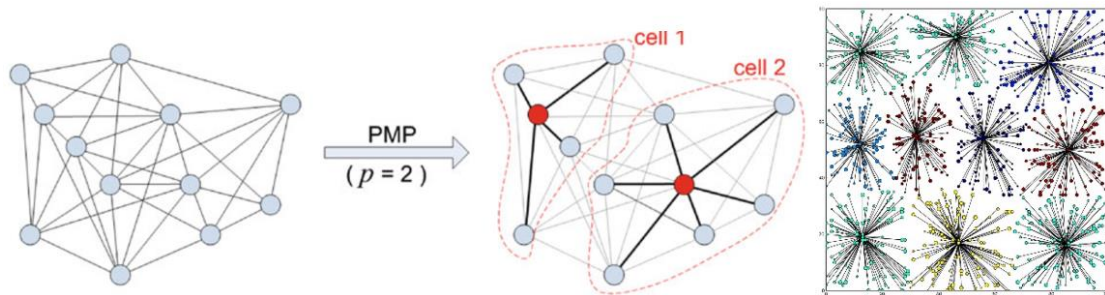


Fig. 18 : Partitionnement et allocation par plus court chemin dans un graphe complet non-planaire (Goldengorin et al., 2013)

Etant donné que la population sur un espace donné est en pratique presque toujours non-uniforme, une distribution uniforme des unités de service, comme schématisée par Christaller, serait dénuée d'utilité. Selon cette disposition, certaines unités localisées en territoire inhabité ou peu densément peuplé s'avèreraient inutilisées ou sous-utilisées. Une méthode de localisation plus intuitive consisterait alors à s'inspirer des densités de population observées pour y adapter la densité de services. Cependant, cette distribution serait légèrement sous-optimale, car plus la densité d'unités de services est élevée, plus il se révèle possible d'en retirer certaines moyennant une pénalité très restreinte en termes d'accessibilité. La solution optimale se trouverait donc à quelque part entre ces deux extrêmes (Gastner & Newman, 2006). Ce point d'équilibre a été démontré mathématiquement : une distribution optimale des unités de services suivrait une loi de densité de population élevée à la puissance $\frac{2}{3}$ (Bunge, 1966; Gusein-Zade, 1982). La densité des unités de service augmente dans ce cas plus lentement que de façon strictement linéaire relativement à la densité de population [Fig.19].

Afin d'observer à quel point la densité d'unités de service est liée à la densité humaine, la méthode utilisée recourt à l'utilisation de cartogrammes, permettant de déformer l'espace selon une projection d'égalisation de la densité humaine dans le but de générer des schémas aussi réguliers que possible. Cette façon d'appréhender le problème est unique et relativement récente (Gastner & Newman, 2006). Elle a très peu été mobilisée depuis ; on peut néanmoins citer son application dans le cadre d'une analyse

de la localisation des offices de postes et du réseau routier en Suisse (Kaiser, 2012). Elle a encore été partiellement reprise dans l'analyse d'une allocation empirique en Côte d'Ivoire conduite par l'un de ses co-auteurs (Gastner et al. 2014). Ce travail fait ainsi suite à cette brève liste et élargit les applications de cet outil.

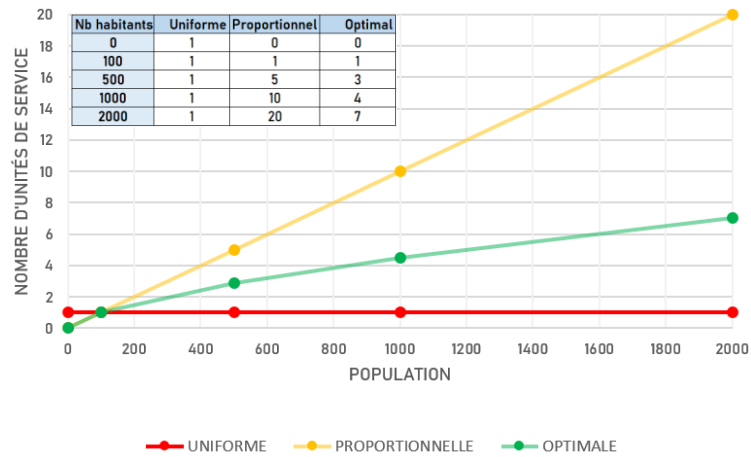


Fig. 19 : Effet des différentes méthodes de distribution des unités selon la densité de population

Quelques mots s'imposent dès lors sur la notion de *cartogramme* mobilisée ici. Ce terme désigne une carte géographique visant à représenter des données statistiques par des procédés graphiques (Bavoux & Chapelon, 2014). Ce procédé mobilise la variable rétinienne dite de *taille* (Bertin, 1967), appliquée non sur un symbole affilié au territoire mais sur la surface du territoire lui-même. Une telle carte ne représente ainsi plus les véritables dimensions des entités géographiques mais les accorde aux scores de la variable considérée. Par conséquent, un cartogramme est dénué d'échelle. Selon le type de cartogramme choisi, on sacrifie plus ou moins les morphologies et la topologie au profit de l'information statistique. L'emploi de cet outil engendre ainsi une projection de l'espace axée sur la population, ce qui permet d'établir géométriquement une relation entre les localisations de ladite population et d'une distribution ponctuelle donnée, à l'instar des unités d'un type de service.

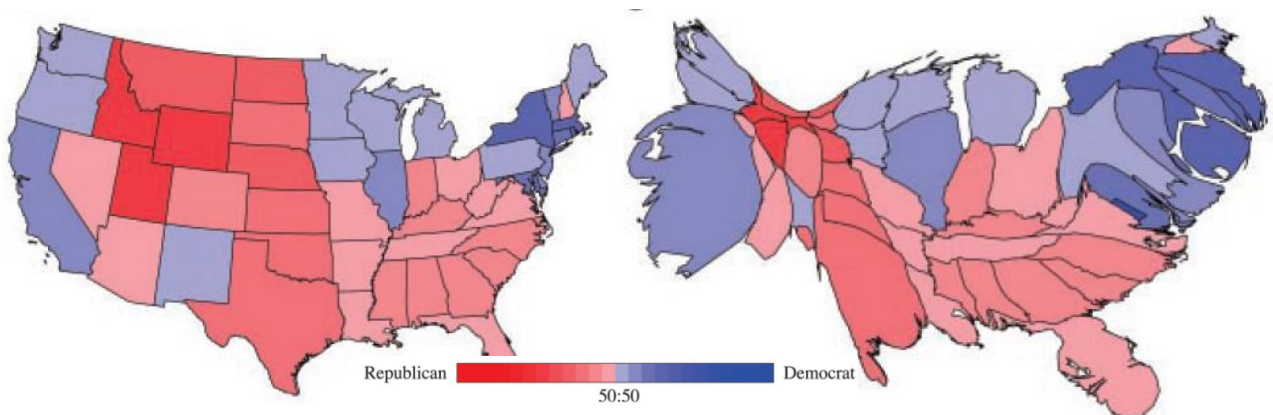


Fig. 19 : Cartogramme isodémographique de l'élection américaine de 2004 (Gastner & Newman, 2006)

4. Méthodologie et description des outils

4.1. Présentation

Dans une première partie, ce travail reprend la méthodologie proposée par Gastner et Newman et l'applique sur les types de services d'urgence présentés ci-avant [Fig.7-13]. Il s'agira de déterminer, pour chacun des sept types de service, la distribution la plus régulière comparée à la densité humaine. A ces fins, plusieurs cartogrammes seront générés selon différents exposants x définis comme :

$$\partial c = \partial h^x \quad (1)$$

Où ∂c est la densité à égaliser et ∂h la densité humaine. Dans ce travail, la densité humaine est comprise comme étant la somme du nombre d'habitants et du nombre d'emplois répertoriés dans un hectare donné¹, afin de prendre en compte à la fois les localisations diurnes et nocturnes (Kaiser, 2012). La régularité de la distribution des unités de service sera évaluée en étudiant le comportement de la variance de la superficie des polygones de Voronoï engendrés en fonction de x (Michael T. Gastner & Newman, 2006). Il sera ensuite possible de comparer si la distribution des unités de service sera la plus régulière dans le cas où $x \approx 0.66$ ou si elle suit d'autres logiques de type $x \ll 0.66$ ou $x \gg 0.66$. Le résultat ainsi obtenu donne un premier aperçu des éventuelles inégalités d'accessibilité entre zones faiblement et densément peuplées à l'échelle du système [Fig.20].

Alors que Gastner et Newman ont simulé par *annealing* la localisation optimale de 5000 unités de service hypothétiques sur le territoire d'étude pour ensuite y appliquer cette méthode et vérifier son exactitude, nous l'appliquerons ici directement sur de véritables unités de services. La méthodologie qui suit sera par ailleurs illustrée à l'aide d'un type de service public tiers. Préalablement à son application sur les sept types de services d'urgence précédemment décrits, nous testerons d'abord le modèle sur les localisations des établissements scolaires secondaires [Fig.20]. Pour ce service d'instruction publique et obligatoire, et selon la stratégie d'implantation dans les centres locaux voulue par le Canton (Etat de Vaud, 2018), nous nous attendons à ce que la relation entre la densité de population et la densité des établissements entretienne une relation assez similaire à celle décrite par la littérature, où la distribution est la plus régulière pour $x \approx 0.66$.

¹ De plus amples informations sur la méthode exacte de comptage sont disponibles sur le site de l'OFS:

- Pour la statistique des habitants : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/services/geostat/geodonnees-statistique-federale/batiments-logements-menages-personnes/population-menages-depuis-2010.html>
- Pour la statistique des emplois : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/industrie-services/enquetes/statent.html>

$x = 0$	Distribution des unités de service uniforme dans l'espace euclidien (aucune déformation nécessaire), selon une logique isotropique et christallérienne. La localisation effective des bassins de population ne joue aucun rôle sur une telle répartition.
$x \rightarrow 0^+$	Distribution des unités de service quasiment uniforme dans l'espace habité (les zones non-habitées ne sont pas prises en compte). La localisation des différentiels effectifs de densité de population ne jouent aucun rôle sur une telle répartition.
$x = \frac{2}{3}$	Distribution des unités de service « optimale » selon la littérature (Bunge, 1966 ; Gusein-Zade, 1982 ; Gastner & Newman, 2006). Il s'agit de la distribution attendue dans le cas d'un service public considéré comme « standard ».
$x < \frac{2}{3}$	Densité des unités de service plus importante qu'attendue dans les zones à faible densité de population. Dans ce cas, on tend à privilégier l'équité spatiale, on cherche à limiter les inégalités en dépit d'une efficacité moindre.
$x > \frac{2}{3}$	Densité des unités de service plus importante qu'attendue dans les zones à haute densité de population. Dans ce cas, on tend à optimiser l'efficacité, en dépit d'une équité spatiale moindre.
$x = 1$	Densité des unités de service augmentant conjointement à la densité de population
$x < 1$	Densité de population augmentant plus rapidement que la densité des unités de service. Dans ce cas, les zones rurales sont souvent mieux équipées que les zones urbaines, proportionnellement au nombre d'habitants.
$x > 1$	Densité des unités de services augmentant plus rapidement que la densité de population. Dans ce cas, les zones urbaines sont souvent mieux équipées que les zones rurales, proportionnellement au nombre d'habitants.

Fig.20 : Signification de l'exposant x


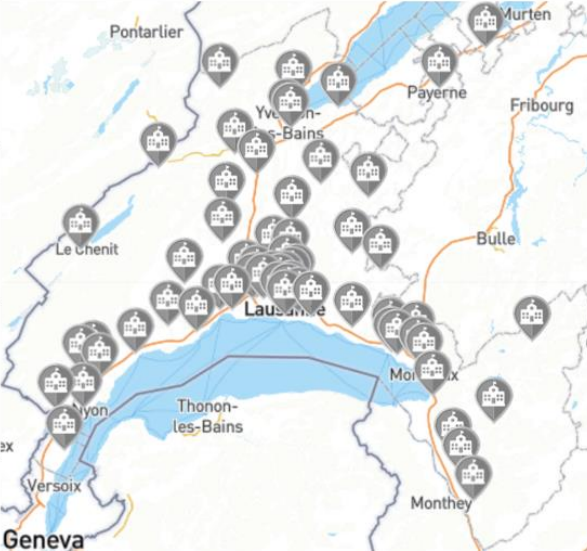
Logo VD-SerVIS	Code	Type de service	Nb. unités	Distribution spatiale des unités (VD-SerVIS)
	ECS	Etablissements scolaires de degré secondaire	62	
Définition				
Ce type de service regroupe tous les établissements scolaires publics de degré secondaire (9-11 ^{ème} années Harmos) localisés sur le territoire vaudois et listés par la Direction Générale de l'Enseignement Obligatoire (Etat de Vaud, 2019).				
Acquisition				
Le site web de l'Etat de Vaud recense les coordonnées de tous les établissements primaires et secondaires du canton, classés par région. Seuls les établissements secondaires (EPS ou ES) ont été extraits des différentes listes.				
Remarques				
Service implémenté à des fins de test. Pour les analyses relatives à ce type de service, seule la population résidente a été prise en compte.				

Fig. 20 : Fiche de présentation du type de service-test « ECS – Etablissements scolaires de degré secondaire »

Pour une analyse plus locale et portée à l'échelle individuelle, l'application VD-SerVIS propose ensuite un complément à cette méthode, en attribuant à chaque maille (hectare) de population l'unité de service la plus proche. Contrairement aux méthodes géométriques, celle-ci se base sur un véritable calcul du temps de trajet. Elle considère toutes les différentes façons de relier deux points dans l'espace en empruntant le réseau routier et ne retient que la plus rapide (principe du *routing*). Pour un hectare donné, le temps de trajet est calculé pour plusieurs unités proches, puis le plus court chemin entre eux définit l'allocation. On aboutit ainsi à la création d'aires d'influence ou de bassins. Ce procédé s'apparente à la création de polygones de Voronoï, bien qu'il ne se base non pas sur la distance euclidienne (géométrique) mais sur un prototype d'espace déformé en fonction des temps de trajets [Fig.21]. Sous ce regard, il s'agirait là également d'une catégorie d'anamorphose (*carte des distances temporelles* (Spiekermann & Wegener, 1994)), à distinguer toutefois des cartogrammes de population. Finalement, différentes statistiques d'accessibilité seront menées relativement aux bassins formés.

Une fois la méthodologie commentée et confrontée à ce premier type de service, le prochain chapitre présentera directement les résultats obtenus selon la même méthodologie pour les sept types de services d'urgence.



Fig. 21 : Exemple d'anamorphose linéaire ayant pour variable les temps de trajets ferroviaires en Europe en 1993 (Spiekermann & Wegener, 1994)

4.2. Préparation des données de base

Les données de localisation des unités de service consistent à l'origine en un simple tableau, souvent établi manuellement selon les données récoltées sur les différents sites web. Au minimum l'adresse physique et la dénomination de l'entité sont relevés. À cela est ajouté un ID unique pour chaque entité.

Bien que les informations de base figurent pour chaque entité, elles ne sont pas encore géolocalisées et ne peuvent pas être projetées dans un SIG [Fig.22].

ID ▲	Nom	Adresse	NPA	Ville
1	ECS1	EPS d'Apples-Bière et environs	Route de Cottens 17	1143 Apples
2	ECS2	EPS d'Aubonne et environs	Chemin du Collège 9	1170 Aubonne
3	ECS3	EPS de Begnins - L'Esplanade	Route de Saint-Cergue 5	1268 Begnins
4	ECS4	EPS de Bex	Chemin Pré de la Cible 3	1880 Bex
5	ECS5	EPS de Bussigny et Villars-Ste-Croix	Rue des Collèges 2B	1030 Bussigny
6	ECS6	ES de Coppet - Terre-Sainte	Route de Founex 31	1296 Coppet
7	ECS7	EPS de Cossonay - Penthalez	Pré aux Moines 5	1304 Cossonay
8	ECS8	EPS de Crassier - Elisabeth de Portes	Rue de la Tour 55	1263 Crassier
9	ECS9	EPS de Cugy et environs	Chemin de la Combe 5	1053 Cugy

Fig. 22 : Exemple de données brutes récoltées relatives aux n unités de services du type étudié.

À ce stade, seule l'adresse physique représente une possibilité de localisation des unités dans l'espace. Certaines applications permettent la transformation d'adresses physiques en coordonnées géographiques (principe du *geocoding*), à l'image de GoogleMaps. Au vu du nombre important d'unités de services (env. 1550 entités réparties en 8 types de services), la conversion via des requêtes manuelles successives sur une interface graphique (GUI) n'apparaît pas indiquée. En revanche, il existe certaines API (*Application Programming Interface*), dont l'API Geocoding développée par Google permettant de mobiliser l'algorithme de conversion selon un input et une méthode variables. Après concaténation des champs d'adresse, le géocodage a été réalisé directement en invoquant l'API Geocoding via la VBA (Visual Basic for Applications) de Microsoft Excel. Une nouvelle formule Excel personnalisée est ainsi générée afin de renvoyer les résultats des requêtes API basées sur le champ d'adresse (Samaras, 2020). Ce procédé permettant la géolocalisation des unités de service par leurs coordonnées géographiques, le fichier généré peut être importé sur un SIG sous une extension .csv [Fig.23].

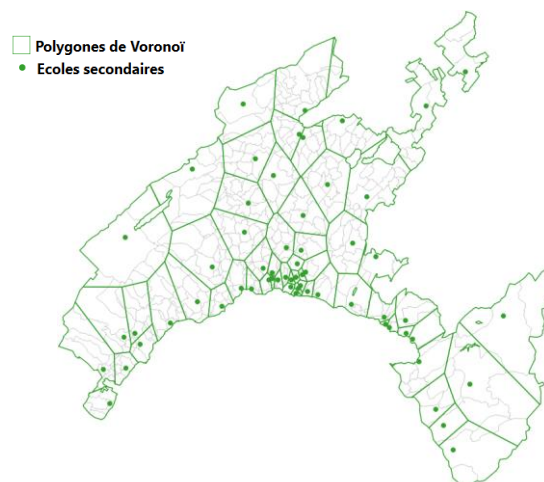


Fig. 23 : Localisation des écoles secondaires (ECS) et partitionnement en polygones de Voronoï sur QGIS 3.12

Les données hectométriques de population [Fig.6] peuvent également accompagner cette partition afin que les deux jeux de données puissent être spatialement mis en relation.

4.3. Régression simple

À ce stade, Gastner et Newman proposent un premier outil relativement simple et rapide à mobiliser pour obtenir une première approximation de la valeur à conférer au paramètre x pour régulariser au mieux la structure spatiale. Il s'agit d'une analyse par régression simple, susceptible de s'opérer avant même de procéder à toute reprojexion. Elle vise à établir graphiquement la relation entretenue entre D et ∂h , sachant que :

$$D(r) = \frac{1}{s(r)} \quad (2)$$

où $D(r)$ est la densité des unités de service dans le polygone de Voronoï r et $s(r)$ la surface du polygone de Voronoï r . Comme par définition, chaque polygone ne contient qu'une seule unité de service, le seul paramètre capable de faire varier la densité des unités de service $D(r)$ est effectivement la superficie $S(r)$. Finalement, $\partial h(r)$ s'obtient naturellement en divisant la population $h(r)$ par $s(r)$. Pour ce faire, une jointure spatiale sur SIG entre les données de population et les polygones de Voronoï permet de comptabiliser $h(r)$. La relation entre ces deux variables se communique de préférence dans un repère log-log (ou *log-log plot*) [Fig.24].

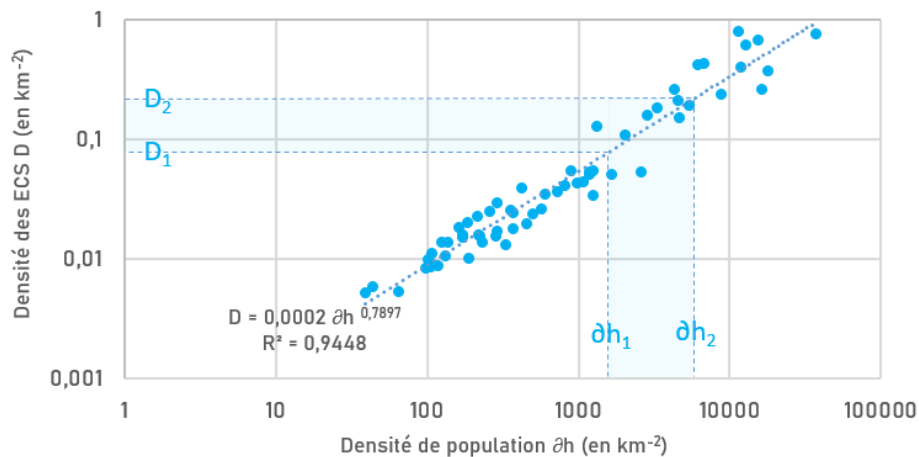


Fig. 24 : Régression sur D et ∂h dans le cas des ECS

La valeur à conférer au paramètre x pour régulariser au mieux la structure spatiale est ici donnée par la pente de la droite de régression (Gastner & Newman, 2006). Dans un repère logarithmique double, elle est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\log(D_2) - \log(D_1)}{\log(\partial h_2) - \log(\partial h_1)} \quad (3)$$

Au-delà de son calcul graphique, il est également possible de définir la pente directement en consultant l'expression de la fonction de régression. En effet, elle lie D à ∂h en élevant ∂h à une puissance qui constitue par définition la valeur recherchée. Dans le cas des établissements secondaires, on en conclurait à la lecture de l'expression de la fonction de régression que $D \propto \partial h^{0.79}$.

Cette première estimation ne repose pas pleinement sur des fondements statistiques solides. En effet, les deux variables ne sont pas strictement indépendantes, dans le sens où elles impliquent toutes deux l'emploi de $s(r)$ dans leur définition. On peut ainsi craindre l'éventuelle formation d'une fausse corrélation (cf. Messerli et al., 2012; Linthwaite & Fuller, 2013), ce qui explique également pourquoi le coefficient de détermination R^2 tend à être élevé. Deuxièmement, l'estimation de l'exposant d'une loi exponentielle par recours à une droite de régression linéaire peut potentiellement induire certains biais (Newman, 2005). Sur les huit types de service testés, on observe une différence moyenne de ± 0.15 entre la méthode par régression et la méthode par cartogrammes, ce qui est non-négligeable. On peut donc effectivement avancer qu'il ne s'agit que d'une estimation rapide et grossière.

4.4. Projection d'égalisation de la densité

Pour rappel, sous la condition extrêmement peu réaliste que l'espace soit uniformément peuplé, la localisation optimale des services se résumerait à y appliquer une grille triangulaire régulière de façon aléatoire et à disposer les unités de services sur chaque vertex [cf. Fig. 16], selon un maillage plus ou moins serré en fonction de la portée adéquate (Christaller, 1933; Lösch, 1944). L'idée sous-jacente à la présente méthode est de reproduire ce cas de figure, à l'exception près que qu'elle ne s'applique plus à un espace euclidien mais à un espace proportionnel à la démographie. Celui-ci résulte d'une projection cartographique égalisant la densité de population, plus répandue sous le nom de *carte en anamorphose* ou simplement *cartogramme*. De façon plus générale, la production de cartogrammes s'inscrit dans un procédé consistant à donner à des objets géographiques (p.ex. les géométries des cantons suisses) ou à des carroyages des dimensions proportionnelles à une quantité qui leur est rattachée (Bavoux & Chapelon, 2014). Dans le cas présent, nous déformerons le carroyage rectangulaire formé par les hectares de recensement de l'OFS en fonction de la population qui y est déclarée [Fig.25].

Si la variable métrique retenue est h^0 , aucune déformation n'a lieu, car les géométries possèdent toutes l'attribut "1", l'espace reste donc euclidien. Si la variable métrique retenue est $h^{0.001}$, presque aucune déformation n'a lieu, à l'exception des valeurs nulles qui sont supprimées et ne sont plus traitées également aux autres. Les hectares inhabités revêtent cette fois l'attribut "0" et sont de fait réduits au minimum, alors que les hectares peuplés demeurent quasiment uniformes entre eux. Lorsque la variable métrique est $h^{0.5}$, les zones densément habitées sont mises en évidence, et on assiste à un « gonflement »

des hectares et communes peuplées par rapport au reste du territoire. A ce niveau, il est par exemple possible de discerner la position des villes importantes. Finalement, dans le cas où la variable métrique est la population effective elle-même (h^1), on assiste à une projection isodémographique, où la densité de population est constante sur l'ensemble du canton.

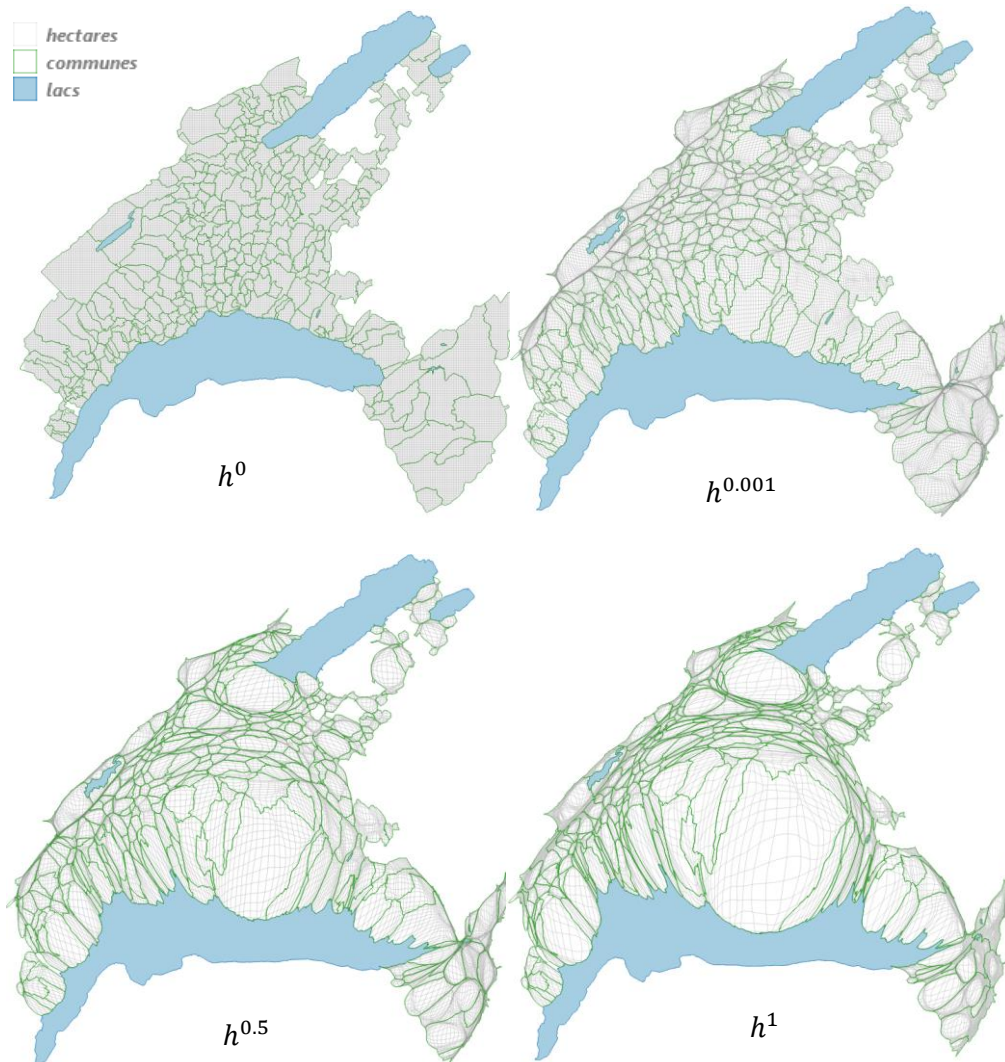


Fig. 25 : Exemples de déformations des géométries selon leur valeur de population h

Le procédé de transformation des géométries en entités non-métriques est le point central des différentes approches émises (cf. Dorling, 1996; Tobler, 2004). Dans ce travail, les transformations seront opérées selon l'algorithme de Gastner et Newman utilisant une méthode de diffusion, tout en respectant la topologie initiale et la cardinalité (*anamorphose contigüe*) (cf. Gastner & Newman, 2004). Ces processus complexes sont parfois implémentés dans des structures logicielles en vue d'une manipulation simplifiée. Dans notre cas, nous utiliserons le framework ScapeToad² qui mobilise cet algorithme (Andrieu et al. 2007). Les transformations opérées peuvent être schématisées comme suit [Fig.26] :

² Présentation de ScapeToad disponible en ligne : <http://scapetoad.choros.place>

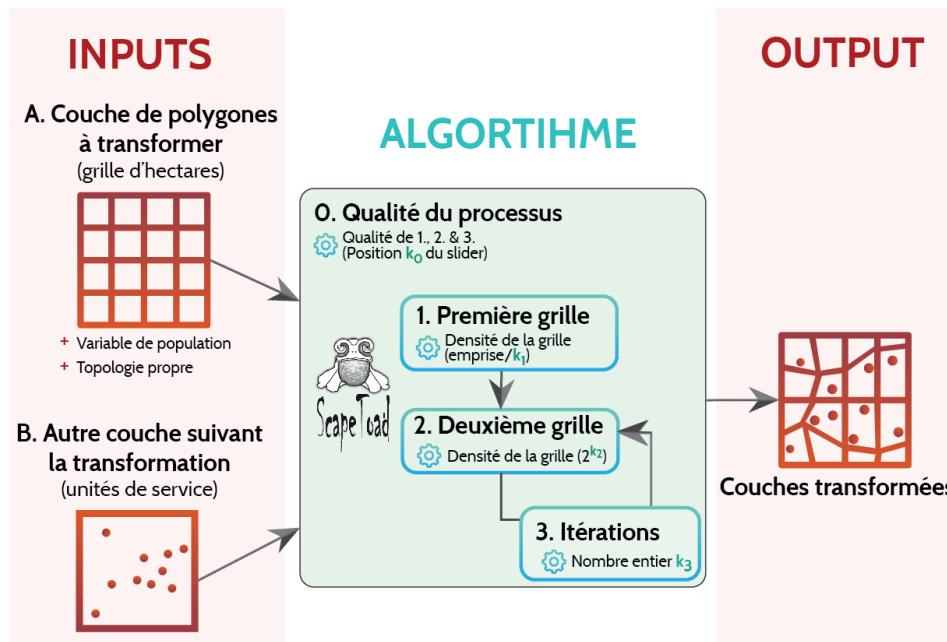


Fig. 26 : Schéma du processus de traitement opéré via ScapeToad

ScapeToad permet de renseigner plusieurs paramètres k influençant la qualité de la transformation. Puisque la couche d'entrée (A.) est une grille régulière couvrant 90×90 km, $k_1 = 900$ pour que la première grille (1.) corresponde exactement au carroyage à transformer (A.). Ensuite, puisque les entités à transformer sont très petites, on préférera un maillage fin, voire très fin pour la seconde grille (2.), comme par exemple $k_2 = 1024$. Le nombre k_3 d'itérations (3.) optimal tendant à être plus élevé lors d'un choix de grille fine en (2.), nous préférons ici $k_3 = 5$, comme préconisé. Finalement, la qualité des processus (1.), (2.) et (3.) peut être conjointement définie par k_0 qui sera ici maximal. Ces choix impliquent des temps de traitement élevés, mais délivrent des transformations précises. Pour chaque type de service, une quinzaine de cartogrammes a été générée pour évaluer la variance des polygones de Voronoï en fonction de ∂h^x . Les valeurs suivantes de x ont été testées : $\{0; 0,001; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5\}$. La grille en input (A.) doit donc ainsi contenir des valeurs de champs correspondant à h^x pour chaque valeur de x [Fig.27].

	POP	POP_0	POP_01	POP_02	POP_03	POP_04	POP_05	POP_06	POP_07	POP_08	POP_09	POP_10	POP_11	POP_12	POP_13	POP_14	POP_15
70	42,000	1,000	1,453	2,112	3,069	4,460	6,481	9,418	13,686	19,888	28,902	42,000	61,034	88,695	128,891	187,305	272,191
71	10,000	1,000	1,259	1,585	1,995	2,512	3,162	3,981	5,012	6,310	7,943	10,000	12,589	15,849	19,953	25,119	31,623
72	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
73	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
74	130,000	1,000	1,627	2,647	4,307	7,008	11,402	18,551	30,183	49,108	79,900	130,000	211,5...	344,138	559,920	911,005	1482,228
75	78,000	1,000	1,546	2,390	3,695	5,713	8,832	13,654	21,109	32,634	50,453	78,000	120,5...	186,429	288,219	445,587	688,877
76	20,000	1,000	1,349	1,821	2,456	3,314	4,472	6,034	8,142	10,986	14,823	20,000	26,986	36,411	49,129	66,289	89,443
77	13,000	1,000	1,292	1,670	2,159	2,790	3,606	4,660	6,022	7,783	10,059	13,000	16,801	21,714	28,062	36,268	46,872
78	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
79	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
80	19,000	1,000	1,342	1,802	2,419	3,247	4,359	5,851	7,855	10,544	14,154	19,000	25,505	34,238	45,960	61,696	82,819
81	6,000	1,000	1,196	1,431	1,712	2,048	2,449	2,930	3,505	4,193	5,016	6,000	7,177	8,586	10,271	12,286	14,697
82	126,000	1,000	1,622	2,631	4,267	6,921	11,225	18,206	29,530	47,896	77,684	126,000	204,3...	331,470	537,628	872,005	1414,346
83	145,000	1,000	1,645	2,706	4,451	7,321	12,042	19,807	32,580	53,591	88,152	145,000	238,5...	392,321	645,325	1061,488	1746,031

Fig. 27 : Exemple de table d'attribut de la grille d'input. En rouge : h^0 , en vert : $h^{0.66}$, en jaune : $h^{1.0}$

Une fois la transformation opérée, l'espace d'étude subit une déformation que les unités de services suivent également. Des polygones de Voronoï peuvent donc être appliqués sur cette nouvelle disposition. La variance totale de leurs surfaces est dès lors calculable [Fig.28]. Les résultats obtenus pour les différentes métriques seront présentés dans ce travail sous forme de graphiques. La valeur approximative de x pour laquelle la surface des polygones est minimisée est ainsi repérable graphiquement [Fig. 29].

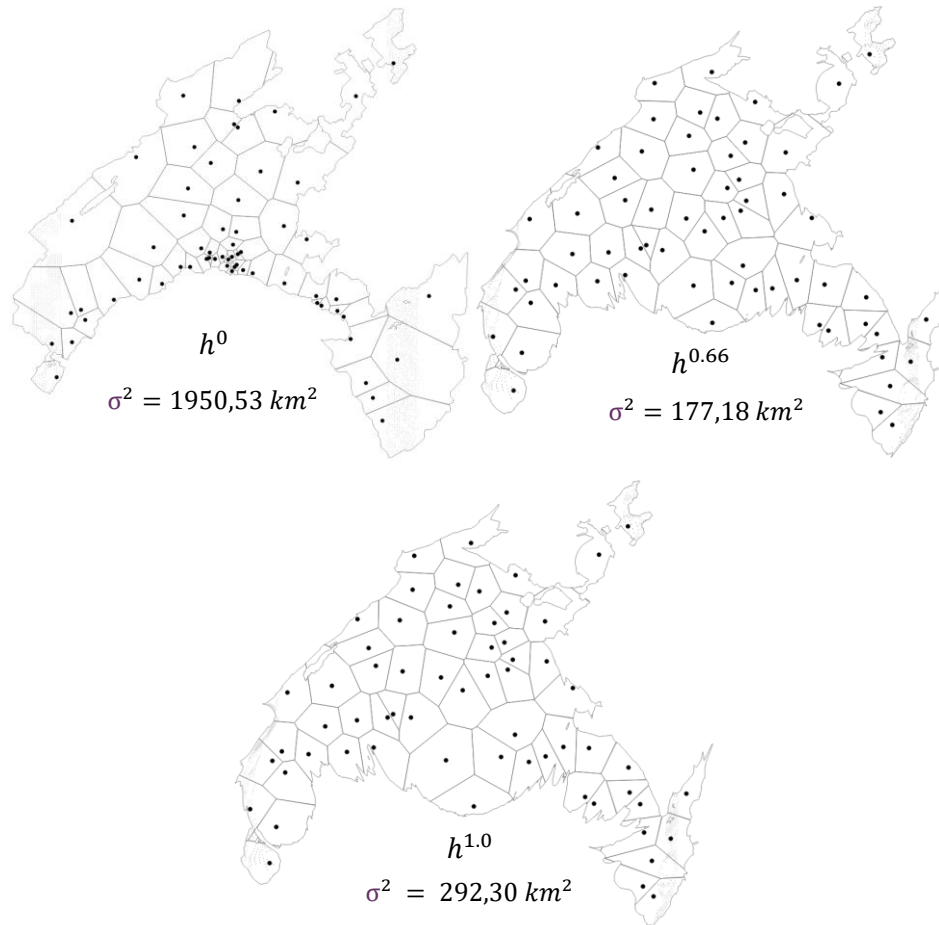


Fig. 28 : Variance des polygones de Voronoï appliqués aux cartogrammes obtenus

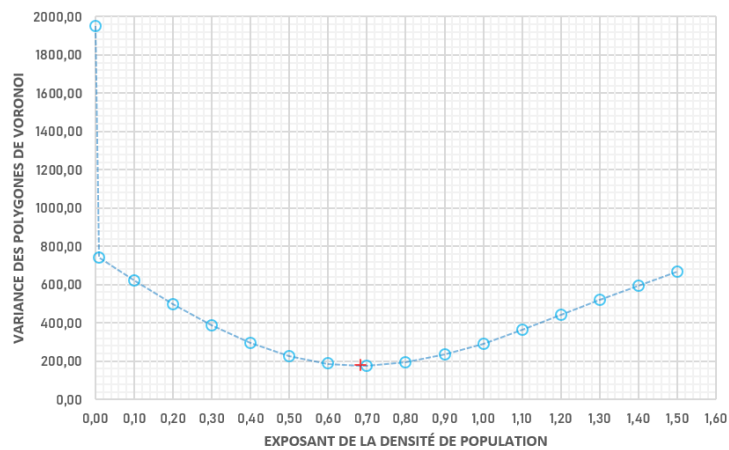


Fig. 29 : Distribution des établissements scolaires secondaires (ECS)

Il apparaît que le minimum de la courbe est situé à quelque part entre 0,6 et 0,7 sur l'axe des abscisses. Une interpolation par spline menée selon un script en R a permis de définir la valeur exacte du minimum de la courbe, dans ce cas situé à $x = 0,684$ pour une variance minimale de 176,93 km². Selon ces analyses, $D_{ECS} \propto \partial h^{0,684}$. Cette valeur est effectivement assez différente de celle obtenue par régression, et bien plus proche d'une distribution des unités optimale. Elle corrobore les hypothèses avancées précédemment au chapitre 4.1. sur la localisation des établissements secondaires. Le choix de leur localisation est donc un compromis avisé entre *égalité* (temps de trajets d'ordre relativement similaire pour tous) et *efficacité* (solicitation suffisante des services). Proportionnellement, les milieux ruraux semblent donc légèrement mieux équipés que les milieux urbains, bien que la distance moyenne à parcourir demeure logiquement moins importante en ville.

4.5. Routing et allocation par chemin le plus court

L'emploi de cartogrammes a permis la mise en évidence d'un phénomène à l'échelle du système, sans toutefois offrir des distinctions localisées. Il serait possible de répéter les opérations sur des sous-régions d'analyse pour y constater les différences. Ceci dit, le nombre réduit d'unités spatiales dans chaque sous-région rendrait potentiellement l'analyse moins précise. Par exemple, dans le cas des urgences hospitalières où $n = 11$, un partitionnement en sous-ensembles ne serait pas à privilégier. De même, réitérer cette technique sur de multiples régions ne permettrait toutefois pas véritablement de s'affranchir d'un niveau élevé de généralisation, sauf éventuellement pour n extrêmement grand. Dans cette éventualité cependant, on fait face à un problème important de ressources-temps.

Pour ces raisons, une méthode complémentaire est ici amenée. Elle s'effectue en deux temps. Dans une première phase, il est proposé d'opérer une méthode de routing à travers le réseau constitué des routes du canton afin de repérer le chemin le plus court entre une localisation l_1 et une unité de service u_1 . Il correspond au chemin entre les deux vertex l_1 et u_1 du réseau routier, tel que la somme des poids de ses arêtes constituantes est minimisée [Fig.30]. La même opération sera répétée pour l_1 avec u_2, u_3, \dots, u_n . Deuxièmement, les temps de trajets $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}$ obtenus à la première étape seront comparés afin de ne retenir que le plus faible parmi eux (t_{1k}). Dès lors, on associera la localisation l_1 à l'unité u_k . Cette démarche implique dans un premier temps de considérer l'ensemble du réseau routier comme réseau d'application, puis dans un second temps l'ensemble des plus courts chemins menant aux différentes unités de service (réseau en étoile). On recourt donc successivement à deux processus d'allocation par chemin le plus court, mais sur deux réseaux différents.

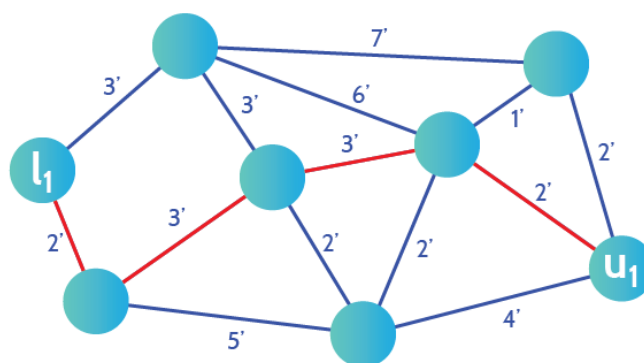


Fig. 30 : Illustration du plus court chemin (en rouge) entre l_1 et u_1 dans un réseau routier simple

Le réseau routier pondéré complet du canton de Vaud a été emprunté au logiciel open-source OpenTripPlanner³, dont les données sont initialement issues d'OpenStreetMap⁴. Une machine virtuelle Ubuntu de 16GB de RAM a été installée sur un serveur loué pour accueillir ces données. Il nous est ainsi possible d'accéder à une GUI du logiciel OTP à l'adresse IP correspondante en y ayant préalablement chargé le graphe des réseaux de transport suisses⁵ (Kaiser, 2020). De plus, une API permet également d'effectuer des requêtes directes, formulées par exemple dans une URL ou depuis un script. Afin d'appliquer la méthode décrite au paragraphe précédent sur notre cas d'étude, un script a été rédigé en Python. Ce dernier, consultable dans le dossier *scripts* du répertoire de l'application VD-SerVIS, permet de renvoyer un fichier .csv sur lequel sont alloués à chaque hectare l'unité de service la plus rapidement accessible [Fig. 31] et le temps de trajet qui s'y rapporte.

Avec les fichiers de localisation des unités de service, ces fichiers (un par type de service) constituent les données mobilisées pour une analyse locale de l'accessibilité via l'application de géovisualisation VD-SerVIS. Dans le répertoire de l'application, ces données sont présentes sous forme de fichier JavaScript. Elles contiennent ainsi les huit propriétés suivantes :

- ID (string) : Un géocode unique propre à l'hectare de référence
- LAT (double) : La coordonnée géographique indiquant la latitude du centre de l'hectare
- LON (double) : La coordonnée géographique indiquant la longitude du centre de l'hectare
- POP (integer) : Le relevé de population résidant dans l'hectare
- JOBS (integer) : Le nombre d'emplois localisés dans l'hectare
- POPJOBS (integer) : L'addition des deux champs précédents
- UNIT (string) : L'ID de l'unité de service la plus rapidement accessible
- TIME (string) : Le temps de trajet nécessaire pour atteindre cette unité (car, walk)

³ Lien vers la page d'accueil du projet : <http://www.opentripplanner.org/>

⁴ Données mises à disposition sous la licence ODbL (Open Database License) et créées par les contributeurs d'OpenStreetMap.

⁵ La méthode suivie est décrite ici : <https://github.com/christiankaiser/otp-example-ch>

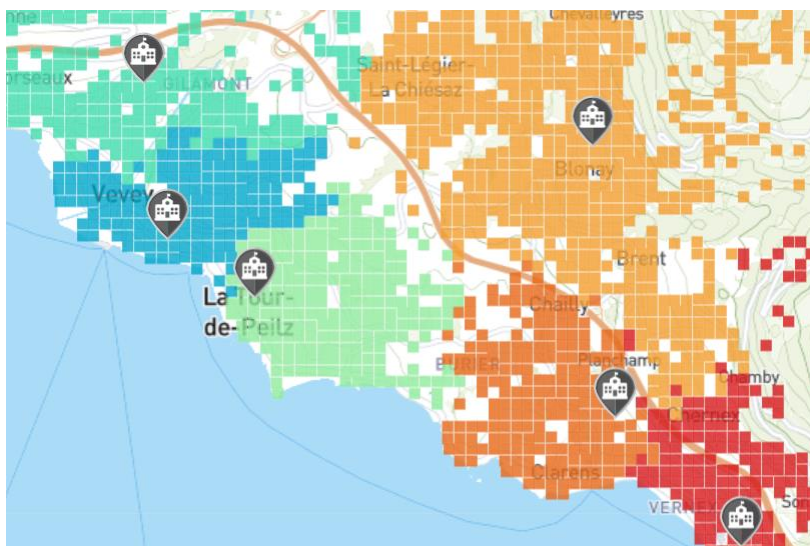


Fig. 31 : Exemple de résultat de l'allocation dans la région de la Riviera selon la minimisation du temps de trajet (screenshot VD-SerVIS)

Il est à noter que le fichier de sortie n'est souvent pas exempt d'erreurs. Parfois, aucun itinéraire ne peut être calculé par OTP entre les coordonnées centrales d'un hectare et une quelconque unité de service environnante. C'est souvent le cas lorsqu'un point de référence est situé un peu trop loin d'une route. Ce genre d'erreur a été observée pour environ 2% des points, alors que le processus de calcul se déroule convenablement dans 98% des cas [Fig. 32].

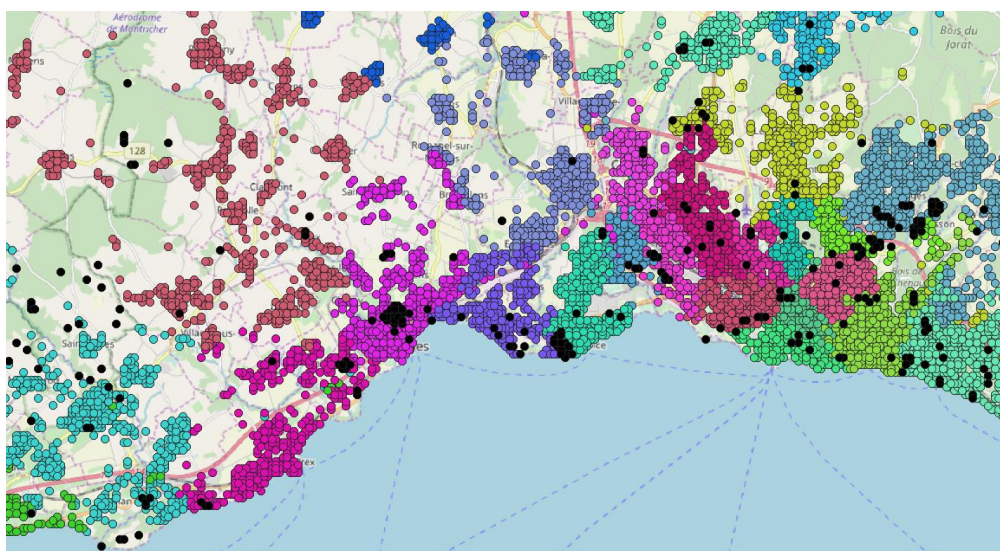


Fig. 32 : Repérage visuel des centroïdes d'hectares non-attribués (en noir) sur QGIS

Afin d'être en mesure de proposer un temps de parcours et de faire correspondre une unité également pour ces quelques hectares problématiques, une interpolation par moyenne mobile pondérée a été menée (IDW). Par cette méthode, les valeurs prédites sont des moyennes des valeurs voisines, où ces dernières

sont pondérées sur une base spatiale. Cette pondération est inverse à la distance euclidienne qui sépare un point dont la valeur veut être prédite à chacun des points du voisinage pris en considération pour la prédiction [Fig.33]. On peut formaliser cette approche avec la relation mathématique suivante (4).

$$\hat{z}(x_0, y_0) = \sum_{\alpha=1}^N \frac{\left[\frac{1}{d(x_0, y_0; x_\alpha, y_\alpha)^p} z_\alpha \right]}{\sum_{\beta=1}^N \left[\frac{1}{d(x_0, y_0; x_\beta, y_\beta)^p} \right]} \quad (4)$$

Où N est le nombre de voisins pris en considération, d la distance euclidienne, p le paramètre permettant de modéliser la friction de la distance, z_α la valeur mesurée au point de voisinage α et β tout point du voisinage retenu autre que α . En assignant de cette façon une valeur pour tout point du champ, on parvient à obtenir une interpolation continue, et en principe bien plus fine qu'avec une interpolation par polygones de Voronoï. Chaque point ayant généré une erreur peut ainsi être lié à la valeur du champ correspondant à son emplacement. Bien que ce procédé soit souvent sollicité pour interpoler des phénomènes physiques, il constitue une alternative envisageable à la détermination des temps de trajet de façon purement géométrique. La proportion restreinte de points calculés sur cette base et la proximité d'autres points similaires justifient la possibilité d'y recourir.

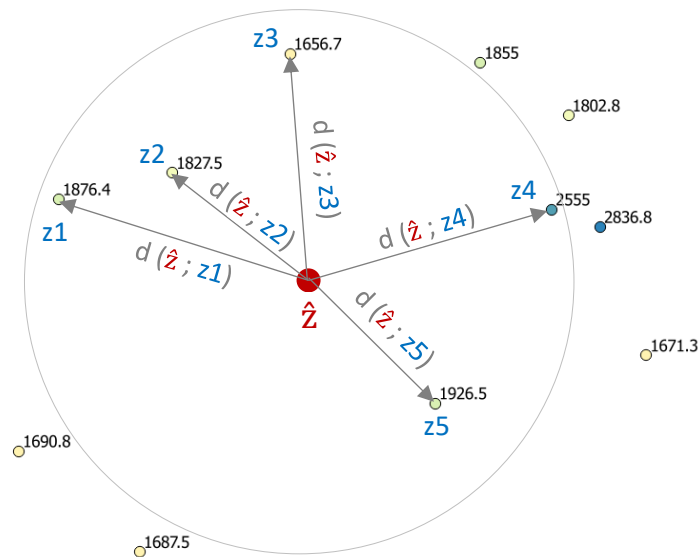


Fig.33 : Illustration d'une IDW avec les 5 plus proches voisins

4.6. Développement d'une application de géovisualisation dynamique

4.6.1. Introduction

Une fois les données d'allocation acquises, il s'agit de définir la façon de les analyser. Nous combinerons à cet effet visualisation cartographique et statistiques. Le recours au développement d'une application de géovisualisation dynamique permet de lier simultanément ces deux aspects. Elle est utile aussi bien pour révéler les structures brutes que pour y performer ensuite des analyses supplémentaires. La possibilité de création d'une interface graphique permet à l'utilisateur de visualiser les résultats de façon simple et guidée en fonction de ce qu'il souhaite analyser. L'application VD-SerVIS, créée pour l'occasion, est disponible en téléchargement depuis la page GitHub qui lui est dédiée⁶.

Un tableau de données brutes chiffrées reste difficile à appréhender pour le cerveau humain, particulièrement si ses dimensions sont importantes. Pourtant, notre perception visuelle permet de saisir des phénomènes complexes en quelques secondes, par une représentation graphique adaptée de ces mêmes données. C'est là le dessein de la visualisation. Dans cette optique, elle s'apparente à rendre visible un phénomène qui ne l'était pas a priori, à des fins de communication [Fig. 34].



Fig. 34 : Exemple de visualisation d'un phénomène thermique par échelle colorimétrique (Lindenberg Energie, 2018)

L'un des avantages notables de la visualisation dynamique sur la visualisation traditionnelle est la possibilité donnée à l'utilisateur de paramétrer son affichage et donc d'opérer un tri des données en fonction du but recherché. Cela permet ainsi de transmettre un volume bien plus large d'informations sur un seul support, sans pour autant occasionner une saturation visuelle (*feature creep*) [Fig. 35]. L'adage « simple is beautiful » est en effet inhérent aux concepts de visualisation.

⁶ Lien vers le repo GitHub : <https://github.com/nmonach2/VD-SerVis>. La structure des dossiers ne doit pas être modifiée après téléchargement, ceci empêcherait un fonctionnement normal de l'application. Elle peut être lancée en ouvrant le fichier .html avec un navigateur web (préférez Chrome).

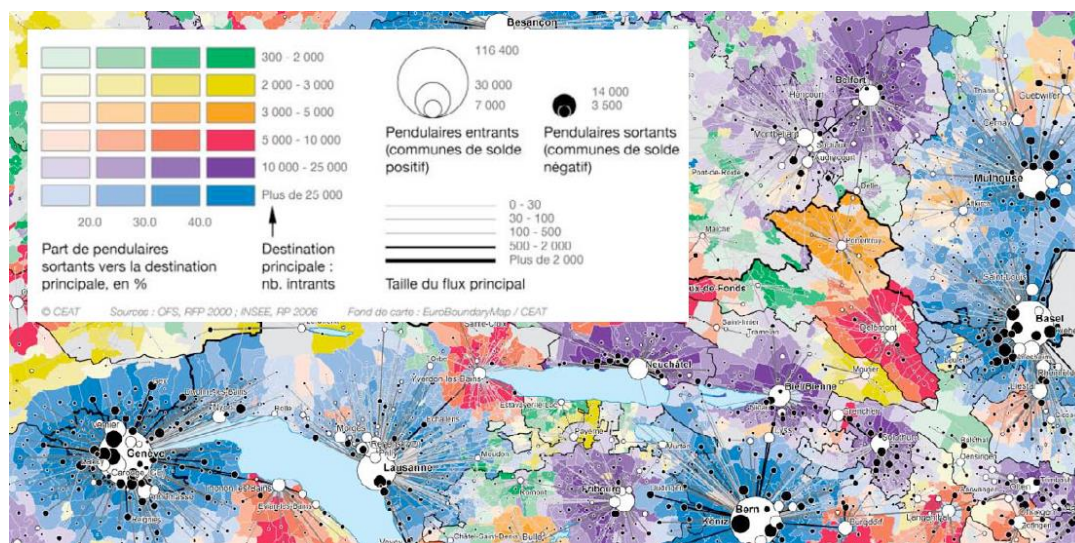


Fig. 35 : Un exemple de carte « ultravariée » (CEAT, 2006). Un recours à la visualisation dynamique permettrait par exemple de mieux structurer l'information sans toutefois la perdre.

4.6.2. Usage de l'application

Au-delà des avantages inhérents à la visualisation dynamique, VD-SerVIS cherche à répondre aux buts du présent travail, à savoir « relever (ou localiser), mesurer et communiquer les inégalités interrégionales d'accessibilité aux services d'urgence dans le Canton de Vaud ». Si l'analyse par cartogramme révèle certains schémas, ceux-ci seront précisés avec cet outil. La finesse de l'échelle de référence des données permet de répondre à la question « combien », sa combinaison à la carte permet également de pouvoir attribuer une localisation à ces phénomènes et de répondre à la question « où ? ».

Le public-cible de VD-SerVIS se divise en deux catégories. Premièrement, l'application peut apporter des informations et des résultats à un public scientifique (chercheurs, étudiants, etc.). En effet, de grands volumes de calculs divers peuvent être générés en fonction des paramètres souhaités, mettant ainsi à disposition un vaste choix de données. En second lieu, l'application se veut également opérationnelle, dans le sens où elle est susceptible de permettre aux responsables et planificateurs des services concernés de prendre certaines décisions via ce support, ou d'élargir leur connaissance du réseau et de ses enjeux sous-jacents en matière d'accessibilité.

L'application repose essentiellement sur le calcul du nombre d'habitants inclus dans une sélection spatiale. Chaque habitant (ou groupe d'habitants) possède des propriétés numériques supplémentaires d'accessibilité. Ces données donnent la possibilité de présenter quelques analyses statistiques de base qu'il sera possible de comparer en fonction des différentes sélections spatiales opérées. L'interface

proposée cherche à pouvoir simultanément demander des informations, puis les recevoir de la façon la plus aisée possible [Fig.36].

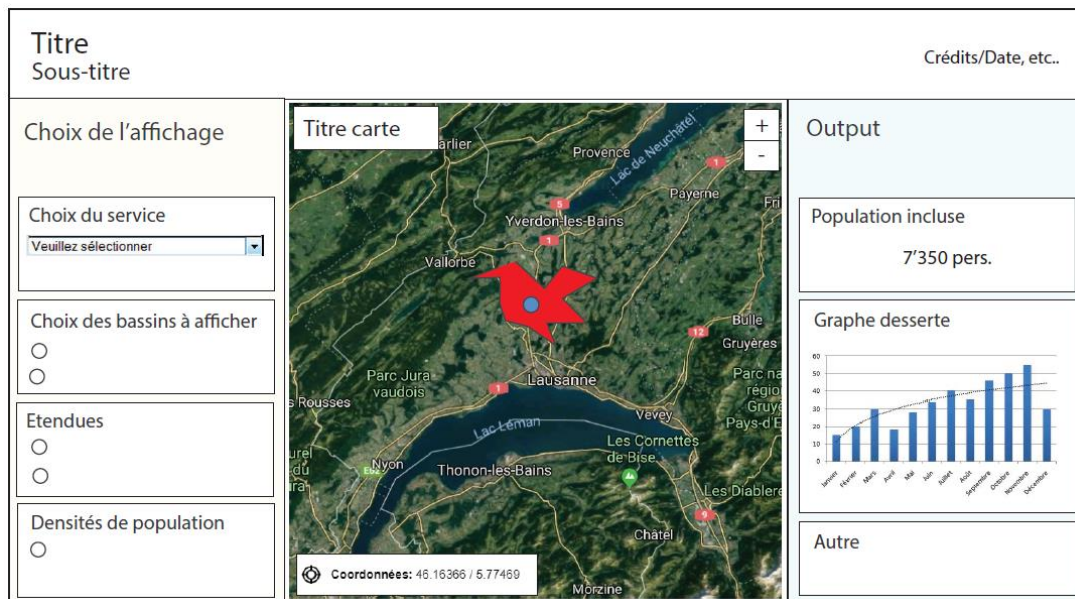


Fig. 36 : Premier prototype de l'application souhaitée avant sa phase de développement

Ces choix d'implémentation permettent d'apporter des éléments de réponses précis aux questionnements relatifs à l'analyse spatiale d'un réseau de services d'urgence (cf. chapitre 2.3). A titre d'exemple, il est possible d'obtenir les quelques informations suivantes très rapidement :

- Dans le canton de Vaud, le temps de trajet moyen pour atteindre une pharmacie depuis son logement est d'environ 2'05''. Depuis le lieu de travail, ce même temps descend à environ 1'36''.
- Environ 59% de la population vaudoise réside à plus de 10 minutes d'un centre d'urgences hospitalières. Par ailleurs, environ 63% des Vaudois-es habite à moins d'une minute d'un cabinet médical.
- En moins de 10', on peut théoriquement atteindre l'hôpital du Sentier depuis Le Brassus, Les Bioux et Le Lieu, mais pas depuis l'Abbaye (~ 13'), les Charbonnières (~ 14') ou le Pont (~ 16').
- La base ambulancière du CSU d'Aubonne dessert un bassin théorique d'environ 50'500 habitants. Il s'étend jusqu'à Le Vaud à l'Est et jusqu'à Mollens au Nord. Le temps de trajet moyen dans ce bassin est situé autour de 9'32'', ce qui est supérieur à la moyenne cantonale (+1'16'' minutes).

4.6.3. Structure de l'interface

Les dimensions absolues de l'affichage principal ont été fixées pour remplir exactement un écran de 13'', afin d'avoir directement la totalité des éléments disponible à l'écran pour la plupart des ordinateurs (même portables), sans besoin de faire défiler l'interface. Il est possible d'opérer une mise à l'échelle pour les plus grandes résolutions si souhaité.

L'interface de VD-SerVIS se divise en quatre blocs distincts [Fig. 37] :

- A. Le bandeau
- B. Les paramètres de sélection
- C. La carte
- D. Les résultats de la sélection

Chacune de ces entités possède une fonction qui lui est propre. Le bandeau (A) n'entre pas à proprement parler dans le processus de visualisation dynamique. Il présente le logo et le titre de l'application et intègre à son extrémité droite un bouton de redirection vers la page GitHub de l'application, ainsi qu'un second bouton conduisant directement à la section d'aide.

Les paramètres de sélection (B) permettent à l'utilisateur de choisir les données qu'il souhaite afficher et consulter. L'interaction avec ce bloc déclenche la très grande majorité des évènements, dont les résultats sont visibles en (C) ou (D), mais également en (B) pour mieux guider l'utilisateur [Fig.38].

La carte (C) est le lieu d'affichage des données géographiques. Il est parfois possible d'interagir également avec certaines d'entre elles. Outre les fonctionnalités conventionnelles (zoom, recadrage,...), un bouton additionnel prévu par la librairie Leaflet peut également contrôler le fond de carte souhaité. Concernant ces derniers, trois différentes variantes s'offrent à l'utilisateur. Parmi eux figurent deux fonds personnalisés édités via Mapbox : un fond vierge (blanc, comprenant uniquement les toponymes importants) et un fond augmenté (avec routes, relief, utilisation du sol, etc...). Des photographies aériennes ESRI sont aussi disponibles (crédits dans l'app).

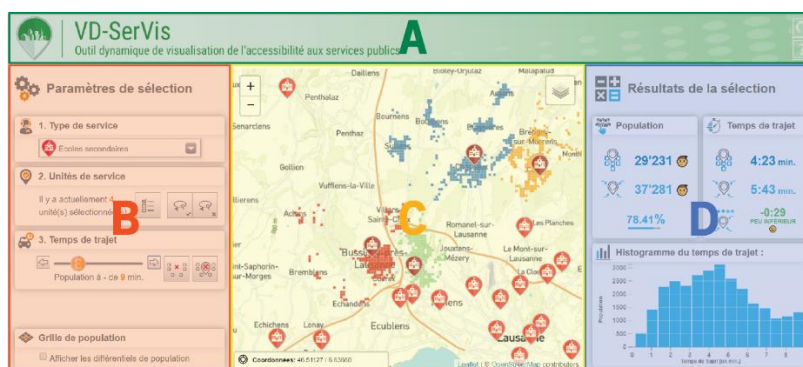


Fig. 37 : Structure de l'interface de VD-SerVIS

Pour pouvoir accéder à une sous-section, il faut préalablement avoir renseigné la précédente. Ce procédé permet une navigation logique à travers les paramètres. Le choix du type de service (1) permet de choisir, à travers une liste déroulante à icônes, sur quel type de service les analyses seront menées. Consécutivement, les marqueurs des unités correspondantes s'affichent sur la carte. Le choix des unités de service (2) s'offre alors : il permet de sélectionner tout ou partie des unités de service. Une unité de service sélectionnée arbore sur la carte un coloris légèrement différencié, plus foncé [Fig.39].

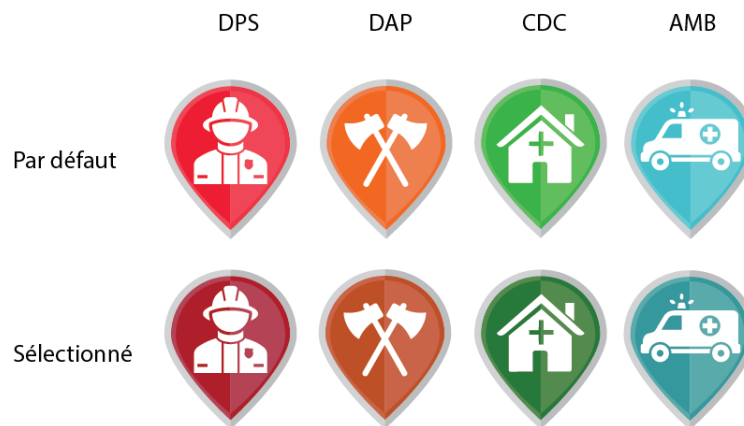


Fig.39 : Changement d'apparence des marqueurs personnalisés selon leur statut

VD-SerVIS offre trois façon différentes pour sélectionner une ou plusieurs unités de service :

- Un formulaire de cases à cocher (outil *CHECKBOX*)
- Un clic sur les marqueurs de la carte (outil *POPUP*)
- Un outil *LASSO*⁷ pour une sélection spatiale

L'outil *CHECKBOX* s'ouvre par un clic sur le bouton correspondant. Une fenêtre regroupant l'entièreté des unités de service s'ouvre à cette action, et l'utilisateur peut choisir, soit une ou plusieurs unités de service, soit leur totalité en cliquant sur la boîte à cocher correspondante. Décocher une case préalablement cochée désélectionne l'unité correspondante. Cet outil n'est pas accessible pour les types de service PHA et MED en raison du nombre trop important d'unités spatiales dans ces deux cas. Cet outil est utile pour sélectionner une unité sans avoir à la localiser sur la carte.

L'outil *POPUP* est mobilisable depuis le bloc de la carte. L'utilisateur peut cliquer sur un marqueur pour générer un popup contenant à la fois des informations sur l'unité spatiale, mais également la possibilité de la sélectionner. Un popup déjà sélectionné est également désélectionnable par ce même procédé. Cet outil est utile pour pouvoir sélectionner une unité repérée sur la carte.

⁷ Plus d'informations sur cet outil ici : <https://github.com/zakjan/leaflet-lasso>

Enfin, l'outil LASSO permet une sélection spatiale unique ou multiple. Tout comme l'outil CHECKBOX, il s'active par un clic sur le bouton correspondant. Le curseur change alors d'apparence lorsqu'il passe sur la carte. Il est possible de tracer manuellement sur la carte une géométrie pleine en gardant le bouton gauche de la souris enfoncé. Après relâchement, toutes les unités de service contenues dans la forme dessinée sont sélectionnées. Un autre bouton permet d'engager un lasso « inverse » qui désélectionne les unités de façon analogue. Cette outil est utile pour opérer une sélection multiple selon une logique spatiale.

Il est possible de combiner à guise ces trois outils pour sélectionner/désélectionner les unités. Quelle que soit la méthode utilisée, les marqueurs sélectionnés seront remplacés et la case correspondante dans l'outil CHECKBOX cochée. Egalement, un décompte du nombre d'unités sélectionnées est mis à jour après chaque sélection. Ce dernier est visible dans la même sous-section (2).

Le choix du temps de trajet considéré (3) s'effectue en déplaçant le bouton d'un slider. Celui-ci varie entre zéro et 50 minutes. Dernier paramètre à renseigner, le slider provoque, lorsqu'il est sollicité, le calcul de toutes les statistiques du bloc (D) et la mise à jour des hectares de population correspondants sur la carte (C). Par exemple, si le bouton du slider est réglé sur la position « 8 minutes », tous les hectares situés à moins de 8 minutes de l'unité à laquelle ils sont alloués seront affichés. Les statistiques (D) porteront sur cette même sélection. Il est possible de faire coulisser le bouton du slider d'un cran vers la gauche où vers la droite en cliquant sur les touches fléchées à proximité. Egalement, les hectares affichés sur la carte peuvent être supprimés, et/ou les unités sélectionnées réinitialisées en cliquant sur les boutons correspondants.

Enfin, une dernière sous-section permet de préciser si les calculs doivent être menés sur la population résidente, sur la population relativement à son lieu de travail, où s'il faut tenir compte des deux à la fois. Une case à cocher permet également de rendre compte de la densité de population en utilisant l'opacité comme variable visuelle. Si cette option est activée, la visualisation est meilleure sur un fonds de carte neutre et clair.

Parmi les résultats statistiques (D), on peut consulter :

- La population incluse dans les zones affichées sur la carte
- La population totale dans le bassin d'influence des unités sélectionnées
- Le rapport en pourcentage entre les deux valeurs précédentes, avec une barre de progression
- Le temps de trajet moyen pour rejoindre l'unité la plus proche parmi les zones affichées sur la carte
- Le temps de trajet moyen pour rejoindre l'unité la plus proche parmi les bassins d'influence des unités sélectionnées

- L'écart à la moyenne vaudoise parmi les bassins d'influence des unités sélectionnées
- Un histogramme du temps de trajet pour rendre compte de la distribution de la population dans les zones affichées sur la carte.

Lorsque l'utilisateur décide de changer de type de service, toute la sélection et les statistiques sont réinitialisées. Il en va de même avec les outils de suppression.

4.6.4. Structure des fichiers de l'application

L'application VD-SerVIS a été développée en trois langages différents. Premièrement, le langage de balises HTML permet de créer et de structurer les éléments visibles de l'interface. Par exemple, chacun des quatre blocs principaux de l'interface correspond à un <div> spécifique. Ce type de fichier s'ouvre dans un navigateur web et précise s'il s'agit de mobiliser d'autres fichiers annexes lors de son ouverture. Tous les autres fichiers utiles au fonctionnement l'application y sont donc mentionnés. Parmi eux, un fichier écrit en CSS permet de définir le style, aussi bien que le positionnement exact de chaque élément de la page. Finalement, le langage JavaScript permet d'ajouter l'interactivité nécessaire au dynamisme de l'application. C'est dans ce fichier qu'il est précisé quels événements doivent se produire lorsque l'utilisateur intente une action donnée. Il s'agit aussi du format sous lequel les données de population et relatives aux services sont traduites. Les fichiers suivants figurent dans le répertoire de l'application et sont nécessaires au fonctionnement correct de VD-SerVIS :

Nom du fichier	Type de fichier	Description
index_app.html	Script HTML	Structure de l'app (à lancer avec Chrome)
style_app.css	Script CSS	Styles de l'app
index_app.js	Script JS	Interactivité de l'app
..._units.js	Script JS – Fichiers de données	Localisation des unités de service et propriétés. Les trois premiers caractères du nom de fichier correspondent à l'ID du type de service auquel il se rapporte. On compte donc un fichier de ce genre par type de service.
...hectares.js	Script JS – Fichiers de données	Fichiers de données en format JS - Localisation des hectares de référence et propriétés. Les trois premiers caractères du nom de fichier correspondent à l'ID du type de service auquel il se rapporte. On compte donc un fichier de ce genre par type de service.
favicon.ico	Fichier d'icône	Logo de l'app, affiché dans l'onglet de navigation de la page
images	Dossier de fichiers	Comprend les pictogrammes et les marqueurs utilisés, préférentiellement en .svg
data	Dossier de fichiers	Comprend les données de localisation des services en .csv
script	Dossier de fichiers	Comprend le script d'allocation recourant à OTP ayant permis de générer les données utilisées

Fig.40 : Liste des fichiers de l'application

Comme mentionné préalablement, du code Python a aussi été généré pour l'obtention des données, mais ce dernier n'est pas une composante directe de l'application. Si les fichiers HTML et CSS suivent une structure relativement standard, la structure du fichier JavaScript est brièvement explicitée. Ce fichier a été commenté et séparé en six sections, dont chacune contient des sous-sections. La table de structure du fichier s'y rapporte [Annexe 1].

5. Résultats

5.1. Structure et éléments

Cette section présente les résultats qu'il a été possible d'obtenir à la lumière des démarches précédemment explicitées. Pour chaque type de service, une fiche récapitulative en format A3 regroupe les différentes observations découlant des deux principales méthodes décrites dans ce travail. Elles se présentent comme suit [Fig.41] :

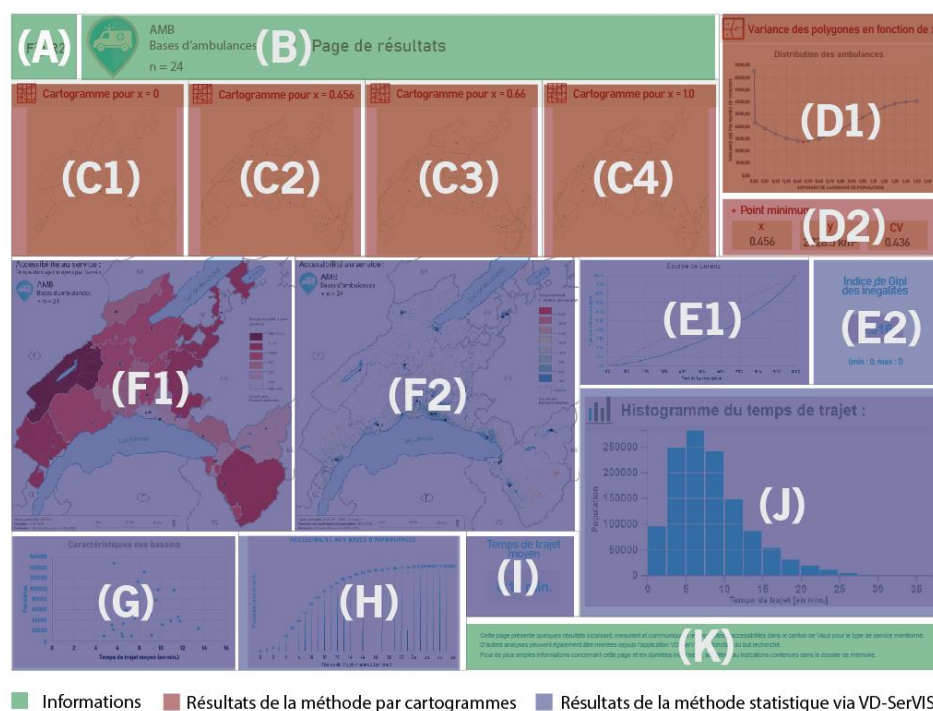


Fig. 41 : Structure des fiches de résultats.

(A) **Numéro de la fiche.** Les fiches de résultats ont un autre format de numérotation que les figures ordinaires ; elles sont ordonnées de R1 à R7.

(B) **Informations sur le type de service,** à savoir le logo attribué sur VD-SerVIS, le code, le nom et le nombre d'entités dans le groupe.

- (C) **Cartogrammes obtenus pour différents exposants x** selon l'équation (1). Les unités et les polygones de Voronoï y figurent. Similaire à ce qui avait été présenté pour les établissements secondaires à la [Fig.28], la série inclut quatre cartes pour quatre exposants différents, soit $x = 0$ (aucune déformation, métrique euclidienne), $x = 0.66$ (cas de la distribution « optimale »), $x = 1$ (déformation équivalente aux densités réelles de population, carte isodémographique). La quatrième valeur de x varie en fonction du type de service et correspond à la valeur pour laquelle la variance des polygones de Voronoï est minimisée.
- (D) **Evolution de la variances des polygones en fonction de l'exposant x** . Similaire à ce qui avait été présenté à la [Fig.29] pour les établissements secondaires, l'effet d'une quinzaine de valeurs différentes de x y est retracé. Cela permet d'évaluer le point minimum de la courbe. Les informations relatives à ce point, calculées par interpolation, figurent sous le graphe (D2).
- (E) **Courbe de Lorenz et coefficient de Gini**. Il s'agit d'un graphe représentant les niveaux de concaténation et de dispersion au sein d'une série statistique. Le graphe figure sur un repère orthonormé de valeurs cumulées (Gastwirth, 1972). L'usage le plus fréquent de cette courbe a souvent trait au calcul des inégalités de revenus (p.ex Beach & Davidson, 1983), où il est possible de comparer quelle part de la population détient quelle part des ressources. Dans le cas présent, le principe est repris pour le compte des inégalités d'accessibilités. L'axe des ordonnées ne représente donc plus la part des ressources détenues relativement à l'ensemble des ressources, mais la part des temps de trajets effectués par rapport à la somme des temps de trajets imputables à la population entière. Ce procédé a déjà été observé dans certains travaux géographiques (Lucas, van Wee, & Maat, 2016). L'indice de Gini (Gini, 1921) permet de résumer le graphe de Lorenz à l'aide d'une seule valeur, calculée comme suit :

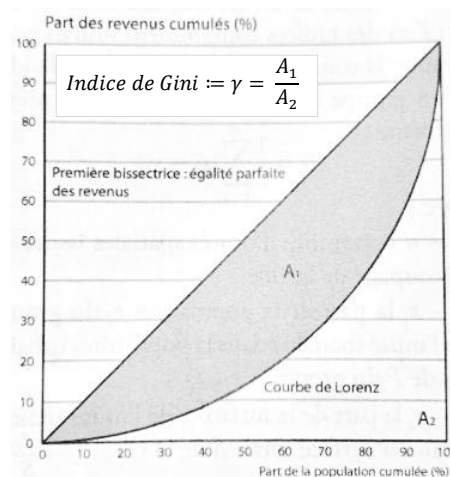


Fig. 42 : Méthode de calcul de l'indice de Gini (Bavoux & Chapelon, 2014)

Ainsi, un indice $\gamma \rightarrow 0$ indique que l'aire A_1 est nulle, et donc que la courbe de Lorenz suit la droite d'équirépartition. Ce cas témoigne d'une égalité parfaite des temps de trajets entre les individus. À l'inverse, plus la courbe de Lorenz diffère de la première bissectrice, plus A_1 est

grand, par définition. Dans ce cas, le rapport γ tend à augmenter jusqu'au cas extrême où $\gamma \rightarrow 1$ lorsque $A_1 = A_2$. On assiste dans ce cas-là à une répartition très inégale des temps de trajet, où une minorité de la population devrait effectuer la majorité des temps de trajet et inversement. L'indice de Gini consiste donc en une seule valeur comprise entre 0 et 1.

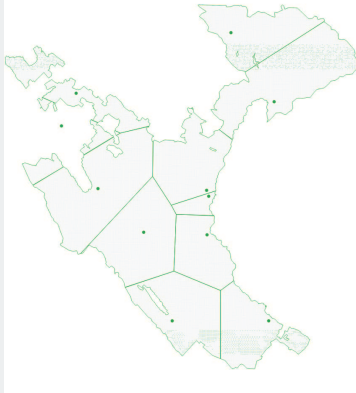
- (F) **Cartes du niveau d'accessibilité** par bassins (F1) et par hectare de population (F2). Elles permettent de situer spatialement les inégalités. Elles prodiguent également une première estimation des emplacements où des unités de services supplémentaires seraient éventuellement nécessaires. La carte des bassins permet d'estimer la performance de la desserte par une unité.
- (G) **Caractéristiques des bassins**. Ce graphe permet d'obtenir quelques informations sur la distribution spatiales des entités relativement à la population. Ces statistiques sur les bassins permettent d'évaluer si la population desservie par les unités spatiales tend à varier de façon importante ou non ; il en va de même du temps de trajet moyen entre bassins. Ces deux variables sont également confrontées afin d'évaluer si elles suivent une tendance commune ou non.
- (H) **Accessibilité au type de service** au sens propre, comme défini par l'OFS (cf. [Fig.4]). Il permet d'évaluer le temps maximum nécessaire à différents pourcentages de la population pour accéder à l'unité de service la plus proche.
- (I) **Temps de trajet moyen** pour atteindre l'unité de service la plus proche. Il s'agit d'une valeur unique qui illustre la proximité du type de service à la population en général. La valeur indiquée est directement reprise de VD-SerVIS. Puisque la répartition de la population est discrète (sous la forme d'hectares interprétés ponctuellement), il s'agit en réalité du temps de trajet moyen pondéré.

5.2. Fiches de résultats

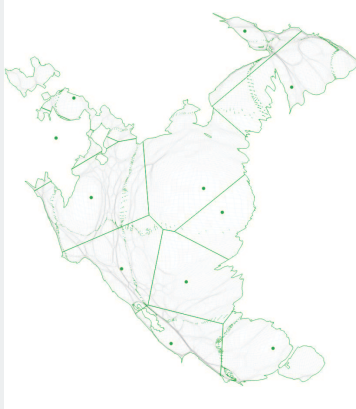
Les fiches de résultats par type de service sont consultables sur les sept pages qui suivent [Fig. R1-R7].



Cartogramme pour x = 0



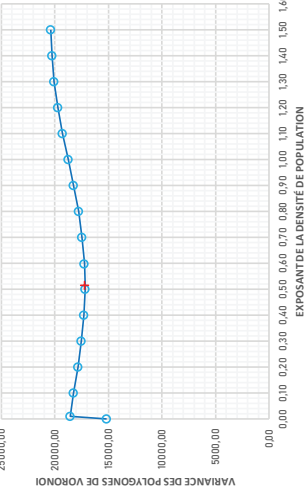
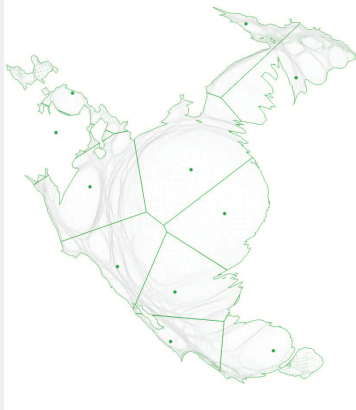
Cartogramme pour x = 0.516



Cartogramme pour x = 0.66

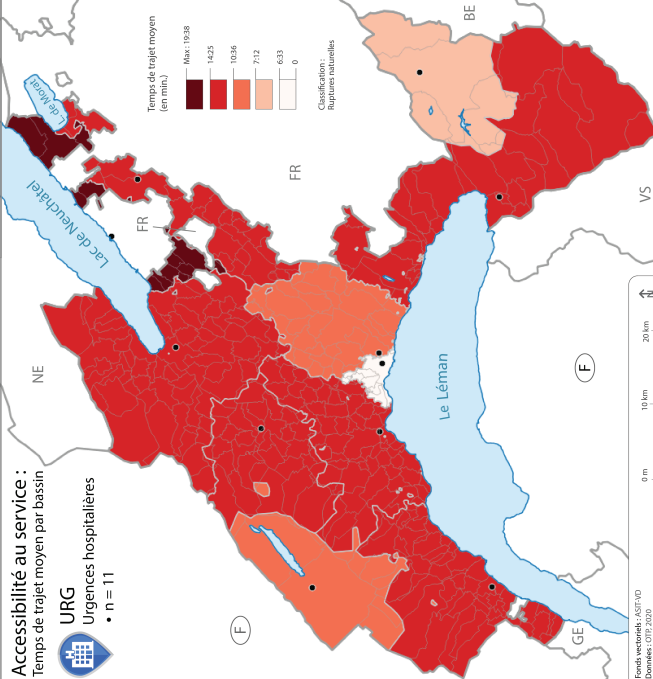


Cartogramme pour x = 1.0

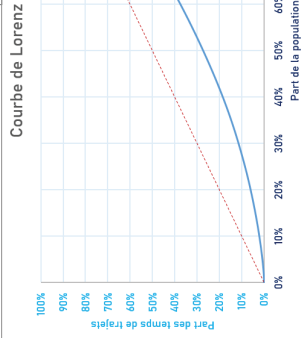
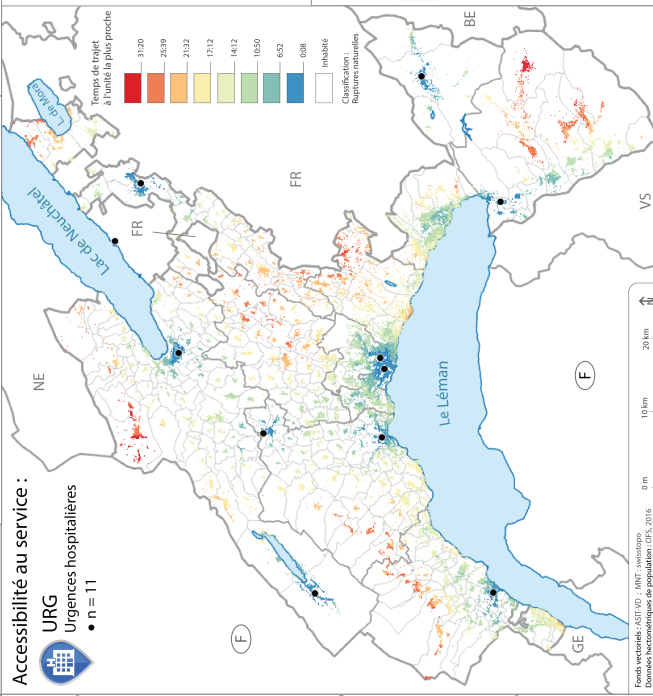


X	Y	CV
0.516	17191.65 km ²	0.520

Accessibilité au service :
Temps de trajet moyen par bassin



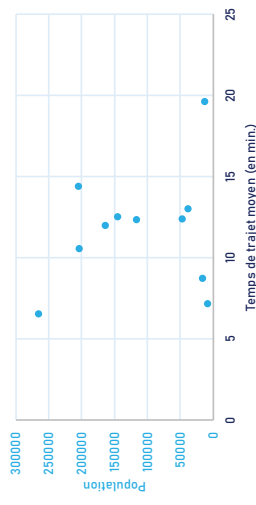
Accessibilité au service :
URG Urgences hospitalières
• n = 11



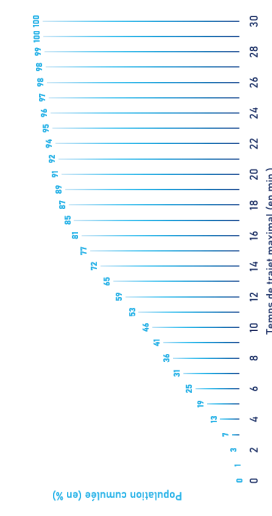
Indice de Gini des inégalités

0.320
(min : 0, max : 1)

Caractéristiques des bassins



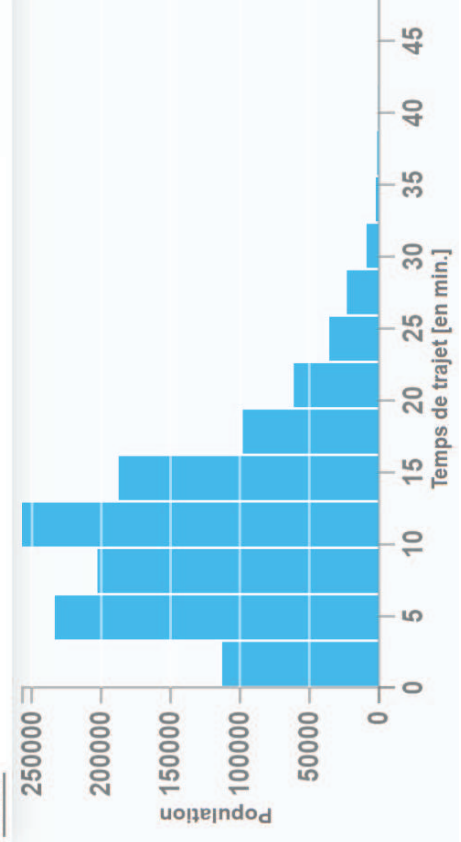
ACCESSIBILITÉ AUX URGENCES HOSPITALIÈRES



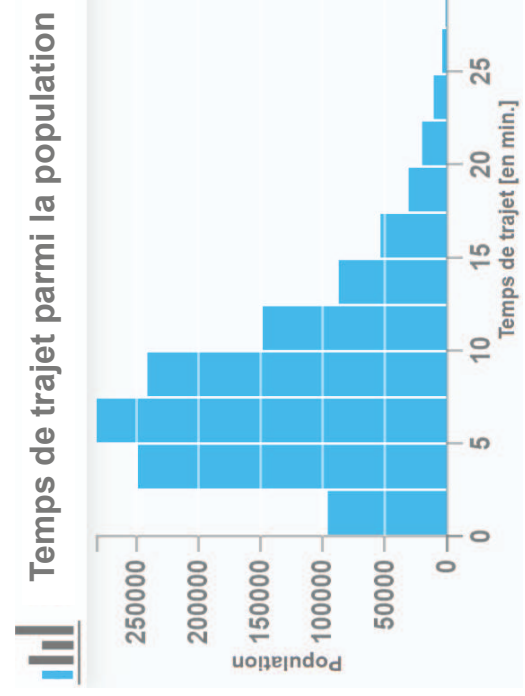
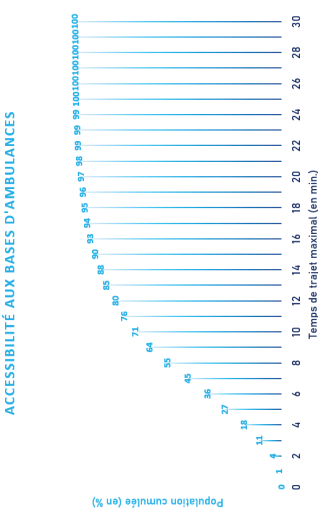
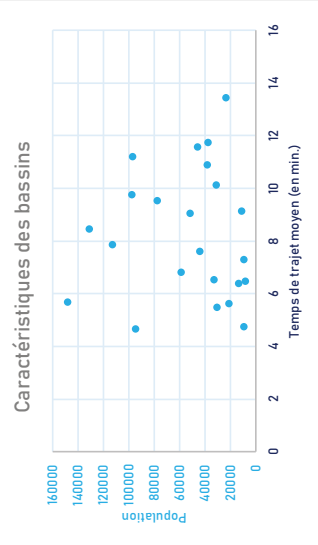
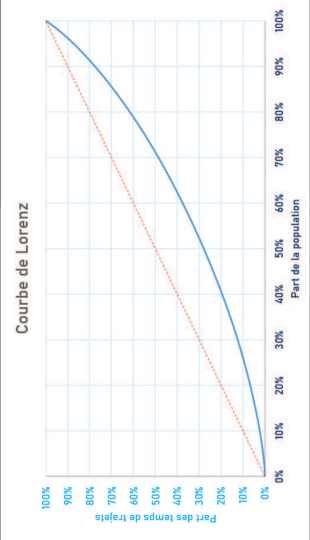
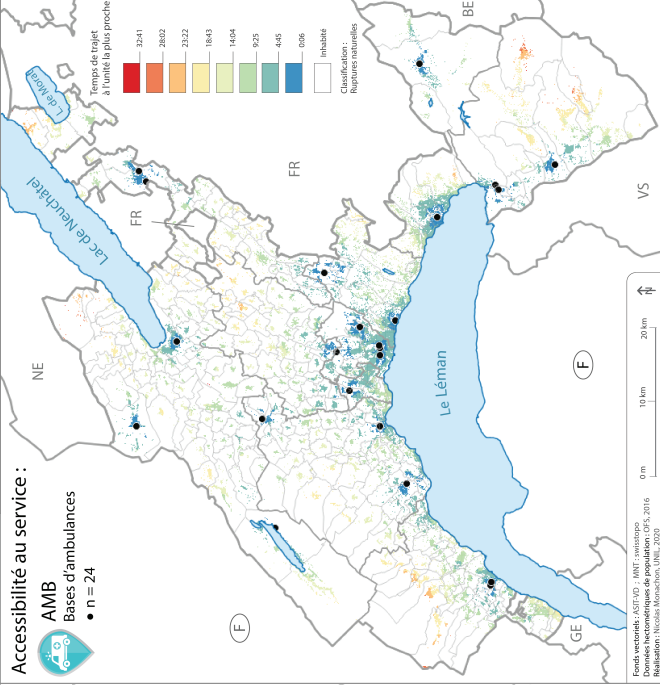
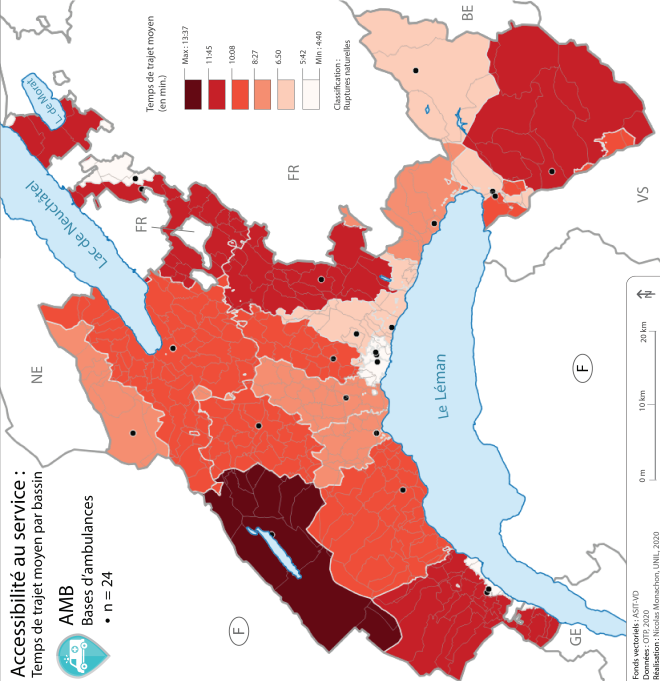
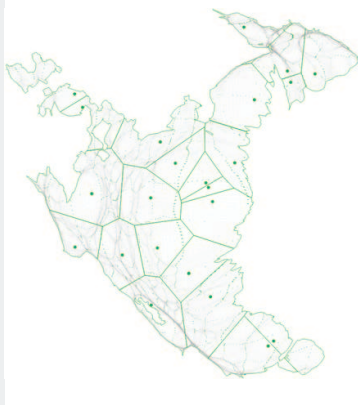
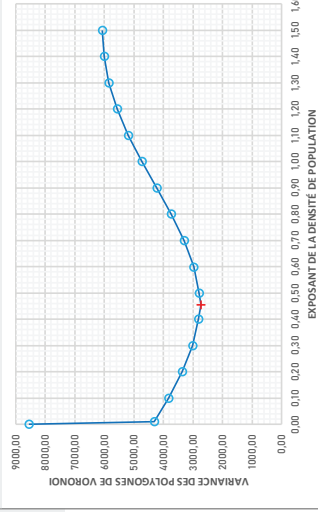
Temps de trajet moyen

11:08 min.

Temps de trajet parmi la population



Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.



Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.

Fig.R3

CDC Centres de consultation n = 43

Page de résultats

Variance des polygones en fonction de x

Cartogramme pour x = 0



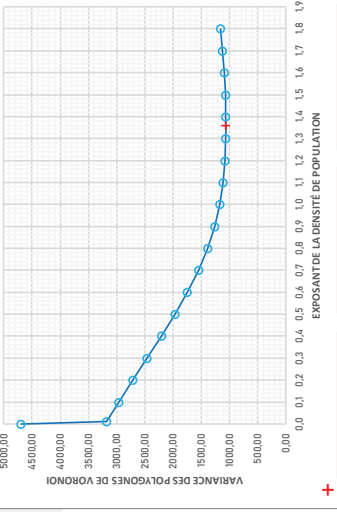
Cartogramme pour x = 0.66



Cartogramme pour x = 1.0



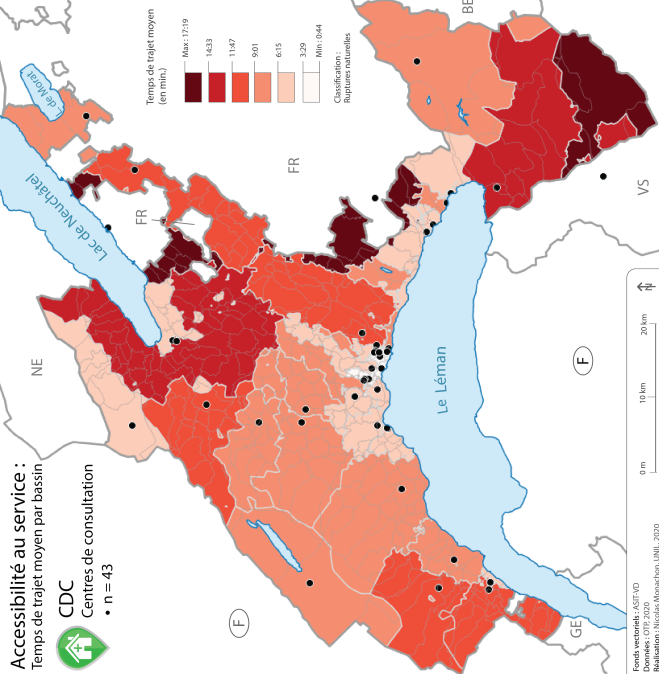
Cartogramme pour x = 1.361



X 1.361
Y 1062.54 km²
CV 0.505

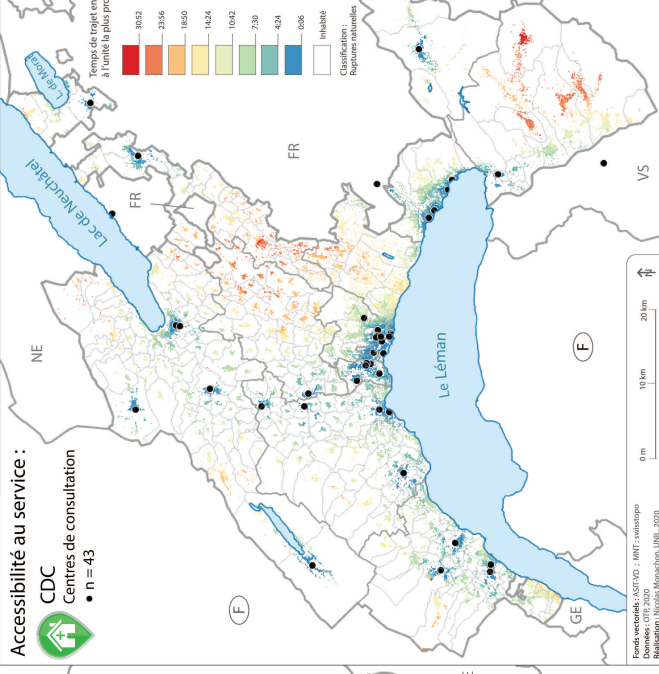
Accessibilité au service : Temps de trajet moyen par bassin

CDC Centres de consultation n = 43

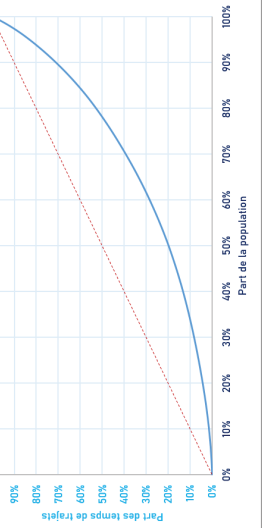


Accessibilité au service : CDC Centres de consultation n = 43

CDC Centres de consultation n = 43



Courbe de Lorenz

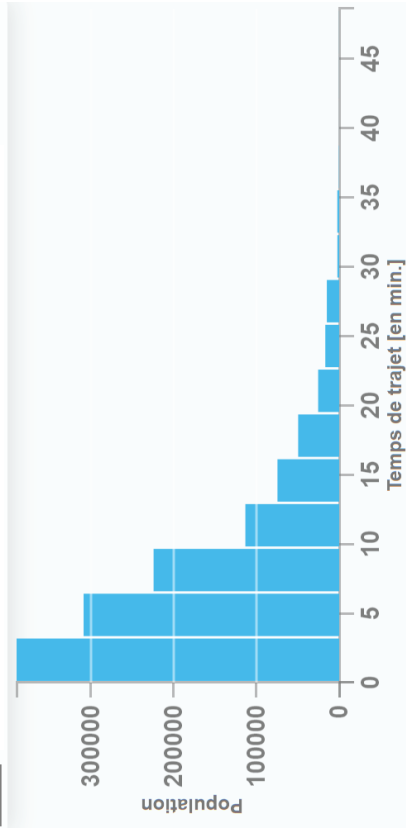


Indice de Gini des inégalités

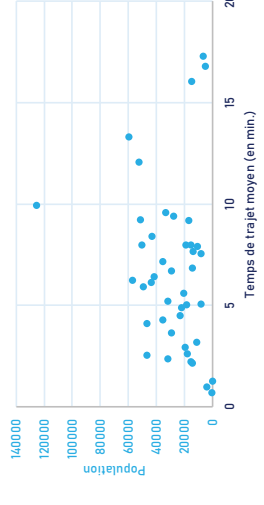
0.430

(min : 0, max : 1)

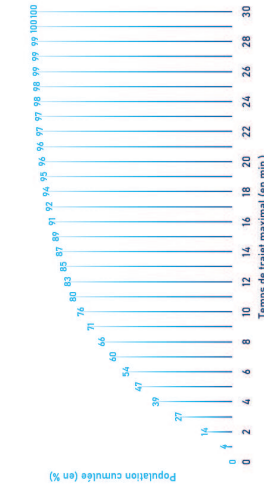
Temps de trajet parmi la population



Caractéristiques des bassins



ACCESSIBILITÉ AUX CENTRES DE CONSULTATION



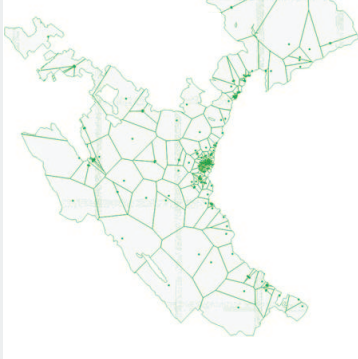
Temps de trajet moyen

7:14 min.

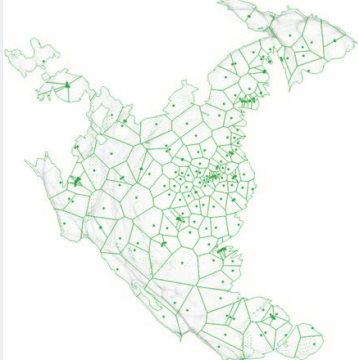
Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.



Cartogramme pour x = 0



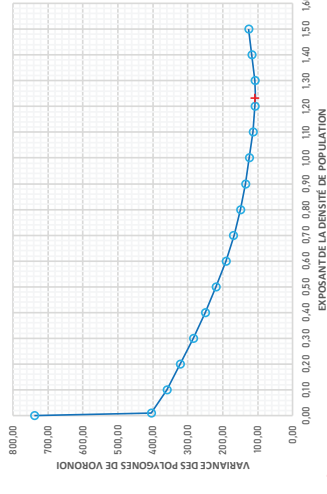
Cartogramme pour x = 0.66



Cartogramme pour x = 1.0



Cartogramme pour x = 1.234



X 1.234
Y 107.20 km²
CV 0.721



Accessibilité au service : PHA Pharmacies • n = 198



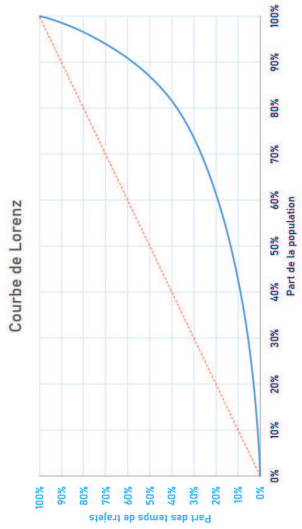
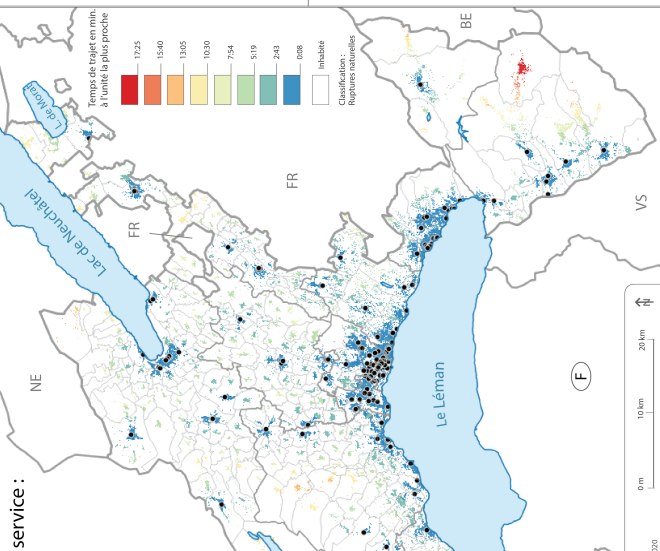
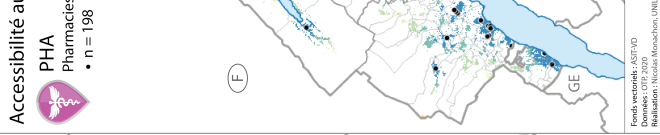
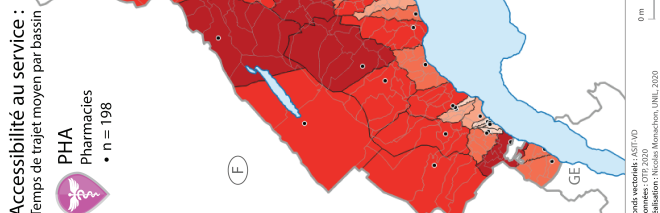
Accessibilité au service : PHA Pharmacies • n = 198



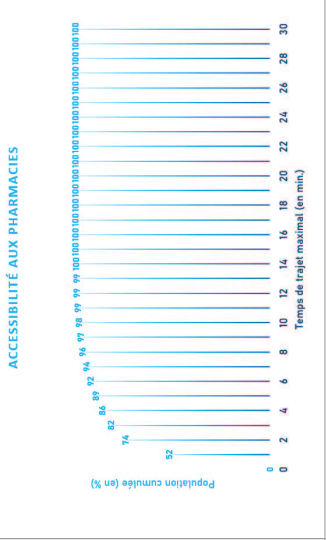
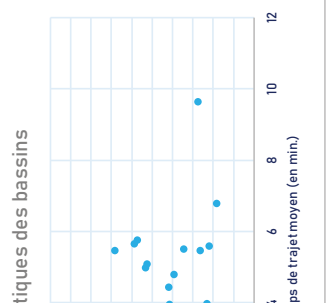
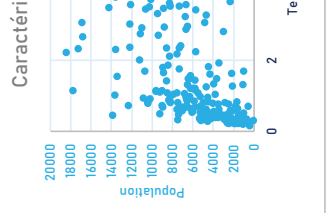
Accessibilité au service : PHA Pharmacies • n = 198



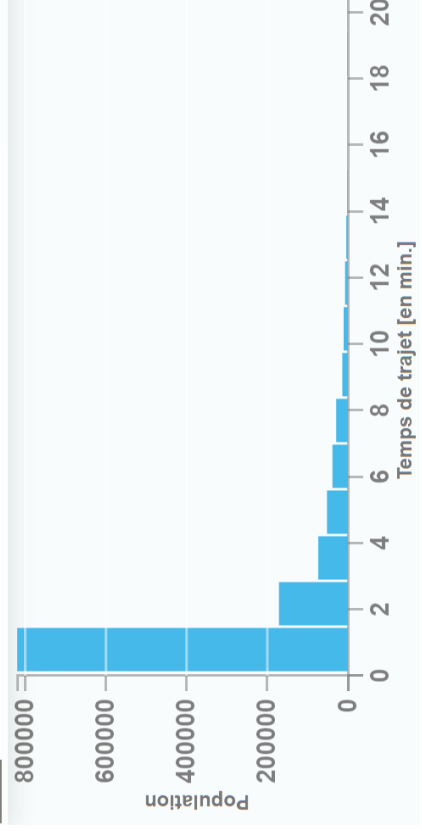
Accessibilité au service : PHA Pharmacies • n = 198



Indice de Gini des inegalites
0.565
(min : 0, max : 1)



Temps de trajet parmi la population



Temps de trajet moyen
1:54 min.

Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.

Fig.R5



Cabinets médicaux

n = 1038

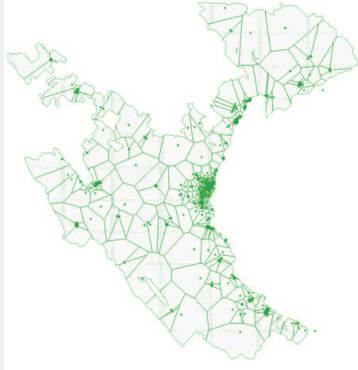
Page de résultats



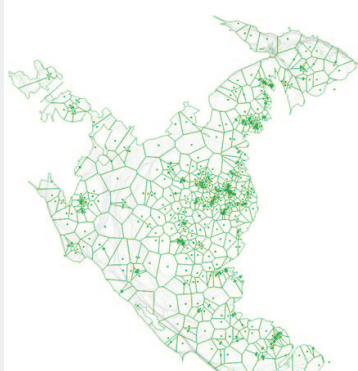
Variance des polygones en fonction de x



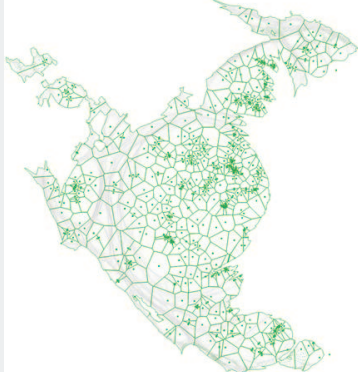
Cartogramme pour x = 0



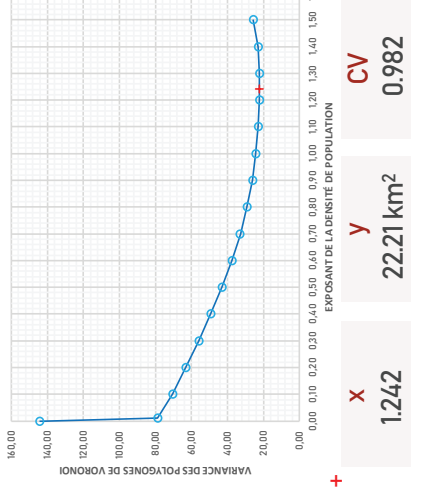
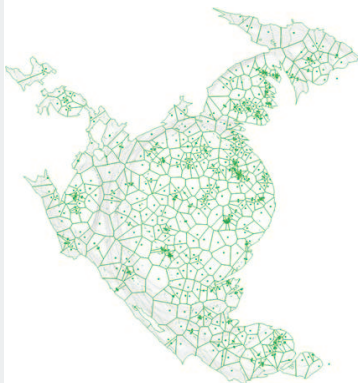
Cartogramme pour x = 0.66



Cartogramme pour x = 1.0



Cartogramme pour x = 1.242



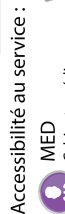
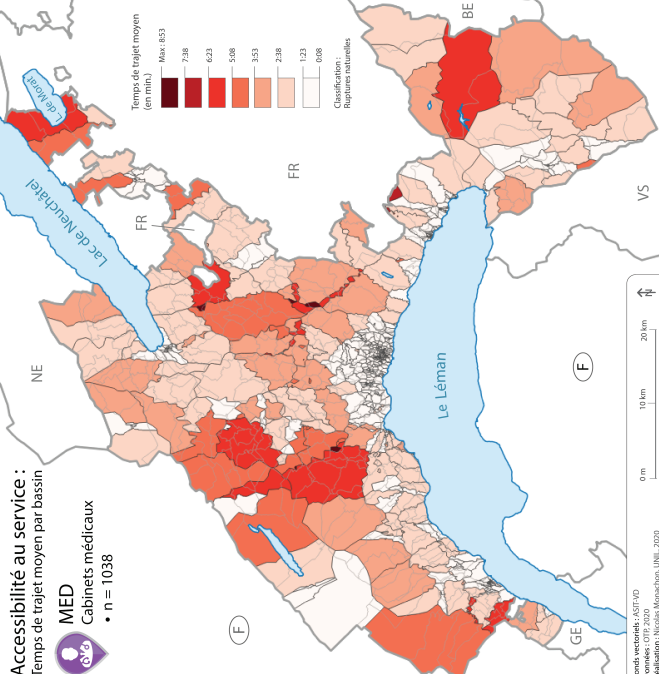
X 1.242

Y 22.21 km²

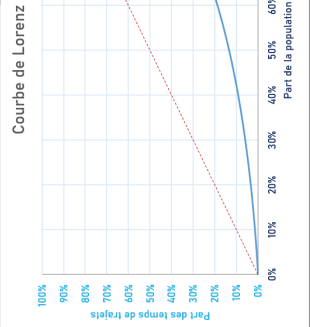
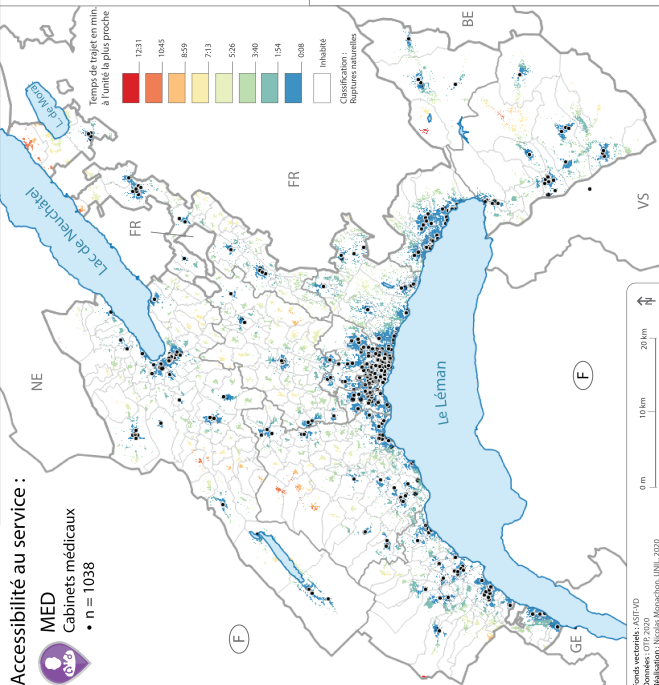
CV 0.982



Accessibilité au service :
MED
Cabinets médicaux
• n = 1038



Accessibilité au service :
MED
Cabinets médicaux
• n = 1038

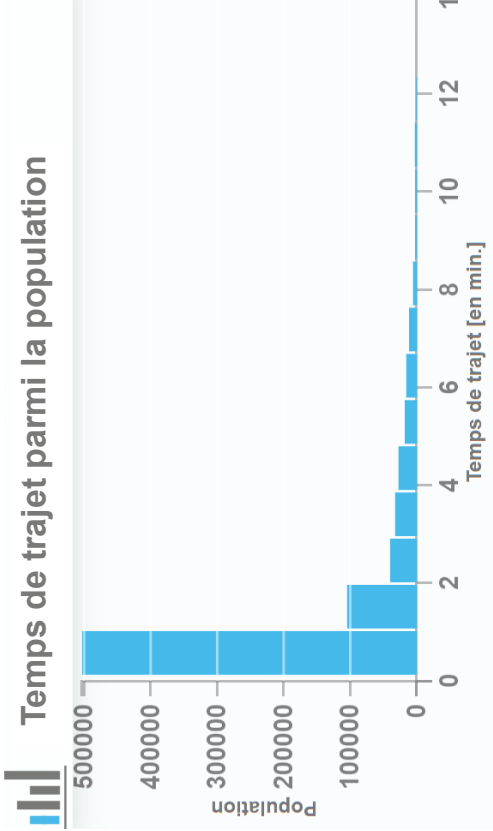


Indice de Gini des inégalités

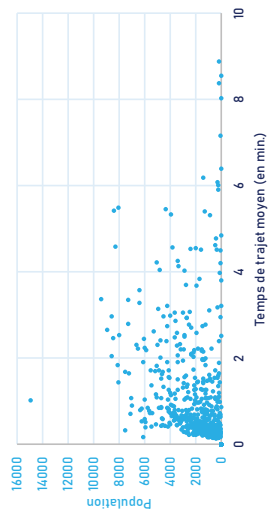
0.570

(min : 0, max : 1)

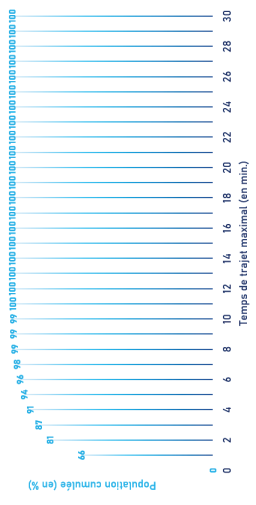
Temps de trajet parmi la population



Caractéristiques des bassins



ACCESSIBILITÉ AUX CABINETS MÉDICAUX



Temps de trajet moyen

1:30 min.

Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.



Cartogramme pour x = 0



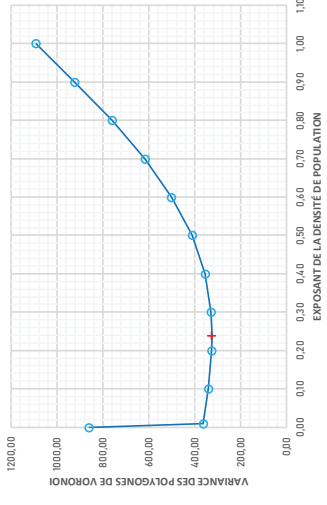
Cartogramme pour x = 0.239



Cartogramme pour x = 0.66

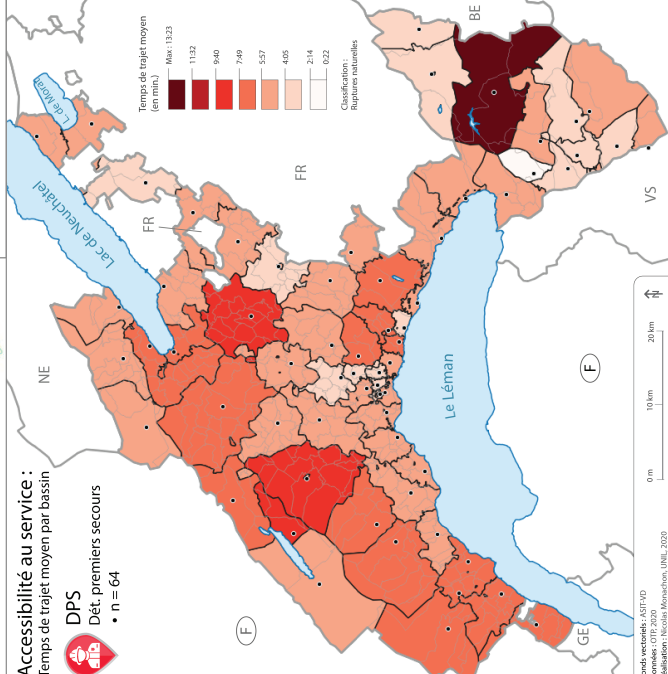


Cartogramme pour x = 1.0

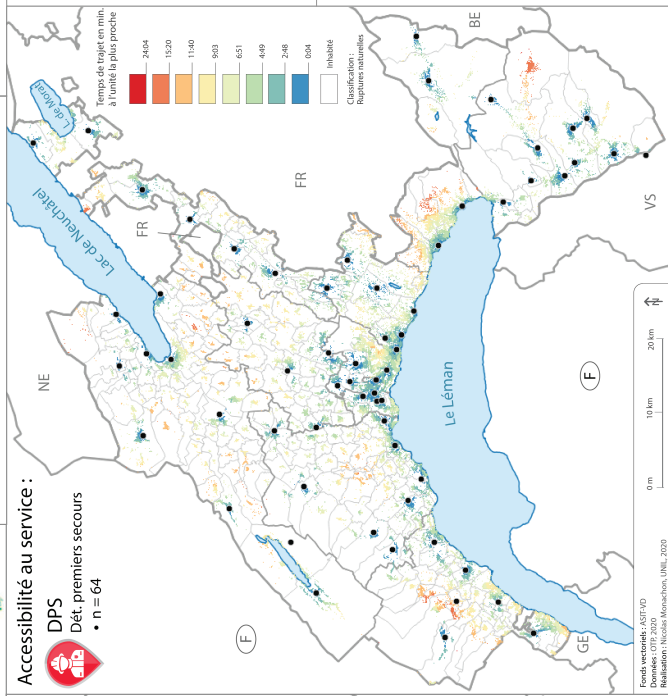


X 0.239 **Y** 325.57 km² **CV** 0.414

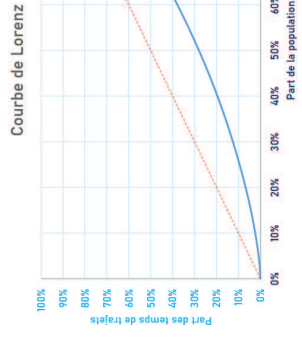
Accessibilité au service :
Temps de trajet moyen par bassin
DPS
Dét. premiers secours
n = 64



Accessibilité au service :
DPS
Dét. premiers secours
n = 64

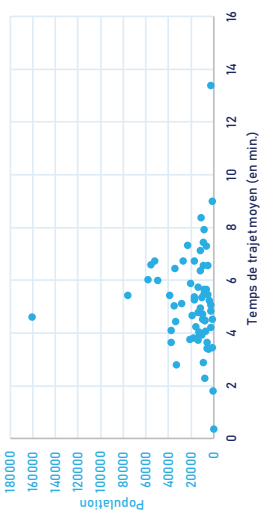


+

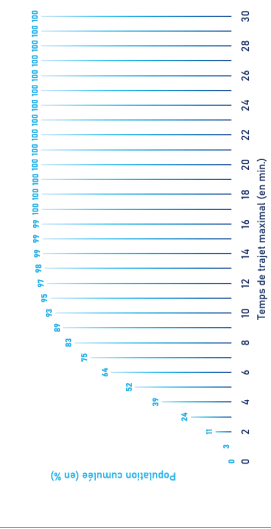


Indice de Gini des inégalités
0.310
(min : 0, max : 1)

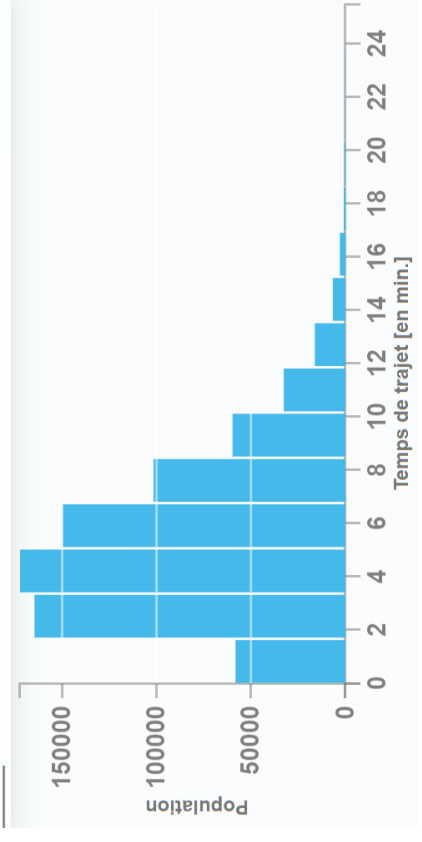
Caractéristiques des bassins



ACCESSIBILITÉ AUX DPS



Temps de trajet parmi la population



Temps de trajet moyen

5:27 min.

Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerViS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.

Fig.R7



Dét. d'appui

n = 114

Page de résultats

Variance des polygones en fonction de x



Cartogramme pour x = 0



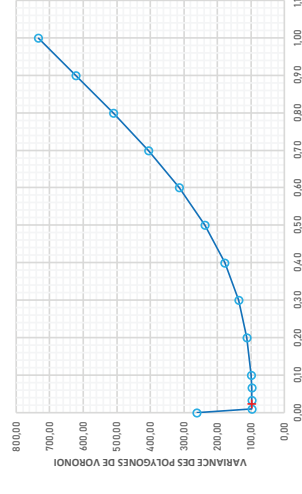
Cartogramme pour x = 0.024



Cartogramme pour x = 0.66



Cartogramme pour x = 1.0

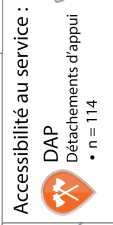
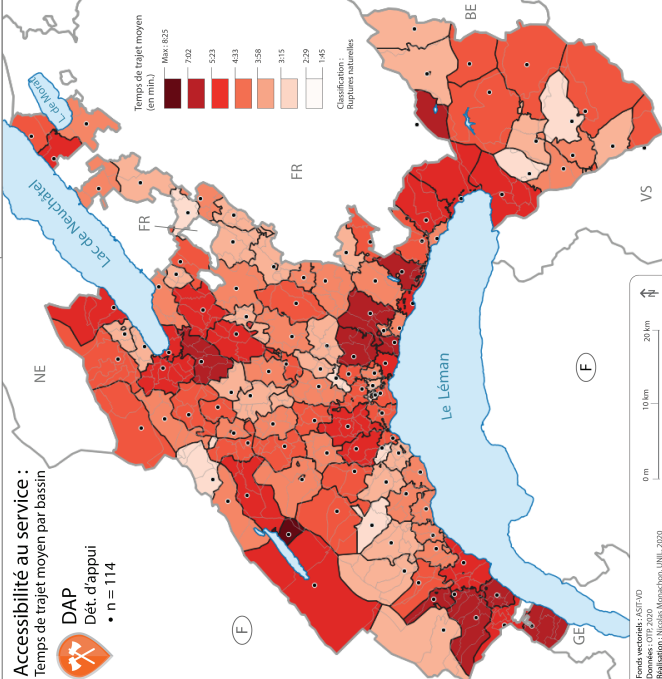


X 0.024 CV 0.405

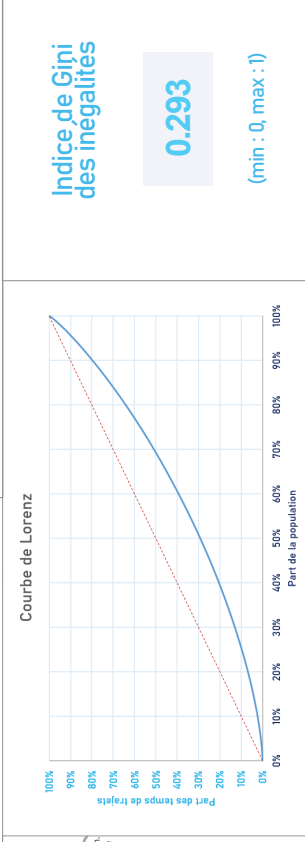
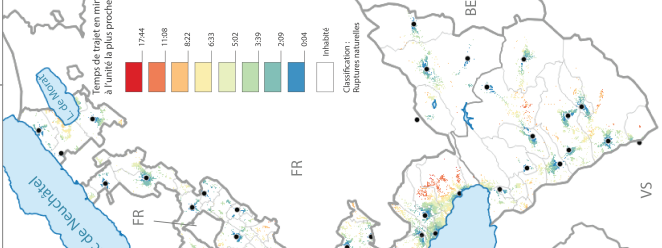
Y 97.19 km²



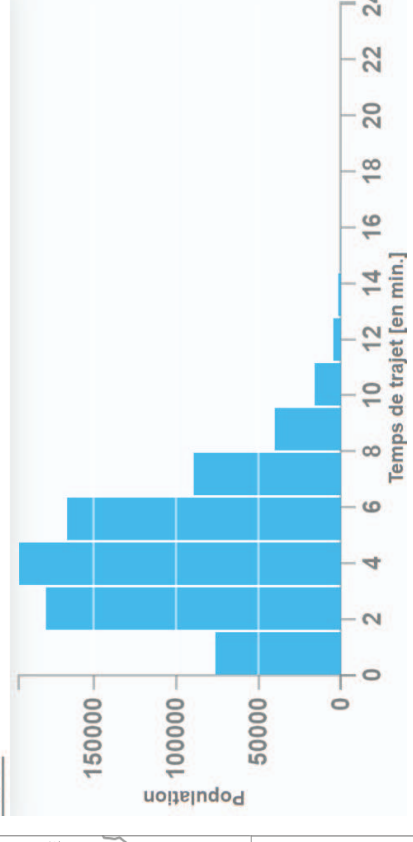
Accessibilité au service :
Temps de trajet moyen par bassin



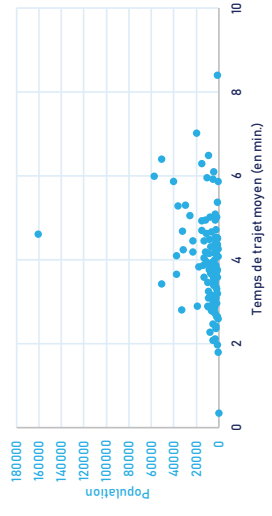
Accessibilité au service :
DAP
Detachements d'appui
• n = 114



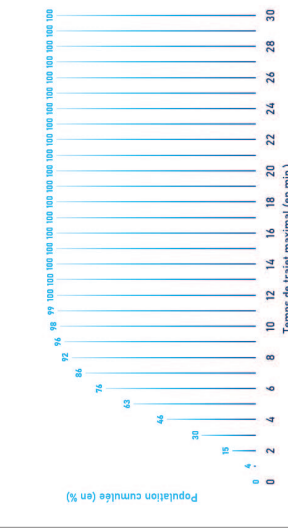
Temps de trajet parmi la population



Caractéristiques des bassins



ACCESSIBILITÉ AUX DAP



Temps de trajet moyen

4:30 min.

Cette page présente quelques résultats localisant, mesurant et communiquant les inégalités d'accessibilité dans le canton de Vaud pour le type de service mentionné. D'autres analyses peuvent également être menées depuis l'application VD-SerVIS, en fonction du but recherché. Pour de plus amples informations concernant cette page et les données mobilisées, se référer aux indications contenues dans le dossier de mémoire.

5.3. Commentaires et discussions

5.3.1. Urgences hospitalières (URG)

Les urgences hospitalières sont réparties de façon très éparpillées sur le sol vaudois et il est intéressant de confronter les outils développés pour ce travail à un type de service ne possédant que très peu d'entités géographiques. De façon logique, les polygones de Voronoï, peu nombreux, recouvrent de très grandes surfaces. Parfois, lesdites surfaces recoupent plusieurs milieux très variés, alternant les zones inhabitées ou faiblement peuplées ainsi que les villes et agglomérations sur la même entité. Par exemple l'Hôpital Riviera-Chablais possédait jusqu'en 2019 plusieurs espaces d'accueils différenciés entre Montreux, Vevey et Aigle. À compter de l'inauguration du nouveau site de Rennaz, les urgences y ont été centralisées. Par conséquent, ce seul site couvre désormais le bassin le plus important du canton en termes de surface (le temps de trajet moyen y est aussi le plus élevé), desservant ainsi les rivages peuplés du Léman oriental, ainsi que les Préalpes et Alpes vaudoises méridionales. Les statistiques sur ce type de bassin ne peuvent donc tenir compte des spécificités locales ; les tendances opposées sont susceptibles de s'annuler. A l'exception de Lausanne qui revêt clairement la statut de plus grande agglomération (on est dans un cas de macrocéphalie urbaine à l'échelle vaudoise), aucun autre centre ne renferme plus d'une seule unité. Dans ce cas, on peut supposer que l'exposant x ne devrait pas être trop élevé.

La variance des polygones de Voronoï est moindre pour un exposant de $x = 0.516$. Cette valeur est même inférieure à la valeur considérée comme optimale. Proportionnellement, on peut supposer que la demande dans les centres urbains est peut-être légèrement plus élevée pour ce type de service que pour d'autres. On remarquera cependant que d'autres types de services peuvent, dans certains cas d'urgences moins sévères, « combler » ce léger déficit, à l'image des nombreux centres publics de consultation. Ce type de service requérant un dispositif très important, il est présent dans tous les centres primaires (Lausanne, Yverdon, Morges, Nyon, Riviera vaudoise, etc.), en adéquation avec la stratégie du Plan Directeur Cantonal. Lorsqu'un centre secondaire se révèle trop isolé des centres primaires, il peut éventuellement en disposer également (Château d'Oex, Le Sentier et dans une moindre mesure Payerne et la région de La Sarraz-Cossonay). Ces unités desservent pour la plupart un bassin réduit, dont la population afflue majoritairement du centre où elle se situe, ce qui rend le bassin relativement performant, mais moins rentable. Les deux types de centres se distinguent clairement dans le graphe (G). Cette répartition cherche ainsi à limiter une accessibilité trop élevée à de larges franges de la population. Cependant, quelques communes peuplées demeurent très distantes de ces dispositifs, à l'image notamment de Sainte-Croix, Villars-Les Diablerets, Saint-Cergue, Moudon ou Oron-Palézieux).

Peu d'inégalités d'accessibilité sont à déplorer dans l'ensemble, puisque les temps de trajets tendent à être élevés pour tous (en moyenne 11 minutes environ). Ils le sont systématiquement depuis les régions périphériques et rurales, et ils tendent à l'être au sein de l'urbain également. Les trois quarts de la population se situent à moins d'un quart d'heure de l'une des structures, ce qui témoigne d'une répartition assez efficace compte tenu du nombre d'unités spatiales. Au-delà de cette majorité, certaines zones minoritaires demeurent très éloignées.

On notera encore que les effets de bordure sont importants dans l'analyse de ce type de service. Par exemple, les temps de trajets moyens en sont très influencés (Payerne, Estavayer,...) puisqu'en réalité, ils desservent une population intercantonale. Celle-ci étant parfois proche du centre mais non comprise dans cette analyse, les temps de trajets moyens pour ces bassins apparaissent plus élevés qu'en réalité. Nous verrons qu'avec des bassins plus petits, ces effets sont plus marginaux et donc la répercussion est bien moindre sur l'ensemble du système.

Bien que les urgences hospitalières accueillent généralement les urgences majeures, les ressources demandées sont trop importantes pour augmenter considérablement le nombre d'unités spatiales et donc améliorer l'accessibilité générale. D'autres alternatives ont donc été déployées, à l'image des secours pré-hospitaliers, tels que les ambulances. Nous verrons d'ailleurs que leurs bases ne sont pas systématiquement situées proches des hôpitaux, ce qui permet de couvrir d'autres zones et d'atteindre plus rapidement les personnes en détresse.

5.3.2. Bases d'ambulances (AMB)

Ce type de service est mobile, dans le sens où il se déplace en direction du patient. Dans le cas des ambulances, les temps de trajets indiqués sont indicatifs, puisqu'elles sont autorisées à parcourir l'espace plus rapidement que les estimations d'OTP pour un véhicule motorisé conventionnel.

Au regard des résultats obtenus par la méthode des cartogrammes, les bases ambulancières se calquent grossièrement sur le même schéma de répartition spatiale que les urgences hospitalières. La stratégie n'est pas directement de maximiser le nombre de personnes présentes dans le bassin (dans ce cas, les bassins seraient assez homogènes en termes de population), il s'agit surtout de minimiser le temps de trajet moyen, puisqu'elles s'occupent généralement des cas d'urgence non-déplaçables impératifs. Une valeur $\alpha = 0.456$ témoigne de l'importance portée également aux zones peu densément peuplées. Par exemple, deux bases ambulancières se partagent le noyau lausannois, ce qui est suffisant pour atteindre la population de cette ville sans grande pénalité. Cinq centres de couronne forment un demi-arc pour intervenir aussi bien en direction du centre qu'en dehors, dans la périphérie proche. On aboutit ainsi à une garantie d'atteindre toute personne de l'agglomération en moins de 10 minutes de route. Ces chiffres

ne diffèrent que peu dans l'arrière-pays. En effet, les quelques unités supplémentaires quadrillent les centres secondaires délaissées par les urgences hospitalières. Il n'en demeure que peu de vulnérabilité spatiale très manifeste, à l'exception peut-être des centres alpins. Dans ces cas, on peut imaginer que certains dispositifs aériens peuvent être mis en place pour s'affranchir de la topologie et substituer les ambulances. Par conséquent, les inégalités d'accessibilité, à l'image des urgences hospitalières, demeurent basses. Cette stratégie est visible pour les types de services où le niveau d'urgence est élevé. Elle se traduit par une population inhomogène entre les bassins, un exposant x bas, une courbe de Lorenz peu bombée et un histogramme dont le mode ne correspond pas aux temps de trajets les plus courts. Souvent ces services ne peuvent admettre qu'une quantité limitée d'unités, qu'il s'agit de placer de façon équitable.

5.3.3. Centres publics de consultation médicale (CDC)

Au nombre de 43, les centres publics de consultation accueillent les urgences majoritairement bénignes, souvent à des fins de consultation et non de soin immédiat impératif. On assiste ici à une stratégie de répartition spatiale bien différente des deux précédents types de service. Par exemple, il est nécessaire de « gonfler » le territoire de façon plus que proportionnelle à sa population pour que les polygones de Voronoï admettent une surface la plus régulière possible. Sans déformation (C1), on remarque cette fois un cluster manifeste dans l'agglomération lausannoise, ainsi que dans une moindre mesure entre Vevey et Montreux. Il semble en effet opportun de proposer des alternatives aux urgences hospitalières qui engendrent des bassins très peuplés en ces lieux. Dans les grandes lignes, on observe un continuum d'unités le long du bassin lémanique. Dans un second temps, on peut aussi distinguer une répartition axiale le long du Plateau entre Lausanne et Payerne via Yverdon. Hors de ces deux axes perpendiculaires, on n'observe d'autres unités que dans trois centres secondaires isolés (Le Sentier, Sainte-Croix, Château d'Oex). De fait, la valeur de x régularisant au mieux les surfaces des polygones est largement supérieure à 1. La distribution des unités ne suit plus une logique d'égalité spatiale. Les inégalités d'accessibilité occasionnées sont plus grandes (Gini ≈ 0.43). L'histogramme montre clairement que les centres tendent à se situer parmi des densités humaines très élevées. Les populations les plus éloignées atteignent plus difficilement l'un de ces centres qu'une ambulance, pourtant inférieures en nombre. La population des bassins est homogène, à l'inverse de ce qui a été observé jusqu'à maintenant. Parallèlement, plus l'on s'éloigne de la capitale, plus les bassins engendrés sont vastes et les temps de parcours importants. L'Est lausannois ne reste cependant que mal desservi par un centre unique à Epalinges.

5.3.4. Pharmacies (PHA)

Comme à l'échelle suisse, les pharmacies sont situées dans tous les types de centres, jusqu'aux petits centres locaux. Leur présence nombreuse et de proximité témoigne de leur utilisation par la population. En 5 minutes, neuf personnes sur dix atteignent une pharmacie. Le temps de trajet moyen pour ce type de service chute en-dessous des deux minutes, et le mode de l'histogramme se rapproche de la minute. Aucun bassin ne dessert plus de 19'000 personnes (emplois et habitants compris), ce qui illustre une répartition en fonction de la densité humaine. On observe des clusters marqués dans les centres primaires. Ces clusters demeurent même sur les cartogrammes, et la déformation de l'espace doit être importante pour égaliser les surfaces des polygones. Même à $x = 1.234$, certains clusters demeurent bien marqués. Le coefficient de variation des surfaces des polygones demeure de ce fait haut même lorsqu'il est minimisé. On remarque que la courbe de Lorenz est assez distante de la droite d'équirépartition et que le coefficient de Gini est élevé. Proportionnellement, on observe en effet des différences marquées de temps de trajet entre les zones rurales où il s'agit d'atteindre le centre local et les zones urbaines marquées par des agrégations de multiples commerces, dont parfois plusieurs pharmacies dans un même quartier. Bien que le temps de trajet demeure moindre pour tout le monde (90% de la population atteint une pharmacie en moins de 5 minutes), l'écart entre les milieux géographiques est important. Ce processus se visualise sur le graphe (G) où les bassins des pharmacies de centres urbains se regroupent entre 0 et 1 minute de trajet seulement, contre une moyenne de 3-4 minutes pour les autres. Même si l'on constate une inégalité, elle est ici moins préoccupante que s'il s'agissait d'autres types de services à niveau d'urgence plus élevé.

5.3.5. Cabinets médicaux (MED)

Ce type de service arbore des caractéristiques extrêmes dans ces analyses. D'abord, de par le nombre d'entités spatiales qui le constitue, il se différencie clairement des autres. A l'inverse des urgences hospitalières, il est également intéressant de tester les outils de ce travail sur une distribution très dense. L'analyse par cartogramme s'y prête bien (Gastner et Newman l'avaient réalisée sur plus de 5000 unités) du fait de la petite taille des polygones et donc d'une précision accrue là où bassin géométrique et bassin réel se distinguent parfois notablement. Par contre, les statistiques perçues par VD-SerVIS offrent des résultats mitigés. D'abord, il semble que des erreurs d'allocation ou de calcul de temps de trajet se soient produites sur OTP ; la carte des bassins (F1) en témoigne puisque les temps de trajet moyens les plus élevés sont assignés à de très petits bassins. Cependant, les statistiques portant sur le système entier en demeurent peu influencées. De même, le temps d'exécution du script d'allocation est extrêmement élevé, surtout lorsqu'il s'agit d'allouer des hectares urbains, où beaucoup de potentielles unités sont retenues. Lorsque plusieurs unités sont localisées au même endroit (c'est le cas lorsque plusieurs

médecins exercent à la même adresse, ce qui est courant), VD-SerVIS ne peut retenir que la première occurrence. Par conséquent, on n'obtient non plus 1038 bassins, mais environ 650. Finalement, la visualisation est malaisée, et il en résulte des lenteurs dans l'application lorsque ce service est sélectionné.

Si l'on compare tout de même les résultats obtenus avec d'autres services, il semble que les cabinets médicaux suivent une logique de localisation assez semblable à celle des pharmacies. Ils se répartissent dans tout type de centre, mais il y a proportionnellement plus de médecins dans les très grands centres que dans les centres locaux. Il est très rare de voir un médecin exercer dans un village, malgré leur nombre élevé. La courbe de Lorenz et l'indice de Gini confortent ces observations : il s'agit de la plus grande inégalité d'accessibilité relevée sur l'ensemble des sept services étudiés. Cependant, les bassins étant petits, cela ne pose pas vraiment de problèmes aux populations les plus défavorisées, puisque le temps moyen de trajet demeure acceptable, même si l'on ne se rend pas chez le médecin le plus proche. Ce temps de trajet moyen est très bas : une minute et demie. L'histogramme rappelle clairement la grande proximité des cabinets médicaux à la population en général.

5.3.6. Détachements de premiers secours (DPS) et détachements d'appui des SDIS (DAP)

Organisés par les mêmes acteurs, ces deux derniers types de service seront analysés conjointement. La densité de leur réseau diffère, mais leur stratégie de localisation est semblable. Ces deux cas illustrent d'autres dynamiques qu'observées jusqu'alors. L'analyse par cartogramme révèle qu'ils admettent tous deux une courbe de distribution (D1) très spéciale : le point minimum est situé proche de $x = 0$. En effet, la distribution des unités spatiales (sans déformations (C1)) suit une logique quasiment uniforme, particulièrement pour les DAP. Même à ce niveau, très peu d'agréations spatiales sont constatées. On remarque que les bassins admettent des surfaces très similaires, et que leurs temps de trajet moyen se ressemblent. Une seule entité se dégage nettement (G), il s'agit de la caserne centrale de Lausanne, unique dans son SDIS, formée de professionnels uniquement et prête à intervenir sur tout le territoire de la commune. Les effectifs et les ressources d'une caserne peuvent donc être ajustés à l'importance de la population du bassin desservi, mais le principe reste le même sur tout le territoire vaudois, à savoir ne pas laisser un lieu quelconque trop éloigné d'une base. En 12 minutes, près de 100% de la population est rejointe par un DAP et en 15 minutes par un DPS. Il est donc intéressant de constater que des zones urbaines ont parfois une accessibilité similaire voir inférieure à certains petits villages (F2). On observe par exemple que les hauts de Montreux ou que certains quartiers résidentiels lausannois (p.ex Chailly) figurent parmi les endroits les plus distants d'un DAP. Ce genre de schéma spatial n'avait pas été observé avec les autres types de service. Les SDIS adoptent ainsi une stratégie d'égalité spatiale, mais contrairement aux ambulances ou hôpitaux, ils ont la possibilité de se déployer plus massivement sur le

territoire, pour mener des interventions très localisées. Ils sont également en mesure de recevoir le soutien des unités voisines, lorsque la complexité de l'intervention le nécessite. Certaines unités desservent des bassins très peu peuplés (parfois moins de 1000 personnes pour certains DAP), on est ainsi à l'extrême inverse d'une logique de rentabilité pure. Puisque le temps de trajet est parfois doublé (si la situation le demande, certains miliciens doivent effectuer le trajet depuis leur domicile jusqu'à la caserne, puis depuis la caserne jusqu'au lieu d'intervention), il est d'autant plus nécessaire de maintenir des distances courtes. Il s'agit par conséquent du type de service pour lequel les inégalités d'accessibilité sont les plus faibles.

6. Conclusion

Dans ce travail, deux méthodes d'analyse de la localisation et des inégalités spatiales relatives à une catégorie de services ont été présentées et confrontées sur le cas pratique des services d'urgence dans le canton de Vaud. Elles émanent toutes deux d'un cadre théorique commun de résolution de problèmes dits du *p-médian*, mais deux approches différentes ont été ici mises en commun pour se compléter. La méthode des cartogrammes offre la possibilité de quantifier une distribution spatiale, de par sa proximité ou non aux distributions de la population. Il est donc possible de comparer sur cette base des distributions issues de régions différentes par exemple, ou de comparer des types de services entre eux, comme cela a été fait dans ce travail. Si la distribution optimale se situe selon certains auteurs autour de $x = \frac{2}{3}$, il a été observé que d'autres valeurs sont parfois recherchées selon le type de service considéré. Dans le domaine étudié, une valeur inférieure à $x = 0.66$ ne témoigne pas forcément d'une répartition sous-optimale. Si le dessein de la localisation des unités n'est pas la rentabilité de ses structures, mais plutôt d'être en mesure de pourvoir une couverture spatiale égalitaire afin de limiter la vulnérabilité des populations même les plus éloignées, des valeurs proches de $x = 0$ peuvent s'observer. Lorsque les unités ne sont pas planifiées et gérées communément, comme c'est le cas des services privés d'utilité publique, nous avons plutôt observé dans ce cas d'étude des valeurs de $x > 1.0$. Ceci peut se produire lorsque le nombre d'unités à répartir n'est pas restreint. Cette méthode d'analyse semble toutefois à privilégier lorsque le nombre d'unités spatiales est suffisant. Dans le cas où n est petit, où si le territoire est loin d'être homogène (population ou relief), cette méthode peut engendrer des résultats biaisés. Également, il peut s'avérer judicieux d'opter pour des cas d'études suffisamment étendus spatialement (ou clos) pour limiter les effets de voisinage. Au regard des résultats obtenus et de ce qu'ils peuvent potentiellement révéler, cette méthode offre des possibilités intéressantes au niveau de l'analyse générale d'un territoire.

La seconde méthode utilisée lie à la fois production et transmission d'informations. Elle est un complément idéal à la première méthode dans le sens où elle est active à différentes échelles d'analyses.

Elle est capable de produire des résultats aussi bien sur la structure du réseau que sur ses spécificités locales. Contrairement à la méthode précédente, elle permet de localiser des phénomènes, parfois avec une grande précision. Egalement, de par le support qu'elle utilise, elle permet d'élargir grandement les informations accessibles. Les résultats ne se limitent pas à ceux décrits au chapitre précédent, il est en effet possible d'étudier des phénomènes ou lieux plus en détail, selon les besoins ou intérêts. Il a été constaté que cette méthode convient bien pour l'analyse de réseaux peu denses. Lorsque le nombre d'unités spatiales augmente, des difficultés de calcul, de visualisation ou d'expérience utilisateur peuvent se produire. Cette méthode se montre particulièrement opportune pour la gestion d'un réseau de services restreint, mais où les enjeux d'accessibilité sont importants, à l'image du cas des bases ambulancières.

Concernant les types de services étudiés, trois différentes stratégies de localisation ont globalement pu être étudiées. La première concerne les types de service à haut degré d'urgence nécessitant une prise en charge spécifique et un dispositif important et caractéristique (on classera dans cette catégorie URG et AMB). La nécessité d'une intervention rapide voire immédiate est évidente, mais les ressources à disposition limitent le déploiement des unités à un effectif restreint. Dans ce cas, on assiste à une répartition la plus égalitaire possible, avec au moins une unité dans chaque centre important, et si le nombre le permet, également dans les centres secondaires à grande autonomie. Pour cette stratégie, il est essentiel de disposer d'un réseau relativement uniforme de centres de niveau au moins secondaire. Si différents types de services de cette catégorie se côtoient ou sont susceptibles de se substituer, au moins dans une certaine mesure, la prise en charge de la population peut être améliorée en alternant leurs localisations respectives. De fait, cette stratégie cherche à minimiser la vulnérabilité spatiale de chaque individu, dans la mesure des moyens à disposition.

Une deuxième catégorie de services a été observée, marquée par des stratégies de localisation libres et individuelles, tendant à se regrouper en milieu urbain dense (c'est le cas de CDC, PHA, MED). La gestion de la localisation n'est pas supervisée, ou très indirectement, dans le sens où le niveau d'urgence est relativement faible, et les dispositifs nombreux. Il n'y a donc pas de besoin impérieux d'optimisation du réseau, puisque ce dernier s'organise par lui-même de façon plutôt locale. On observe des valeurs élevées de l'exposant x (au-delà de 1), dans le sens où cette stratégie prend en compte l'attractivité des lieux centraux, là où la population présente quotidiennement dépasse amplement la seule population résidente. Ces services peuvent ainsi être contractés plus aisément dans le cadre d'une succession de déplacements (boucle) journalière, pouvant également allier déplacements professionnels, de loisirs, et/ou liés à la sollicitation d'autres services. Ceci témoigne des dynamiques de regroupement et de centralisation des ressources.

La dernière catégorie observée comporte des spécificités des deux premières, à savoir un haut niveau d'urgence, mais la possibilité d'organiser un réseau dense (ces caractéristiques ont été observées avec

DPS et DAP). Dans ce cas, l'accessibilité à ces structures ou depuis ces structures est minimisée, et la couverture spatiale presque uniforme. En effet, elle ne prend que très peu en compte les densités de population, le territoire est quadrillé de façon relativement uniforme. Les dispositifs sont nombreux et importants, mais le dessein est égalitaire avant tout. De plus, cette dernière stratégie ne tient pas seulement compte de la population elle-même, mais cherche avant tout à minimiser l'accessibilité à tout lieu, qu'il soit habité ou non. Il se peut en effet que certaines interventions urgentes soient menées hors des localités, à l'image d'incendies, de sinistres ou d'aléas, afin de sécuriser des infrastructures ou des espaces naturels. Ceci explique également pourquoi les exposants x pour cette catégorie de services sont généralement bien plus bas que les autres et tendent à se rapprocher de 0.

Il serait intéressant de prolonger ces analyses, par exemple sur d'autres territoires et avec d'autres réseaux de services, afin d'obtenir quelques comparaisons supplémentaires. Par ailleurs, il serait intéressant de recourir aux véritables bassins d'influence au lieu de polygones de Voronoï sur les projections en cartogrammes pour obtenir des résultats plus adéquats. Quant à la seconde méthode, l'accessibilité n'a été pour l'instant calculée qu'en se basant sur le temps de trajet en transport individuel motorisé. Il serait opportun d'inclure également les alternatives de mobilité douce ou de transports en commun. D'autres fonctionnalités pourraient également venir enrichir l'application dynamique actuelle, comme la possibilité d'interagir avec chacun des hectares, ou encore de les faire correspondre avec la barre d'histogramme correspondante. De plus amples statistiques peuvent également être implémentées en y incluant entre autres des possibilités de croisement des variables.

7. Références

- Andrieu, D., Kaiser, C., Ourednik, A., & Lévy, J. (2007). Advanced cartogram construction using a constraint based framework.
- Bavoux, J.-J., & Chapelon, L. (2014). *Dictionnaire d'analyse spatiale*. Paris: A. Colin. (OCLC: 881705292).
- Beach, C. M., & Davidson, R. (1983). Distribution-free statistical inference with Lorenz curves and income shares. *The Review of Economic Studies*, 50(4), 723–735.
- Beal, V. (2011). *Ville durable et justice sociale. Ce que le développement durable nous dit de la production de l'urbain*. (S.l.): Publications de l'Université de Saint-Etienne.
- Beaucire, F., & Drevelle, M. (2013). «Grand Paris Express»: un projet au service de la réduction des inégalités d'accessibilité entre l'Ouest et l'Est de la région urbaine de Paris? *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, (3), 437–460.
- Beguin, H., Hansen, P., & Thisse, J.-F. (1982). Où construire les équipements collectifs?: (Une introduction à la localisation optimale des services publics)*. *Recherches Économiques de Louvain/ Louvain Economic Review*, 48(3-4), 211-217.
<https://doi.org/10.1017/S0770451800043426>
- Berman, O., Larson, R. C., & Fouska, N. (1992). Optimal location of discretionary service facilities. *Transportation Science*, 26(3), 201–211.
- Berry, B. J., & Allen, P. (1961). Central place studies. A bibliography of theory and applications. *Central place studies. A bibliography of theory and applications*.
- Bobek, H. (1928). *Innsbruck: eine Gebirgsstadt, ihr Lebensraum und ihre Erscheinung*. (S.l.): Engelhorn.
- Bunge, W. (1966). *Theoretical geography*. 2nd. Lund, Sweden: Glerup.
- Carpentier, G. (2007). La conception et la gestion d'un réseau de service ambulancier.
- Christaller, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland: eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. (S.l.): University Microfilms.
- Christofides, N. (1975). *Graph theory: An algorithmic approach (Computer science and applied mathematics)*. (S.l.): Academic Press, Inc.
- CHUV. (2020). Urgences Vaud, Centres d'urgences en temps réel (version 1.3) [Logiciel]. Lausanne: Centre Hospitalier Universitaire Vaudois. Repéré à <https://www.urgenceslausanne.ch/situationactuelle/>
- Claval, P. (1966). Chronique de géographie économique. La théorie des lieux centraux. *Revue Géographique de l'Est*, 6(1), 131-152. <https://doi.org/10.3406/rgest.1966.1959>
- Crawford, D. M., & Holt, S. B. (1975). A mathematical optimization technique for locating and sizing distribution substations, and deriving their optimal service areas. *IEEE Transactions on Power*

- Apparatus and Systems*, 94(2), 230–235.
- Dessemontet, P.-E. (2018). Localisation des services et lieux centraux. Communication présentée au Economie spatiale et régionale, EPFL, Lausanne.
- DETEC, D. fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. (2020). Un service public de qualité - image de marque de la Suisse. Repéré à <https://www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/uvek/bundesnahe-betriebe/guter-service-public.html>
- Dijkstra, E. W. (1971). *A short introduction to the art of programming* (Vol. 4). (S.l.): Technische Hogeschool Eindhoven Eindhoven.
- Dorling, D. (1996). Area cartograms: Their use and creation, concepts and techniques in modern geography.
- Dykes, J. (1998). Cartographic visualization. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 47(3), 485–497.
- ECA Vaud. (2015, 14 juillet). Organisation des SDIS vaudois. *ECA Vaud*. Repéré à <https://www.eca-vaud.ch/sapeurs-pompiers/generalites/organisation-sdis-vaud>
- Erdos, P. (1967). Some recent results on extremal problems in graph theory. Results. *Theory of Graphs (Internat. Sympos., Rome, 1966)*, 117–123.
- Etat de Vaud. (2018). Plan directeur cantonal. 4ème adaptation. Etat au 31 janvier 2018. Département du territoire et de l'environnement. Service du développement territorial, Lausanne. Repéré à <https://www.vd.ch/themes/territoire/amenagement/plan-directeur-cantonal/version-adoptee/>
- Etat de Vaud. (2019). Les établissements scolaires. Repéré à <https://www.vd.ch/toutes-les-autorites/departements/departement-de-la-formation-de-la-jeunesse-et-de-la-culture-dfjc/direction-generale-de-lenseignement-obligatoire-dgeo/les-etablissements-scolaires/>
- Etat de Vaud. (2020). Guichet Cartographique de l'État de Vaud. Repéré à https://www.geo.vd.ch/theme/sante_social_thm
- Galpin, C. J. (1915). *The social anatomy of an agricultural community* (Vol. 34). (S.l.): Agricultural Experiment Station of the University of Wisconsin.
- Gastner, M., Schien, D., Youn, H., Lambiotte, R., & Salnikov, V. (2014). The geography and carbon footprint of mobile phone use in Cote d'Ivoire. *EPJ Data Science*, 3(1), 1-15. <https://doi.org/10.1140/epjds21>
- Gastner, M. T., & Newman, M. E. J. (2004). Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(20), 7499-7504. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400280101>
- Gastner, M. T., & Newman, M. E. J. (2006). Optimal design of spatial distribution networks. *Physical Review E*, 74(1), 16117.
- Gastwirth, J. L. (1972). The estimation of the Lorenz curve and Gini index. *The review of economics and statistics*, 306–316.
- Gibbons, A. (1985). *Algorithmic graph theory*. (S.l.): Cambridge university press.

- Gini, C. (1921). Measurement of inequality of incomes. *The Economic Journal*, 31(121), 124–126.
- Goldengorin, B., Krushinsky, D., & Pardalos, P. M. (2013). *Cell Formation in Industrial Engineering* (Vol. 79). New York, NY: Springer New York. (DOI: 10.1007/978-1-4614-8002-0). Repéré à <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-8002-0>
- Gusein-Zade, S. M. (1982). Bunge's problem in central place theory and its generalizations. *Geographical Analysis*, 14(3), 246–252.
- Hand, D. J. (2007). Principles of data mining. *Drug safety*, 30(7), 621–622.
- IGAS. (2018). *Evaluation de la mise en oeuvre du référentiel du secours d'urgence à personne et de l'aide médicale urgente et propositions d'évolutions* (Rapport No. 2018-003N). Paris. Repéré à <https://www.lagazettedescommunes.com/telechargements/2018/12/rapport-iga-igas-suap.pdf>
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional studies*, 5(2), 101–107.
- Isard, W. (1956). Location and space-economy.
- Joerin, F., & Bozovic, G. (2007). Comment réorganiser le réseau postal suisse? Une application de l'aide à la décision territoriale. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 51(2), 202-218. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.2007.00174.x>
- Jones, C. O. (1970). *An introduction to the study of public policy*. Belmont: Duxbury Press. Repéré à <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300465794>
- Kaiser, C. (2012). Using cartograms for spatial analysis. Example of the distribution of service facilities and the structure of road network in Switzerland. Dans *AGILE Workshop on Complexity Modeling for Urban Structure and Dynamics*, Avignon, France.
- Kaiser, C. (2020). *Example of how to use OpenTripPlanner with Swiss timetable data*. (S.l.): (s.n.). (original-date: 2020-04-11T11:07:45Z). Repéré à <https://github.com/christiankaiser/otp-example-ch>
- Kendall, M. G. (1960). The Bibliography of Operational Research. *Journal of the Operational Research Society*, 11(1-2), 31-36. <https://doi.org/10.1057/jors.1960.31>
- Klauss, G., Staub, L., Widmer, M., & Busato, A. (2005). Hospital service areas – a new tool for health care planning in Switzerland. *BMC Health Services Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6963-5-33>
- Kulin, H. W., & Kuenne, R. E. (1962). An efficient algorithm for the numerical solution of the generalized Weber problem in spatial economics. *Journal of Regional Science*, 4(2), 21–33.
- Lamarlière, I. G. de, & Staszak, J.-F. (2000). *Principes de géographie économique*. (S.l.): Editions Bréal. (Google-Books-ID: Gnel_ECznMsC).
- Lévy, J., & Lussault, M. (2013). *Dictionnaire de la géographie*. Paris: Belin. (OCLC: 959728302).
- Lindenberg Energie. (2018). Thermographie de bâtiment - GVB Infomaison. Repéré à http://www.hausinfo.ch/fr/home/batiment/energie/assainissement/thermographie_du_batiment.html

- Linthwaite, S., & Fuller, G. N. (2013). Milk, chocolate and Nobel prizes. *Practical neurology*, 13(1), 63–63.
- Lösch, A. (1944). *Die räumliche ordnung der wirtschaft*. (S.l.): Verlag von Gustav Fischer.
- Lucas, K., van Wee, B., & Maat, K. (2016). A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, 43(3), 473-490.
<https://doi.org/10.1007/s11116-015-9585-2>
- Martin-Houssart, G., & Tabard, N. (2002). Les équipements publics mieux répartis sur le territoire que les services marchands. *France, Portrait Social 2002/2003*, 123–139.
- Meeks, E. (2018). *D3.js in action: data visualization with JavaScript* (Second edition). Shelter Island, NY: Manning. (OCLC: on1015309686).
- Merenne-Schoumaker, B. (2008). Géographie des services et des commerces.
- Messerli, F. H., Sarmadi, B., Aminuddin, F., Hamid, M., Saari, N., Abdul-Hamid, A., & Ismail, A. (2012). Chocolate and Your Health. *N Engl J Med*, 367(16), 1562–4.
- Meunier, V., & Marsden, É. (2009). *Analyse coût-bénéfices: guide méthodologique*. (S.l.): FonCSI.
- Morrill, R. L. (1974). Efficiency and Equity of Optimum Location Models. *Antipode*, 6(1), 41-46.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.1974.tb00582.x>
- Morrill, R. L., & Symons, J. (1977). Efficiency and equity aspects of optimum location. *Geographical Analysis*, 9(3), 215–225.
- Netgen. (n.d.). Quelle organisation pour les services d’urgence des hôpitaux périphériques de demain ? L’exemple de l’hôpital de Nyon. *Revue Médicale Suisse*. Repéré à
<https://www.revmed.ch/RMS/2007/RMS-133/32675>
- Neven, D. (1982). La localisation des services d’urgence dans la province de Luxembourg*. *Recherches Économiques de Louvain/ Louvain Economic Review*, 48(3-4), 247-264.
<https://doi.org/10.1017/S077045180004344X>
- Newman, M. E. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law. *Contemporary physics*, 46(5), 323–351.
- Nusrat, S., & Kobourov, S. (2016). The State of the Art in Cartograms. *Computer Graphics Forum*, 35(3), 619-642. <https://doi.org/10.1111/cgf.12932>
- OFS. (2020). Services à la population. Repéré à
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/dienstleistungen-bevoelkerung.html>
- OFS, O. fédéral de la. (2016a). Statistique de la population et des ménages. Repéré à
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/bevoelkerung/erhebungen/statpop.html>
- OFS, O. fédéral de la. (2016b). Statistique structurelle des entreprises. Repéré à
<https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/industrie-dienstleistungen/erhebungen/statent.html>
- Ohnmacht, T., Maksim, H., & Bergman, M. M. (2009). *Mobilities and Inequality*. (S.l.): Ashgate

- Publishing, Ltd. (Google-Books-ID: iByaNpTiCR4C).
- Organisation H+. (2020). Liste des membres H+. Repéré à <https://www.hplus.ch/fr/portrait/listedesmembres/>
- Palander, T. (1935). *Beiträge zur Standortstheorie* (PhD Thesis). Almqvist & Wiksell.
- Pareto, V. (1906). Manuel d'Économie politique, Oeuvres complètes, t. VII, Genève, Droz.
- Pred, A. R. (1969). Behavior and location : foundations for a geographic and dynamic location theory. *Lund Studies in Geography*, 28, 152p.
- Querriau, X., Kissiyar, M., Peeters, D., & Thomas, I. (2004). Localisation optimale d'unités de soins dans un pays en voie de développement : analyse de sensibilité. *Cybergeographie : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeographie.3316>
- Reese, J. (2006). Solution methods for the p-median problem: An annotated bibliography. *NETWORKS: An International Journal*, 48(3), 125–142.
- Rennwald, J.-C. Moratoire sur le plan de la restructuration des bureaux de poste. , Pub. L. No. 01.3300 (2001). Repéré à <https://www.parlament.ch/fr/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20013300>
- Réseaux Santé Vaud. (2020). Présentation des réseaux de santé. Repéré à <https://www.reseaux-sante-vaud.ch/>
- Richard, D. (1982). La localisation des services d'incendie dans la province de Luxembourg: un rapport préliminaire*. *Recherches Économiques de Louvain/ Louvain Economic Review*, 48(3-4), 219-246. <https://doi.org/10.1017/S0770451800043438>
- Rushton, G. (1979). *Optimal location of facilities*. (S.l.): COMPRESS Wentworth, NH.
- Samaras, C. (2020). Geocoding Using VBA & Google API. *My Engineering World*. Repéré à <https://myengineeringworld.net/2014/06/geocoding-vba-google-api.html>
- Spiekermann, K., & Wegener, M. (1994). The shrinking continent: New time—space maps of Europe. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21(6), 653–673.
- Sun, H., & Li, Z. (2010). Effectiveness of cartogram for the representation of spatial data. *The Cartographic Journal*, 47(1), 12–21.
- SVM. (2020). Trouver un médecin. Repéré à <https://www.svmed.ch/patients/trouver-un-medecin/>
- Tobler, W. (2004). Thirty five years of computer cartograms. *ANNALS of the Association of American Geographers*, 94(1), 58–73.
- Walsh, S., Cullinan, J., & Flannery, D. (2017). The impact of proposed higher education reforms on geographic accessibility to universities in Ireland. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 10(4), 515–536.
- Webber, M. J. (1972). *Impact of uncertainty on location*. (S.l.): Australian National University Press. Repéré à <https://openresearch-repository.anu.edu.au/handle/1885/115175>
- Weber, A. (1929). *Theory of the Location of Industries*. (S.l.): University of Chicago Press.

8. Annexes

Annexe 1 : Table de structure du fichier JavaScript utilisé par VD-SerVIS

Ligne	Réf.	Titre	Contenu
L.3	1.	Map Components	cf. 1.1-1.2
L.7	1.1.	Leaflet and basemaps	<ul style="list-style-type: none"> - Ajout de la carte Leaflet - Ajout des fonds de carte - Ajout des coordonnées du pointeur
L.61	1.2.	Markers	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés générales des marqueurs - Propriétés spécifiques des marqueurs et popups selon le type de service - Propriétés spécifiques des marqueurs et popups selon leur statut (défaut/sélectionné)
L.390	2.	Service type selection	cf. 2.1-2.3
L.394	2.1.	JQuery plug-in for dropdown list	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'une liste déroulante avec icônes
L.474	2.2.	Service properties variables	<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation de variables vides pour accueillir les différentes propriétés du type de service sélectionné - Fonction de réinitialisation en cas de changement de type de service
L.513	2.3.	Service type selection events	<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage des variables initialisées en 2.2., indépendamment du type de service sélectionné - Remplissage des variables initialisées en 2.2., dépendamment du type de service sélectionné
L.735	3.	Unit selection	cf. 3.1-3.3
L.739	3.1.	Selection by checkboxes	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture/fermeture d'une fenêtre de gestion des checkboxes - Sélection des marqueurs - Actualiser le compte des entités sélectionnées
L.814	3.2.	Selection by lasso	<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation de l'outil - Sélection des marqueurs - Désélection des marqueurs
L.917	3.3.	Selection by popup	<ul style="list-style-type: none"> - Sélection des marqueurs - Désélection des marqueurs
L.971	4.	Requirements for results display	cf. 4.1-4.2
L.975	4.1.	Selection properties variables	<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation de variables vides relatives à la sélection

			<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation de variables vides relatives à l’affichage sur la carte - Initialisation de variables vides relatives à l’histogramme - Initialisation de variables vides relatives aux barres de couleurs
L.1013	4.2.	“Toolbox” functions	<ul style="list-style-type: none"> - Sommes pour un tableau (array) - Séparateur de milliers - Conversion de secondes en minutes - Mise à jour de l’affichage lorsque l’utilisateur déplace la carte
L.1065	5.	Time & population settings	cf. 5.1.-5.3.
L.1069	5.1.	Slider	<ul style="list-style-type: none"> - Création du slider - Touches fléchées du slider
L.1095	5.2.	Erase buttons	<ul style="list-style-type: none"> - Effacer les hectares sur la carte - Effacer la sélection complète
L.1172	5.3.	Population differentials	<ul style="list-style-type: none"> - Affichage des densités de population sur la carte avec D3
L.1221	6.	Slider drag-related events	cf. 6.1-6.6
L.1225	6.1.	Function initialization	<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation de la fonction
L.1241	6.2.	Updating global variables	<ul style="list-style-type: none"> - Remplissage des variables initialisées en 4.1., selon la sélection actuelle (unités et temps)
L.1323	6.3.	Squares on map	<ul style="list-style-type: none"> - Ajout des hectares sur la carte avec D3
L.1356	6.4.	Values in results box	<ul style="list-style-type: none"> - Calcul des résultats statistiques - Barre de progression D3 - Mise en forme conditionnelle des résultats
L.1499	6.5.	Histogram	<ul style="list-style-type: none"> - Calcul d’un histogramme “caché” des temps de trajets - Conversion en un histogramme classique de population - Dimensions et étendue de l’histogramme avec D3 - Axes, graduations et barres - Interactivité lorsque l’utilisateur pointe le curseur sur une barre
L.1683	6.6.	Various updates functions	<ul style="list-style-type: none"> - Autres fonctions de mise à jour lorsque le slider se déplace