

Environnement – Montagne



Master SEAM - EPGM

Université Savoie Mont-Blanc

Risque d'enclavement des vallées alpines par les risques naturels Analyse de la vulnérabilité des réseaux

Rapport de stage en entreprise

Présenté par

Clément MURAT

Master Sciences et Technologie
Mention Sciences de l'environnement appliquées à la Montagne
M1 SEAM-EPGM

Juin 2019



*Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels*



Notice analytique

Stagiaire :

Murat Clément
clement.murat@etu.univ-smb.fr

Maitre de stage

Peisser Carine
Chef de projet au Pôle Alpin d'étude et de recherche pour la prévention des Risques Naturels
carine.peisser@univ-grenoble-alpes.fr

Tuteur universitaire

Hobléa Fabien
Enseignant chercheur à l'USMB (laboratoire EDYTEM)
fabien.hoblea@univ-smb.fr

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le PARN, et en particulier Carine Peisser, pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Il m'a ouvert la possibilité de découvrir avec un autre regard, l'étude de la gestion des risques naturels à différentes échelles, aussi bien spatiales que temporelles et la place qui leur est accordée dans la gestion des territoires. Je tiens à exprimer ma reconnaissance quant à la disponibilité qui m'a été accordée ainsi qu'à la liberté qui m'a été confiée dans l'approche des différentes thématiques tout le long du stage.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des membres de l'équipe du PARN pour leur accueil et l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, les échanges que j'ai pu avoir avec eux ont été un moteur et une motivation pour moi au cours de ces dix semaines.

Merci aussi pour toutes ces occasions qui m'ont été données de participer à de nombreux échanges et conférences avec les différents acteurs qui animent la gestion et le monde des risques naturels. La rencontre avec ces personnes de terrain, maires, préfets, chercheurs, gestionnaires d'infrastructures, m'a donné l'opportunité de découvrir et de mieux comprendre les liens entre ces différents acteurs, leur travail ainsi que leur vision du risque.

Résumé

Les risques naturels en milieu de montagne sont des phénomènes complexes. Leurs conséquences sont variées, et dépendent en grande partie de facteurs aussi bien spatiaux que temporels. Dans un contexte de changement climatique, la connaissance de l'évolution de ces risques est un exercice compliqué. Dans le cadre de son réseau d'interface Science-Décision-Action, le PARN contribue au développement et au transfert d'outils d'analyse et de gestion des risques dans le territoire alpin. Lors du séminaire de Monêtier-les-Bains organisé le 20 Mars 2018 sur l'enclavement des vallées alpines, le besoin d'analyser le territoire alpin est apparu dans les discours à de nombreuses reprises, dans le but de mettre en évidence les zones les plus susceptibles au risque d'enclavement.

Afin d'explorer et d'analyser le territoire pour en identifier les points stratégiques, j'ai été missionné par le PARN dans le cadre d'un stage court de master 1 (SEAM), pour apporter une première approche (étude exploratoire sur outils possibles) en développant une méthodologie et un outil SIG pour faciliter l'analyse de la susceptibilité. Ce rapport présente le travail réalisé durant ces 10 semaines, ses limites et ses applications potentielles par les acteurs de la gestion des risques.



TABLE DES MATIERES

I. Introduction	4
II. Le PARN	5
III. Mise en contexte	6
III.1 La notion de vulnérabilité	6
III.2 La notion d'enclavement.....	6
III.3 Les Alpes françaises comme zone d'étude	7
IV. Etude SIG.....	8
IV.1 Analyse du réseau routier	8
IV.1.1 Le choix d'OpenStreetMap	8
IV.1.2 La détection des impasses dans le réseau routier	9
IV.1.3 La détection des impasses dans le réseau ferré.....	10
IV.1.4 Les cols fermés l'hiver	11
IV.1.5 L'altitude des réseaux routiers	12
IV.1.6 Analyse de l'altitude des réseaux routiers	13
IV.2 Les éléments constitutifs du réseau routier comme objets vulnérables	14
IV.2.1. Les ponts.....	14
IV.2.2 Les tunnels.....	16
IV.3 Une première approche des points d'importances stratégiques et économiques ...	17
IV.3.1 Les établissements sanitaires et sociaux.....	17
IV.3.2 Les stations-villages, pôles économiques des Alpes françaises.....	18
IV.4 Premiers croisements avec les aléas naturels	19
IV.4.1 L'aléa avalancheux	19
IV.4.1 L'alea rocheux	22
IV.5 Analyse réseau avec QGIS, une approche précise à différentes échelles	23
IV.5.1 La notion de plus court chemin	23
IV.5.2 La fonction V.Net. ISO, un réseau routier par Isoligne	24
V. Conclusion.....	26
VI Bibliographie	28



I. Introduction

Selon le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, deux tiers des 36 000 communes françaises sont exposées à au moins un risque naturel.

Ce risque existe lorsqu'il y a croisement d'un aléa, caractérisé par un phénomène naturel (inondation, chute de bloc, avalanche, glissement de terrains, etc...) et / ou technologique d'intensité donnée, avec un enjeu matériel, humain ou financier qui lui est associé (ouvrages d'art, vies humaines, réseaux, etc...). A ces deux notions s'ajoute celle de la vulnérabilité, paramètre essentiel, conditionnant l'importance des dégâts et des conséquences (humaines ou monétaires) générés par la manifestation du phénomène.

Malgré l'image de sérénité et de stabilité que peuvent laisser transparaître les territoires de montagnes, entourés par leurs imposantes forteresses géologiques et aux décors de carte postale aux airs immuables, ceux-ci sont particulièrement soumis aux aléas du milieu naturel de par leurs contraintes topographiques et climatiques. On estime ainsi qu'au niveau national 40% des communes de montagne françaises sont soumises à au moins 1 risque naturel (Club Alpin Français, 2014), proportion encore plus importante dans les Alpes où au moins 2 aléas sont recensés par communes (Ministère de l'environnement).

La montagne vit et évolue : avalanches, chutes de blocs, glissements de terrains, séismes, crues torrentielles sont autant d'aléas caractéristiques des milieux de montagne [Naaim-Bouvet & Richard, 2015], qui mettent en danger, soit de manière directe ou indirecte, la sécurité et la vie des habitants des vallées, ainsi que la pérennité des infrastructures et des réseaux de transports, augmentant ainsi leur risque d'enclavement (physique, économique...).

L'étude, la gestion et la prévention de ces risques dans les Alpes doit s'adapter à ces phénomènes qui évoluent en parallèle avec le changement climatique, le tout avec sa part d'incertitude, que ce soit en termes de fréquence ou d'intensité de la manifestation des événements [Richard & al, 2010].

Dans le cadre de l'animation de son réseau « Science-Décision-Action pour la prévention des risques naturels dans les Alpes », le PARN a organisé le 20 mars 2018 un séminaire sur la thématique de l'enclavement des vallées alpines par les risques naturels, à Monétier-les-Bains, afin d'échanger entre les acteurs du territoire des régions PACA et AURA sur les problématiques de gestion et de prévention des risques naturels.

Les événements et témoignages évoqués lors de cette rencontre, tels que le glissement de terrain du Chambon sur la commune de Mizoën (Isère) d'avril 2015 à décembre 2017, qui a provoqué la coupure de la RD1091 durant 32 mois, ou l'enclavement sur une période de 24h de Vallorcine (Haute-Savoie) suite à une crue avalancheuse forçant la fermeture du col des Montets, ont mis en évidence plusieurs pistes à travailler. Parmi celles-ci, l'analyse et la cartographie des réseaux sensibles (notamment les vallées à fort risque d'enclavement) a été mise en avant afin de pouvoir anticiper et préparer au mieux les événements comme ceux évoqués précédemment.

L'objectif de ce stage est de présenter un état des possibilités offertes par des outils de traitements simples (ici QGIS), en utilisant le plus possible des données libres d'accès et de diffusion, pour répondre à l'échelle macroscopique aux besoins exprimés par les acteurs de la gestion des risques lors du séminaire. Ce rapport présente les premiers résultats, bases de données et perspectives qui ont été apportés lors de ce stage de 10 semaines. L'ensemble des modélisations cartographiques qui y sont présentées ont été réalisées à l'aide du logiciel QGIS (version Madeira 3.4.3). Les bases de données créées ont également été réalisées à l'aide de QGIS mais aussi du logiciel Excel 2010.

Afin de respecter le système de projection légal français, l'ensemble des couches, des cartes, ainsi que le géoréférencement des points de bases de données sont en Lambert 93 (epsg 2154).



II. Le PARN

Le Pôle Alpin d'étude et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PARN), est une association d'interface à but non lucrative fondée en 1988. Localisée sur le campus de l'Université Grenoble Alpes (UGA). Elle joue le rôle d'interface entre les différentes sphères scientifiques, décisionnelles et opérationnelles.

Comme son nom l'indique, le PARN a fait des risques naturels (notamment en territoire de montagne) son principal domaine d'expertise, mais est aussi actif dans la question du changement climatique, de la résilience territoriale, la gouvernance des risques et leurs approches socio-économiques. Son large spectre de compétences lui permet aujourd'hui d'intervenir auprès des territoires à une échelle locale, jusqu'aux politiques publiques à une échelle nationale et transnationale (Interreg, SUERA).

Ses objectifs premiers sont de canaliser les efforts de recherche dans le domaine de la Gestion Intégrée des Risques Naturels (GIRN) et proposer des outils scientifiques efficaces aux services publics pour améliorer la prévention et la prévision de ceux-ci.

Pour ce faire le PARN réunit une équipe permanente de 6 personnes (un directeur, une assistante de direction, une chef de projet et 3 chargés de missions), pour un équivalent temps plein de 3,6 personnes, soutenues par ses membres : 9 organismes de portée locale, régionale et nationale, universités, établissements publics de recherche et associations, ayant une implication dans la recherche et l'étude des risques naturels.

Trois grandes thématiques phares sont animées par l'association dans son projet de coordination, d'animation et de participation à la recherche sur les risques naturels en montagne :



La Gestion Intégrée des Risques Naturels dans les territoires alpins, s'inscrit dans le cadre de la Convention Interrégionale du Massif des Alpes (CIMA) et du Programme Opérationnel Interrégional du massif Alpin (POIA). Son but est de promouvoir et développer des démarches innovantes de gestion intégrée des risques naturels en montagne. Le Parn est chargé d'apporter un appui technique et méthodologique aux territoires dans l'élaboration et de la mise en œuvre de programme d'action pluri-annuels de GIRN à 'échelle intercommunale.



Cible l'impact du changement climatique sur les risques naturels et l'adaptation des territoires alpins. Le PARN regroupe, analyse et synthétise les connaissances scientifiques relatives à ces sujets pour mettre à disposition un état des connaissances auprès de la sphère décisionnelle et scientifique (veille scientifique, synthèse et diffusion des connaissances sur les impacts du changement climatique et les événements remarquables).

Le PARN apporte un appui aux partenaires (opérationnels, scientifiques ou associatifs) en matière d'adaptation.





Le PARN amène un réseau d'interface en lien avec la Gestion Intégrée des Risques Naturels en montagne. Il a pour objectif l'émergence et la construction collective de projets scientifiques en partenariat avec des acteurs locaux. Le PARN accompagne ainsi des porteurs de projets scientifiques en lien avec les gestionnaires utilisateurs finaux pour l'incubation de projets de Recherche-Action et la valorisation des résultats. Son but premier est de mettre en place des outils novateurs d'adaptation au changement climatique et de gestion intégrée des risques naturels, afin de tendre vers un massif alpin plus résilient.

III. Mise en contexte

III.1 La notion de vulnérabilité

Cela fait maintenant plus de 30 ans que la notion de risques naturels a été formalisée sur le plan national (Besson, 1996) comme international [Revêt, 2009]. Cette notion croisant Aléas et Enjeux est maintenant bien partagée et occupe des chercheurs tout autour du monde. La notion de vulnérabilité des différentes infrastructures, des populations et des aménagements a quant à elle longtemps été mise à l'écart [Veyret & Reghezza, 2006] mais est de plus en plus prise en compte pour tendre vers une Gestion Intégrée du Risque Naturel (GIRN).

Cette vulnérabilité peut se caractériser à la fois par une composante physique, c'est-à-dire l'intensité de l'exposition, des dégâts ou des pertes subies par un territoire, et également par une composante sociale, englobant la capacité de résistance, d'adaptation et de résilience du territoire [Veyret & Reghezza, 2005]. Les définitions varient cependant d'un auteur à l'autre, et montrent la complexité, et donc la nécessité de la prise en compte des divers aspects de cette notion dans l'étude et la protection des territoires face aux aléas naturels.

III.2 La notion d'enclavement

D'après Géoconfluence, l'enclavement fait référence à la notion de fermeture. Un territoire enclavé correspond alors à un territoire souffrant « d'un déficit d'accessibilité pour des raisons géopolitiques ou du fait de sa position en angle mort, privé de façade maritime et de voies de communication praticables avec son environnement régional et mondial ». Cette définition prenant en compte le nombre et l'organisation des dessertes spatiales sur le territoire, elle s'adapte particulièrement bien au contexte de ce travail.

Le déficit d'accessibilité se manifeste alors lorsqu'il y a occurrence d'un phénomène naturel et/ou technologique sur un tronçon clef d'un réseau (routier, électrique, d'eau), paralysant entièrement ou sévèrement les territoires en amont comme en aval du fait de l'interdépendance des réseaux entre eux (figure 1).

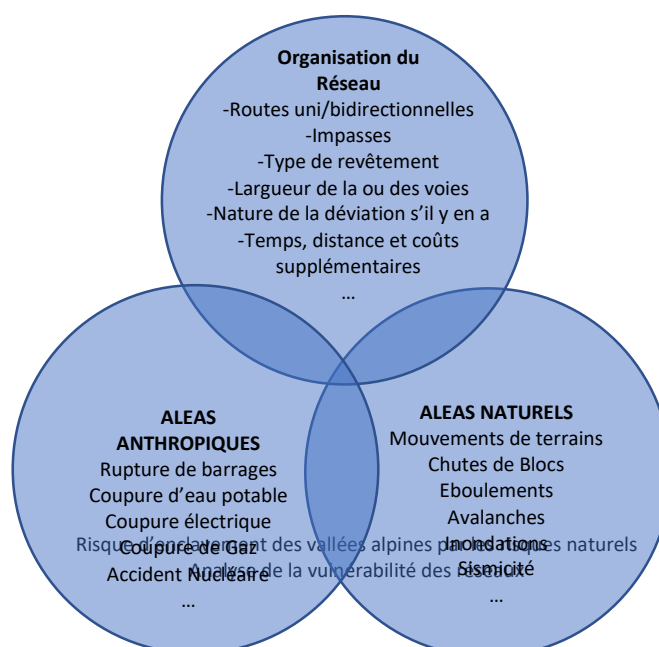




Figure 1 : Facteurs de prédisposition au risque d'enclavement (© Murat Clément)

Couplée à la notion de vulnérabilité des territoires, on peut alors définir plusieurs niveaux d'enclavement, plus ou moins sévères suivant l'organisation et la résilience du territoire d'intérêt (figure 2).

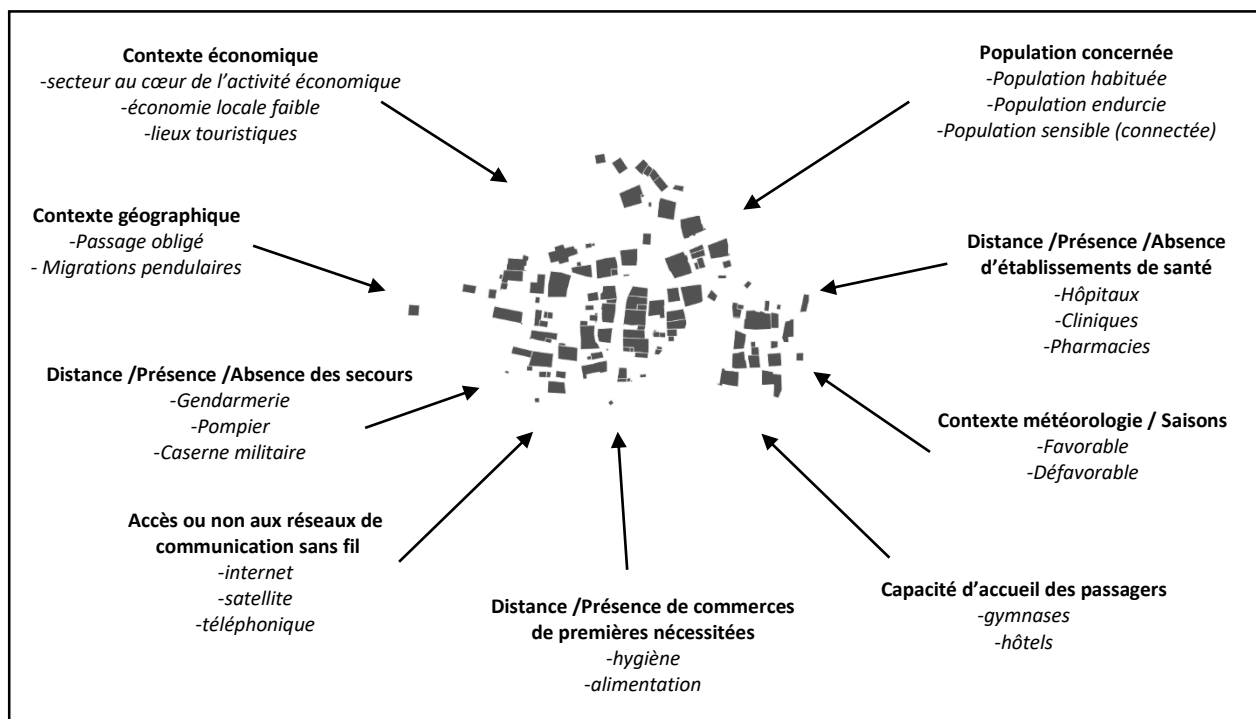
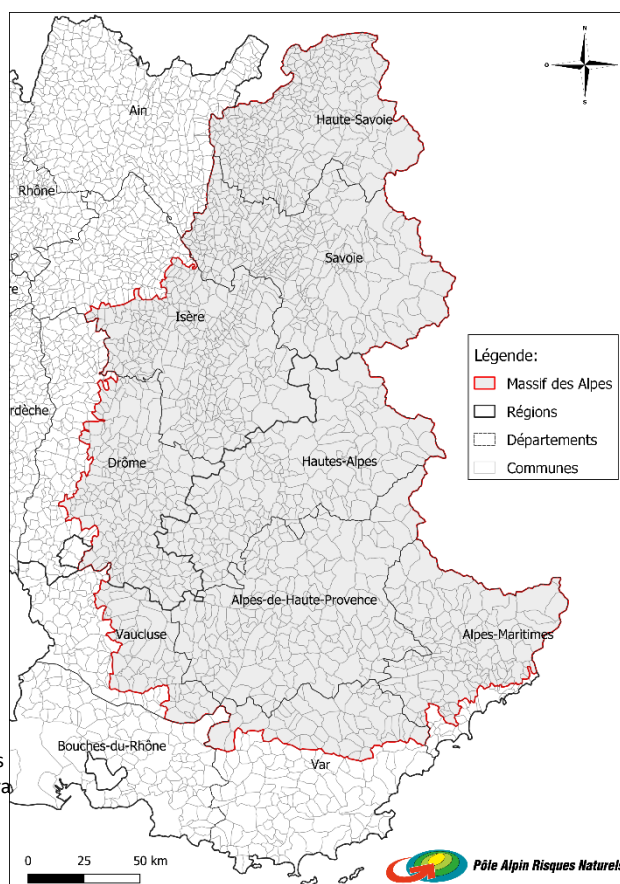


Figure 2 : Facteurs d'influence de la gravité d'un enclavement (© Murat Clément)

III.3 Les Alpes françaises comme zone d'étude

Le massif des Alpes est aujourd'hui particulièrement concerné pour l'étude des risques naturels. Sensible aux changements climatiques, il enregistre des évolutions rapides et marquées qui entraînent un intérêt accru des scientifiques et des sphères décisionnelles à son égard [Einhorn *et al*, 2015]. Cette emprise géographique correspond par ailleurs au domaine d'intervention du PARN.

Dans ce contexte il a été décidé de travailler sur les 9 départements français faisant partie de ce massif (en partie ou dans leur totalité) (figure 3) : la Haute-Savoie (74), la Savoie (73), les Hautes-Alpes (05), l'Isère (38), les Alpes de Haute



Risque d'enclavement des vallées
Analyse de la vulnérabilité



Provence (04), la Drôme (26), le Var (83), le Vaucluse (84) et les Alpes Maritimes (06).

Ce large territoire pose donc une question d'échelle de représentation des résultats, de précision et d'homogénéité des données qui sera évoquée tout au long du rapport.

Figure 3 : carte de localisation du domaine

d'étude(© Murat Clément)

IV. Etude SIG

IV.1 Analyse du réseau routier

IV.1.1 Le choix d'OpenStreetMap

Le réseau routier choisi pour l'analyse de l'enclavement provient d'OpenStreetMap (OSM). OSM représente un vaste projet cartographique lancé en 2004, il couvre l'ensemble du globe et se veut libre d'utilisation (sous licence libre ODbL). Aujourd'hui il représente la plus grande base libre de données géographiques au monde.

Les nombreux intérêts de l'utilisation d'OSM pour ce projet résident en une variété de données utilisables allant d'un réseau routier très complet à la localisation des bâtis, des cours d'eau, de l'utilisation du sol jusqu'aux densités de population des villes les plus importantes et cela de manière homogène à l'échelle du massif des alpes. Ces nombreuses données, leurs renseignements et leurs complémentarités ont été un choix déterminant de leur utilisation.

En ce qui concerne la base de données ROUTE500 de l'IGN, celle-ci présente une très bonne connexion entre les arcs et les points, ainsi qu'un renseignement complet sur la nature de chaque tronçon qui la compose [Leone & Deymer, 2011]. Cependant l'absence de nombreux tronçons routiers « secondaires » présentait une perte potentielle d'information trop importante.

Dans un objectif d'étude de vulnérabilité des réseaux, l'absence de certains de ces tronçons pouvait faire passer à côté d'impasses (car n'existant pas dans le réseau IGN) ou alors ne pas mettre en évidence la présence de connexions avec d'autres routes secondaires, définissant alors la route comme étant une impasse, mais sans en être réellement une (figure 4).

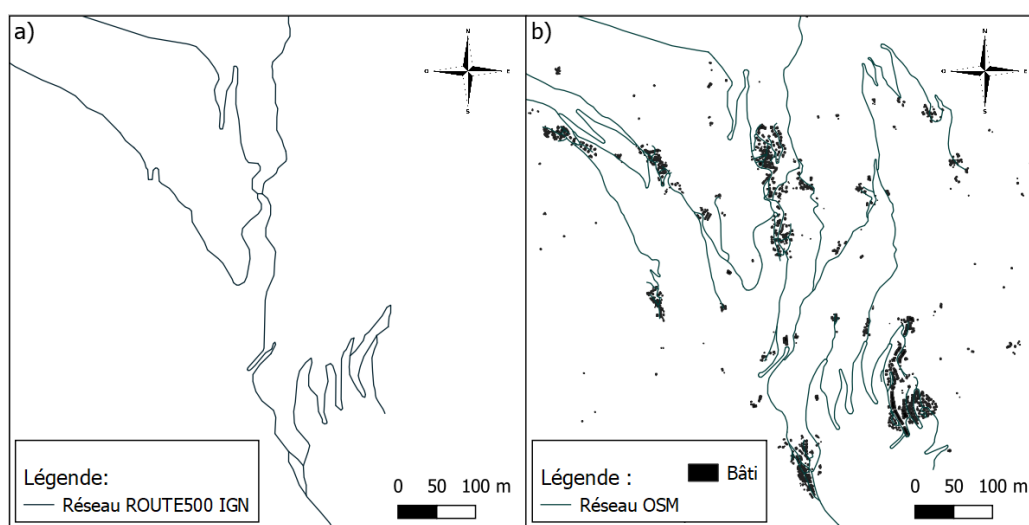


Figure 4 : Exemple de comparaison entre le réseau routier ROUTE500 de l'IGN (a), et le réseau issu d'OpenStreetMap (b). Le bâti a été ajouté pour monter l'importance des réseaux routiers ne figurant pas sur la BD ROUTE500. (© Murat Clément)



IV.1.2 La détection des impasses dans le réseau routier

Les impasses sont ici déterminées comme une route menant d'un point (a) vers un point (b) et dont l'unique manière de retourner au point (a) est de réemprunter cette même route. Cette étude se base donc sur la dimension spatiale du réseau routier, une dimension relativement peu prise en compte alors que ces réseaux sont des objets spatiaux par définition [Lhomme, 2015].

De nombreuses approches ont été envisagées dans divers études notamment sur la notion de sommets critiques [Chapelon, 1996] [Lhomme, 2015], dans lesquelles chaque nœud du réseau routier se voit attribuer une classe d'importance suivant le nombre de connexions qui lui sont reliées. Il a semblé plus pertinent ici de mettre en évidence les routes sensibles du réseau qui constituent un risque d'enclavement des différents territoires.

Cette sélection s'est faite manuellement, elle a permis d'apporter un regard critique sur l'évaluation de l'importance des tronçons routiers et de ne pas surcharger les données avec des impasses de faible importance comme celles des réseaux urbains, ou des routes isolées à faibles enjeux (absence d'habitations etc..). Un important tri préalable du réseau OSM a été effectué afin de supprimer les chemins et les routes non carrossables, non ou très peu praticables par les véhicules à moteur.

La catégorisation du réseau et l'ajout du bâti avec les informations sur l'effectif de la population a été rajouté pour donner une approche de l'importance des réseaux du territoire et des villes qu'ils traversent.

Pour plus de lisibilité, l'ensemble des actions réalisées pour traiter les données est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 5) : ce type de diagramme se lit de gauche à droite et de bas en haut en suivant l'ordre indiqué par les flèches. La même série d'actions a été mise en application séparément pour chaque département de la zone d'étude.

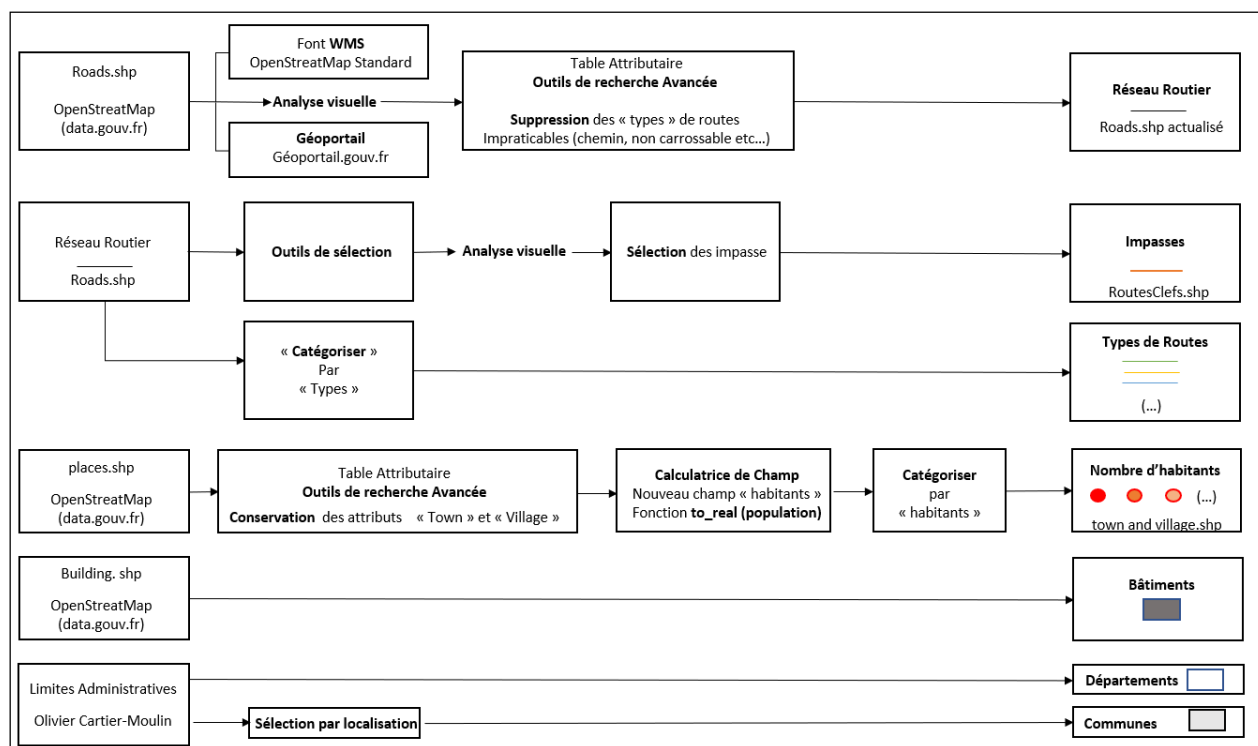


Figure 5 : Diagramme d'exécution – Carte impasses des réseaux routiers. (© Murat Clément)



Les 9 cartes (une par département) sont présentées dans l'Atlas cartographique (page 35 à 43), le cartouche représente un zoom de chaque carte et donne un aperçu de la diversité d'informations disponibles dans chaque projet SIG. Chaque département possède son propre projet, cela permet de créer des projets moins lourds (entre 150 et 500 Mo) plus facilement échangeables et plus facilement assemblables sous un seul projet si besoin est.

IV.1.3 La détection des impasses dans le réseau ferré

Le réseau ferré français dessert une grande partie des territoires de plaines et de montagnes, que ce soit par le transport de marchandises ou de voyageurs. Ces tracés rectilignes coupent de nombreux cours d'eau et affectent les écoulements de surface de par la modification topographique souvent nécessaire à leur implantation [Chazelle *et al*, 2014]. Leur position près des flancs de montagne pour impacter au moins les fonds de vallées en font des cibles pour les éboulements, glissements de terrain ou encore crues torrentielles. La voie ferrée de la Saulcette (Isère) en a fait les frais le 7 avril 2015, les deux filets par-blocs en amont n'ayant pas suffi à stopper les blocs, qui sont alors venus endommager (entre autres) la voie ferrée sur plus de 300m, entraînant ainsi la coupure de la liaison Moutiers-Bourg-Saint-Maurice pour plusieurs jours en période de vacances scolaires, avec donc de fortes incidences sur le trafic passager .

Un travail similaire a donc été réalisé sur les réseaux ferrés. Les données sont issues de la BD ROUTE500 de l'IGN car la conception de celles-ci présente des avantages techniques et un gain de temps comparé aux données issues de OSM.

L'idée a été de mettre en évidence les différents types de gares ferroviaires et de marquer les terminus, correspondant à la fin des lignes de chemins de fer. Cela permet d'attirer l'attention sur le caractère définitif d'un tronçon pour pouvoir ainsi le remonter plus facilement jusqu'à la première intersection.

Les données obtenues sont disponibles pour l'ensemble du réseau ferré de France métropolitaine, les données étant assez légères à traiter et le temps de calcul relativement court (une vingtaine de minutes).

Cette méthode n'a pas pu être appliquée aux réseaux routiers, les données étant construites d'une manière différente et étant trop lourdes à traiter par l'ordinateur (une dizaine d'heures par département).

L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 6).

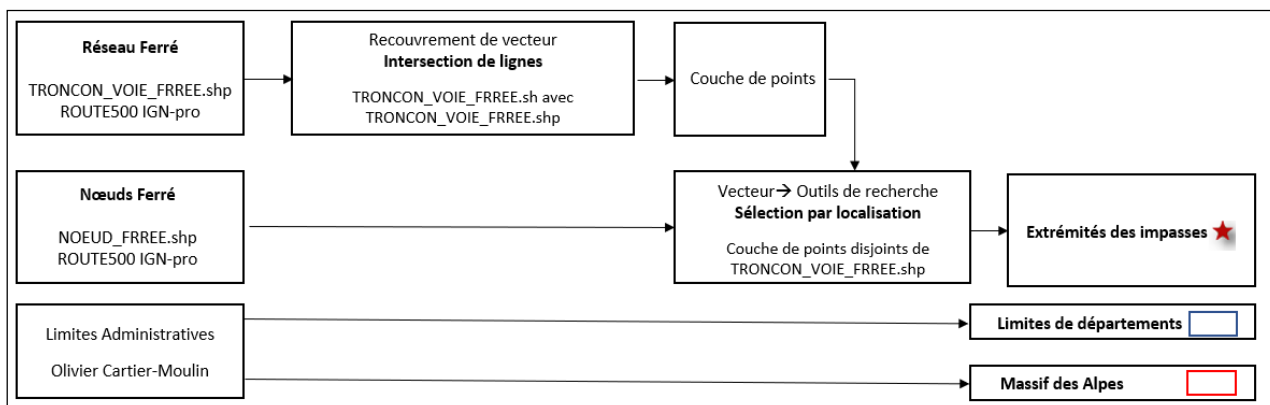




Figure 6 : Diagramme d'exécution – Carte des impasses du réseau ferré. (© Murat Clément)

La carte est présentée dans l'Atlas cartographique (page 44), elle ne concerne que la zone d'étude définie, mais l'ensemble des données sont présentées et conservées dans le projet SIG correspondant.

IV.1.4 Les cols fermés l'hiver

Le réseau routier tel qu'étudié précédemment est valable uniquement hors période hivernale. En effet, de nombreux cols intramontagnards qui forment des ponts d'accès entre les différents reliefs, comme le Cormet de Roselend qui fait la liaison entre Beaufort et Bourg-Saint-Maurice sont fermés à l'approche des premières chutes de neige jusqu'à la fonte ou le déneigement de ceux-ci.

Afin d'avoir une approche hivernale de la notion de vulnérabilité des réseaux, un géoréférencement des cols officiellement fermés l'hiver a été réalisé. Ce géoréférencement ayant été effectué au mois de mars, les sites « info. routes » des différents départements ont pu être utilisés, les cols étant actuellement fermés dans le massif alpin français, ils y apparaissaient comme non praticables. Les sites de sport, notamment ceux spécialisés dans le vélo de route donnent aussi une liste de ces cols, ce qui a permis de valider et de compléter les données prises sur les sites officiels. Les coordonnées de longitude, latitude et altitude des cols ont été relevées grâce à l'outil Géoportail et transposées dans un fichier Excel de type csv afin de pouvoir l'ouvrir avec QGIS.

L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 7).

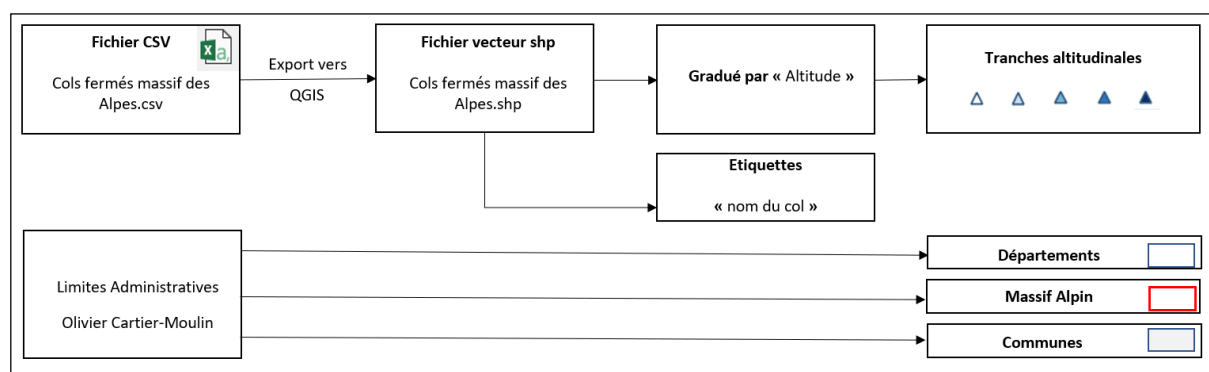


Figure 7 : Diagramme d'exécution – Carte des cols fermés l'hiver dans le massif alpin français. (© Murat Clément)

Le temps manquant pour affecter à chaque col leurs dates de fermeture et d'ouverture, il a été choisi de graduer les cols par tranches altitudinales de 500m. L'altitude permet de donner une idée du potentiel d'enneigement et de fermeture de ceux-ci. Une représentation de cette base de données est présente dans l'Atlas cartographique (page 45).

Cette base de données créée peut-être complétée par la BD ROUTE500 de l'IGN. La table attributaire permet de faire apparaître seulement les routes référencées comme étant fermées l'hiver, et donc complète bien le fichier de points créé.



IV.1.5 L'altitude des réseaux routiers

Dans un contexte de vulnérabilité hivernale des réseaux, les précipitations neigeuses peuvent représenter un rôle clef dans l'accès à certains villages ou stations de ski, pôles économiques des vallées alpines. De manière générale ces perturbations s'exercent dès que les chutes de neige tiennent sur la route, et cela de manière plus ou moins durable suivant les routes affectées (principales ou secondaires), la vitesse de la réponse des équipes de déneigement ou même la période touristique [Serre, 2001, p68]. Les exemples ne manquent pas dans les Alpes, où les fortes chutes de neige ont déjà paralysé à plusieurs reprises des milliers d'automobilistes sur le secteur d'Albertville, alors qu'ils tentaient de rejoindre les stations de sports d'hiver de Tarentaise (événement du 27 décembre 2014, 15000 véhicules à l'arrêt).

Avoir une approche spatiale de l'altitude des réseaux routiers semble donc être un atout pour mieux anticiper les potentiels ralentissements, surtout s'ils concernent des points d'accès uniques.

Afin d'obtenir des valeurs cohérentes et exploitables, les tronçons du réseau routier de chaque département ont été fragmentés en de plus petites sous-parties. Un grand tronçon de plusieurs km se voit alors subdivisé en plusieurs entités de quelques mètres auxquelles est attribuée une altitude grâce au MNT 75m de l'IGN. Cela permet un meilleur dégradé de couleurs sur les cartes, un rendu plus réaliste et des données plus exploitables.

L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 8).

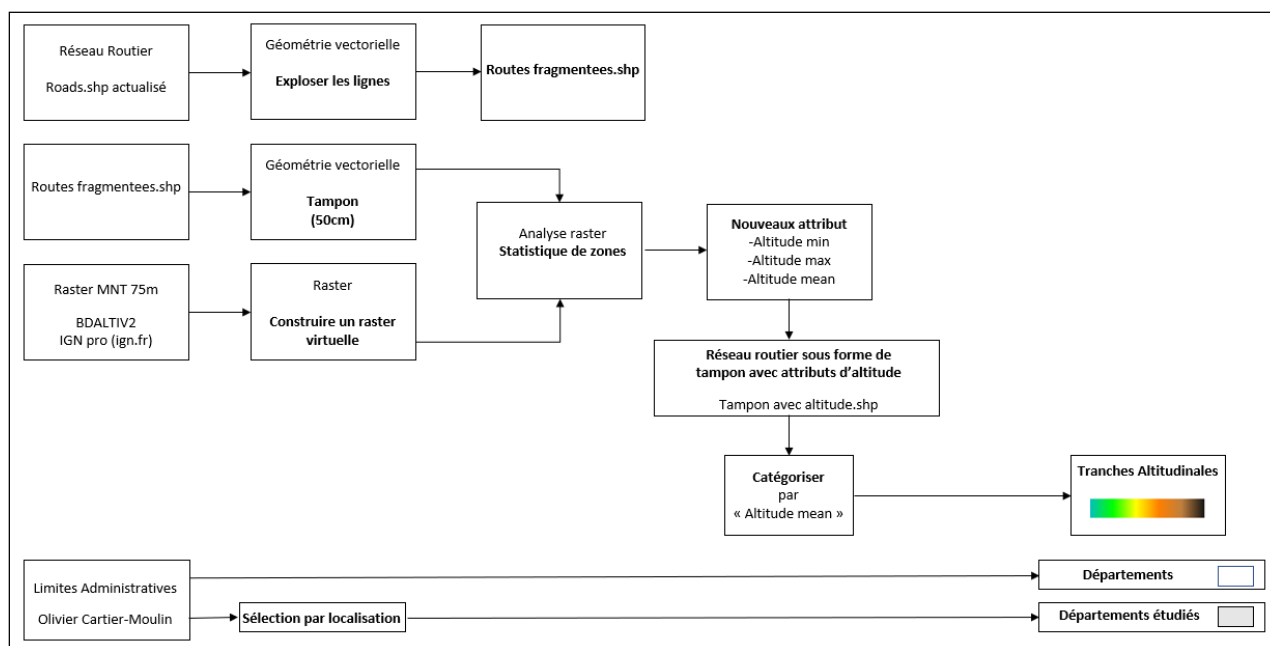


Figure 8 : Diagramme d'exécution – Altitude des réseaux routiers (@ Murat Clément)

QGIS n'affectant pas d'altitude à des polygones, des zones tampons ont été attribuées à celles-ci après qu'elles aient été fragmentées. Le réseau routier contenant l'attribut d'altitude se trouve donc être sous la forme de polygones. Une tentative d'attribution spatiale vers le réseau en polygones fragmentées (« joindre les attributs par localisation ») a été mise en application mais sans succès, les milliers d'informations à traiter étant trop lourdes à prendre en charge pour l'ordinateur.



Les 9 cartes sont présentées dans l'atlas cartographique (pages 46 à 54), l'ensemble des données SIG concernant l'altitude des réseaux routiers des 9 départements sont comprises dans le même projet SIG.

IV.1.6 Analyse de l'altitude des réseaux routiers

A partir des données produites par les statistiques de zones entre la couche du réseau routier sous forme de polygone et le MNT de l'IGN, des statistiques sur les altitudes des réseaux des 9 départements de la zone d'étude ont pu être produites.

Grace à la fonction « calculatrice de champs » de QGIS, l'aire des polygones qui constituent le réseau routier fragmenté a été calculée (fonction \$area). Chaque polygone ayant une largeur fixe égale à 1 m, seule leur longueur fait varier leur aire, ce qui a facilité l'utilisation de cette donnée.

Pour chacun des départements un fichier Excel a été créé grâce à l'export des tables attributaires des réseaux routiers (sous forme de polygone et avec attribut d'altitude). Les aires de chaque entité ont ensuite été sommées en fonction de l'altitude de celle-ci grâce à la fonction ci-dessous :

```
=SOMME.SI.ENS ($C$2:$C$385706 ; $B$2:$B$385706; ">0" ;$B$2:$B$385706; "<250")
```

Cette fonction permet de réaliser uniquement la somme des valeurs d'une colonne donnée en fonction de la valeur (numérique) ou du texte compris dans la cellule de la colonne voisine.

Telle qu'elle a été représentée ci-dessus, elle a permis de réaliser la somme des aires de la colonne C pour des altitudes de la colonne B comprises entre 0m et 250m. Au total 9 classes altitudinales ont été définies, s'étalant de 0m à 3000m d'altitude, par tranches de 250m chacune.

Les valeurs obtenues ont ensuite été transformées en pourcentage en divisant l'aire du réseau routier donné pour une tranche altitudinale, par la somme totale de l'air du réseau routier du département considéré. Les résultats concernant la part du réseau par tranche altitudinale sont représentés sur les graphiques en annexe (annexe 1).

L'altitude moyenne de chaque réseau routier a aussi été extraite en faisant une moyenne pondérée entre l'altitude des entités et leur aire. Les résultats sont visibles sur le tableau ci-dessous (figure 9) :

Département	Altitude moyenne du réseau routier (mètres)	Tranche altitudinale dominante (mètre)
HAUTE-SAVOIE (74)	665 m	500m - 750m
SAVOIE (73)	710 m	250m - 500m
ISERE (38)	436 m	250m - 500m
HAUTES-ALPES (05)	1022 m	750m - 1000m
DROME (26)	302 m	0m - 250m
ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE (04)	700 m	500m - 750m
VAR (83)	196 m	0m - 250m
VAUCLUSE (84)	172 m	0m - 250m
ALPES-MARITIMES (06)	365 m	0m - 250m

Figure 9 : Altitude moyenne et tranches altitudinales dominantes des réseaux routiers pour les départements donnés. (© Murat Clément)



Le département des Hautes-Alpes se révèle disposer du réseau routier le plus élevé des Alpes françaises (1022m de moyenne), tandis que le Vaucluse dispose du réseau routier le plus bas avec ses 172m d'altitude moyenne. La précision de ces données reste celle du MN75 m de l'IGN, en suivant le même process avec un MNT plus précis (25m ou 1m) la finesse des données peut être améliorée.

En utilisant la même méthode que celle décrite précédemment, les mêmes informations ont été extraites concernant les tronçons routiers sensibles à l'enclavement mis en évidence précédemment lors de la détection des impasses. Les résultats sont visibles sur le tableau ci-dessous (figure 10) :

Département	Altitude moyenne des impasses	Tranche altitudinale dominante (mètre)
HAUTE-SAVOIE (74)	1047 m	1000m - 1250m
SAVOIE (73)	1219 m	1250m -1500m
ISERE (38)	842 m	500m - 750m
HAUTES-ALPES (05)	1176 m	750m - 1000m
DROME (26)	576 m	250m - 500m
ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE (04)	927 m	500m – 750m
VAR (83)	317 m	250m - 500m
VAUCLUSE (84)	406 m	250 - 500m
ALPES-MARITIMES (06)	808 m	250 - 500m

Figure 9 : Altitude moyenne et tranche altitudinale dominante des réseaux routiers sensibles pour les départements donnés (@ Murat Clément).

Pour l'ensemble des départements du massif alpin français on constate que l'altitude moyenne des impasses est de quelques centaines de mètres supérieure à celle du réseau routier tout entier. On constate aussi que les tranches altitudinales les plus représentées dans le cas de ces tronçons sont pour chaque département, supérieures ou égales aux valeurs du réseau routier dans son entièreté. Les résultats plus précis sont représentés sur les graphiques en annexe (annexe 2).

Ces résultats s'expliquent en partie par la connectivité moins importante des réseaux routiers des vallées alpines (plus hautes en altitude) si on les compare à celles de plaine, favorisant ainsi le nombre d'impasses. Ce type de traitement permet donc une visualisation rapide en première approche des zones potentiellement plus sensibles à l'enclavement.

IV.2 Les éléments constitutifs du réseau routier comme objets vulnérables.

IV.2.1. Les ponts

Les infrastructures des réseaux routiers sont souvent déterminantes au bon fonctionnement de ceux-ci. Les ponts forment souvent des passages obligés pour franchir un cours d'eau ou passer d'un versant à un autre (ex : gorges de l'Arly).

Comme pour les tronçons routiers, ces ponts sont exposés aux aléas naturels, et leur endommagement (destruction, fragilisation) peut entraîner des impacts économiques majeurs tout en affectant la continuité du réseau [Gleyze & Reghezza, 2007].



Deux types d'aléas naturels font des ponts des infrastructures particulièrement sensibles :

- Les inondations et laves torrentielles : elles fragilisent les fondations de par la force du courant exercé sur leurs fondations, et peuvent éroder les terrains autour des ancrages (CEPRI, 2006). Dans le cas où les ouvrages sont sous-dimensionnés, un phénomène d'embâcle peut aussi survenir [Leone & Deymer, 2011].
- L'aléa sismique : il peut les fragiliser voire les détruire, entraînant de ce fait leur fermeture provisoire (en cas de doute sur la solidité) ou totale. Cette situation peut s'avérer particulièrement critique, les séismes affectants généralement une vaste zone, de nombreux ouvrages pourraient être affectés simultanément.

Afin de mettre en avant ces infrastructures, l'ensemble des ponts ont été extraits des données du réseau routier OpenStreetMap. La table attributaire des données renseignant la colonne « Bridge » et les attributs étant donnés sous formes Binaire (0= Tronçons sans pont ; 1= tronçons avec ponts), une recherche de type « **Type : Bridge= « 1 »** » a permis de les extraire.

Afin d'affiner les données récoltées, les tronçons (correspondant aux ponts) ont été recoupés avec le réseau hydrique de surface d'OpenStreetMap. Cela a permis de différencier les ponts franchissant des cours d'eau (soumis aux risques torrentiel et sismique), des ponts qui ne franchissent aucun cours d'eau (soumis uniquement aux risques sismiques) comme évoqué précédemment.

Un aperçu de la base de données ainsi créée est visible sur le tableau ci-dessous (figure 10).

Département	Ponts franchissant un cours d'eau	Ponts ne franchissant pas de cours d'eau	Total
HAUTE-SAVOIE (74)	1176	480	1656
SAVOIE (73)	1283	360	1643
ISERE (38)	1709	636	2345
HAUTES-ALPES (05)	809	140	949
DROME (26)	1157	499	1656
ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE (04)	909	223	1132
VAR (83)	753	404	1157
VAUCLUSE (84)	893	360	1253
ALPES-MARITIMES (06)	826	494	1320

Figure 10 : nombre de ponts franchissant ou non un cours d'eau et somme par département. (© Murat Clément)

Afin d'avoir une représentation cartographique parlante (page 55), les fichiers ponts des départements ont été fusionnés entre eux à l'aide de l'outil « **fusionner les couches shapefiles** ». L'utilisation de l'outil « **joindre les attributs par localisation (résumé)** » entre la couche de ponts fusionnée et la couche des communes a permis de faire le décompte (type de calcul « **compte** ») des ponts (nombre total ou franchissant un cours d'eau) par commune.

Deux nouvelles colonnes ont alors été créées dans la table attributaire de la couche « commune ». Une présentant la somme totale des ponts et une autre présentant la somme de ponts franchissant un cours d'eau contenus par commune.



Le tableau (figure 10) ainsi que les deux cartes présentées en annexe font l'état des lieux de tous les ponts présents sur ces territoires (autoroutes, routes départementales, régionales, communales, urbaines). Le projet SIG permet d'approfondir ce résultat en regardant plus précisément la taille du pont, son emplacement dans le réseau routier, ou encore le nom de cours d'eau qu'il traverse à l'aide d'un fond OSM WMS.

Il est important de préciser que cette base de données ne fait que présenter les infrastructures existantes, la vulnérabilité à l'aléa torrentiel et sismique est différente pour chaque pont, ceux franchissant les cours d'eau et ravines souvent à sec étant particulièrement vulnérables aux crues torrentielles subites (embâcle, débordement). La connaissance du terrain sera donc importante lorsque cette BD sera effectivement utilisée.

IV.2.2 Les tunnels

Les tunnels jouent souvent un rôle clef dans l'organisation spatiale des réseaux. Ils représentent des infrastructures vulnérables (dépendance à l'éclairage, à la ventilation) et sont souvent essentiels afin de relier plus rapidement certaines villes entre elles [Demoraes, 2009]. Ces ouvrages sont soumis à de nombreuses contraintes géologiques et mécaniques, les mouvements de versant et les glissements de terrain pouvant gravement endommager leur structure.

L'exemple du Chambon est certainement le plus représentatif que l'on puisse trouver sur le territoire des Alpes. Situé dans le département de l'Isère, le glissement du Chambon est à l'origine de la coupure de la route départementale 1091. Cette route, considérée comme cruciale, tant sur le plan économique (en desservant les stations de la Grave et des Deux-Alpes), que sur le plan stratégique (en supportant un trafic local mais aussi national et international) s'est vue fermée à cause d'un important glissement de terrain surplombant la retenue d'eau d'EDF et ayant fragilisé le tunnel du Chambon (CEREMA, 2019).

Les conséquences de la fermeture d'une telle liaison ont provoqué des impacts aussi bien au niveau local (chômage, difficultés de déplacement) qu'au niveau national (accès plus long aux stations des Arcs et de la Grave).

Afin d'avoir une vision globale de la répartition de ces infrastructures souterraines sur le territoire, le code « tunnels » a été extrait du réseau routier d'OSM (de la même manière qu'a été extrait le code « bridge » évoqué précédemment). Afin de ne garder que les ouvrages les plus importants, seuls les tunnels des routes principales, secondaires, tertiaires et des autoroutes ont été conservés. Cette sélection s'est faite grâce à l'outil de recherche avancée de la table attributaire à l'aide du code suivant : « *tunnels* »=1 and (type='motorway' or type='primary' or type='secondary' or type='tertiary').

Une fois les données extraites, chaque entité a été vérifiée manuellement en superposant un fond OSM WMS ou en consultant le site Géoportail afin de conserver les tunnels en terre et les ouvrages de protection (casquettes etc...) et de supprimer les tunnels non en terre (passant sous d'autres réseaux routiers) ou au milieu des réseaux urbains. Une représentation de cette base de données est proposée dans l'atlas cartographique (page 56). Elle met en évidence les ouvrages potentiellement sensibles aux mouvements de terrains et aux chutes de blocs. La méthode et les étapes de représentation cartographique utilisées sont les mêmes que pour la base de données ponts évoquée précédemment.



IV.3 Une première approche des points d'importances stratégiques et économiques

IV.3.1 Les établissements sanitaires et sociaux

Comme il a été évoqué précédemment (figure 2) la présence ou non d'un accès à un service de soin ou de secours durant une période d'isolement est un facteur clef dans l'évaluation de la sensibilité à l'enclavement. Un manque d'accessibilité spatiale à ces services de soins (pharmacies, hôpitaux) présente un risque indirect pour la population et une dégradation de l'efficacité des opérations de secours, pouvant livrer une partie de la population à elle-même [Leone *et al*, 2013].

Les données regroupant les établissements sanitaires et sociaux ont été récupérées sur le site data.gouv.fr et sont tirées de la BD Adresse 2.1 de l'IGN Pro. L'extraction FINESS au format csv tel que proposé par le site du gouvernement ne permet pas un transfert direct sur QGIS. Le fichier a donc été scindé en deux fichiers, l'un contenant la localisation des établissements et l'autre le descriptif administratif de ceux-ci. C'est l'outil de jointure attributaire qui a permis, une fois les deux fichiers importés sur QGIS, de lier ces informations par leur identifiant (les identifiants des établissements étant communs dans les deux fichiers) et d'avoir une base de données complète.

L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 11).

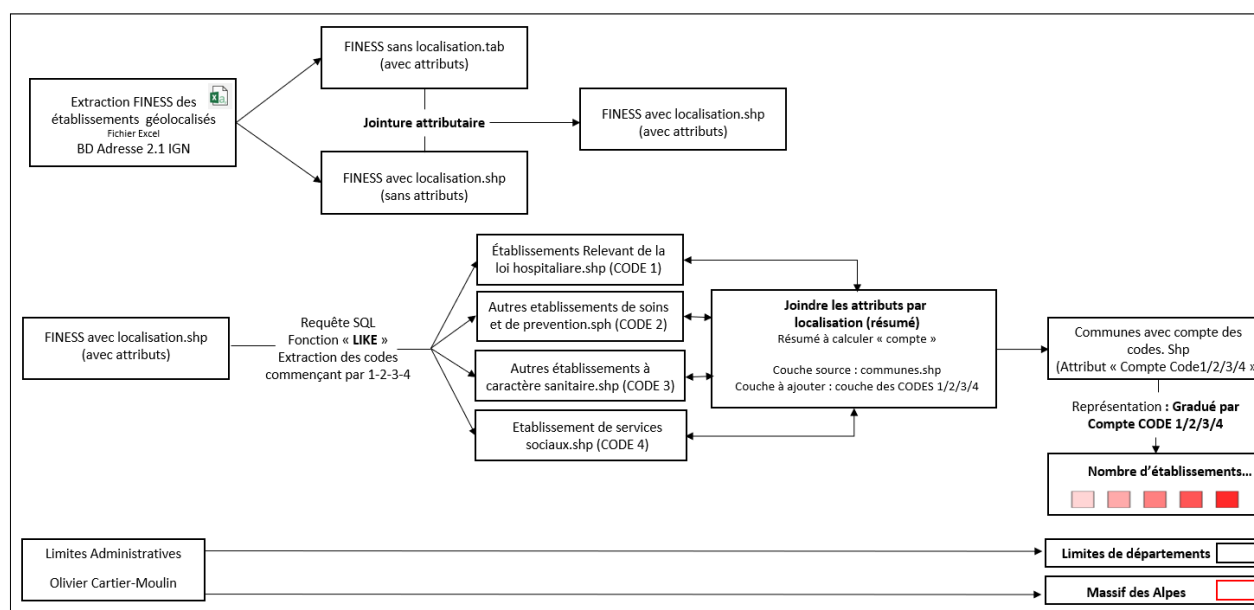


Figure 11 : Diagramme d'exécution – Centres à caractère sanitaires et sociaux (© Murat Clément)

Le CODE 1 (1000) correspond aux établissements hospitaliers et à ceux relevant de la loi hospitalière. Le CODE 2 (2000) correspond aux dispensaires ou centres de soins, PMI ou autres établissements ne relevant pas de la loi hospitalière. Le CODE 3 (3000) correspond aux laboratoires d'analyse et commerces de biens à usage médicaux. Le CODE 4 (4000) correspond aux établissements spécialisés dans l'accueil des personnes âgées, handicapées, des jeunes enfants ou à la réadaptation sociale.

Les 4 cartes (pour les codes 1/2/3/4) sont présentées dans l'atlas cartographique (pages 57-58). Le projet SIG permet d'afficher plus finement l'ensemble des établissements correspondant aux 4 codes cités précédemment. Ces infrastructures y sont toutes représentées par un point et catégorisées en 142 catégories d'établissements, toutes appartenant aux codes 1/2/3/4 évoqués précédemment.



Cette vision plus précise, point par point, possède un fort intérêt que nous évoquerons un peu plus tardivement dans le rapport.

IV.3.2 Les stations-villages, pôles économiques des Alpes françaises.

L'ouverture, la mise en valeur des territoires de montagne et leur désenclavement progressif au cours des années 1770 a permis aux Français et aux personnes du monde entier de redécouvrir la montagne comme un espace agréable et sauvage [Larique, 2006]. Aujourd'hui, la France accueille 16,8% de la fréquentation touristique de sports d'hiver à l'échelle mondiale, devant les Etats-Unis (16.6%) et l'Autriche (15.8%) [Bonnemains, 2015].

Le cœur économique des vallées alpines dans les Alpes françaises en saison hivernale se trouve donc au sein des stations des sports d'hiver. Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'accès à ces stations est plus ou moins compliqué suivant les conditions météo (fort ralentissement, arrêt des véhicules) et des aléas naturels (comme par exemple les éboulements et fermetures successives des

Gorges de l'Arly). De plus les nombreux skieurs venant à la journée représentent un flux important d'individus dont il faut s'occuper et loger s'ils se retrouvent enclavés hors de leur zone résidentielle.

Un géoréférencement des stations-villages des Alpes françaises et la création d'une base de données ont donc été réalisés afin d'avoir une vision complète et spatiale de la répartition de ces zones fortement touristiques. L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (Figure 12).

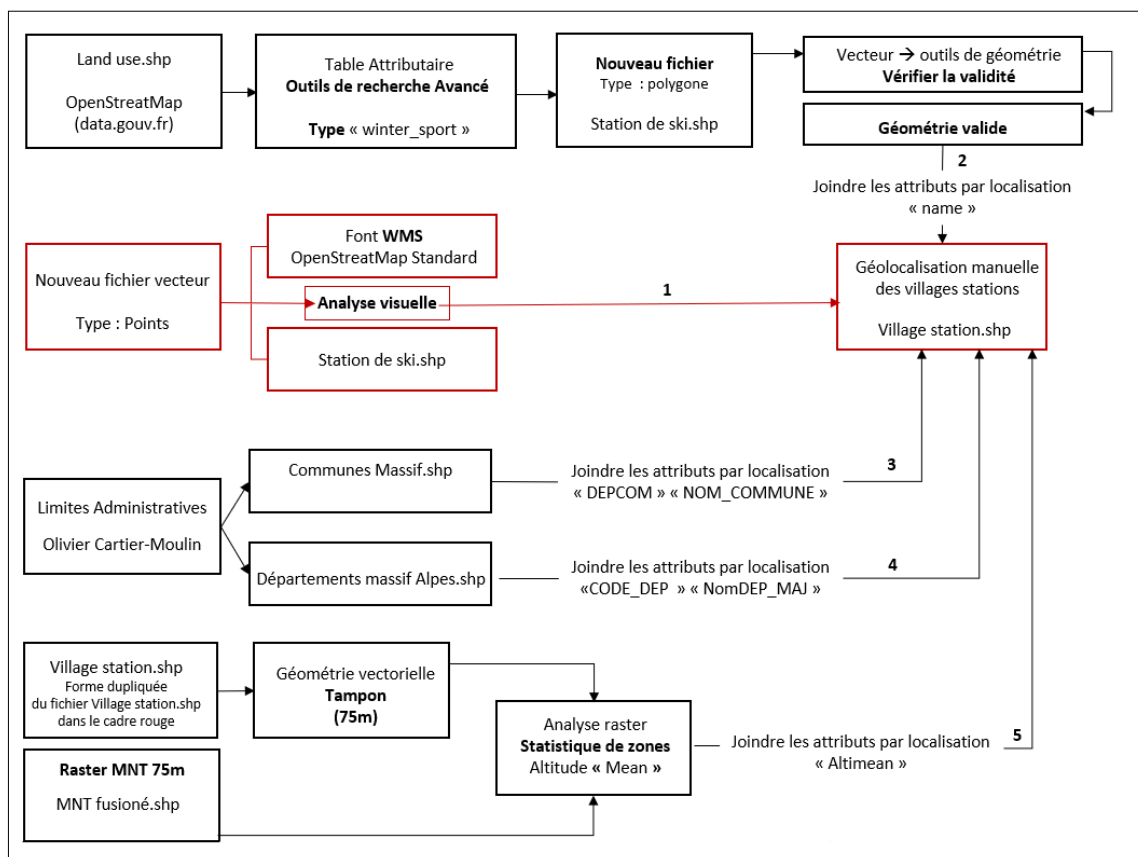


Figure 12 : diagramme d'exécution – base de données « stations-villages » (© Murat Clément)



Cette base de données a été construite point par point, en localisant les stations villages à l'aide du fond WMS d'OSM et de la couche polygone « stations de ski.shp » extraite de la couche Land-Use d'OSM. Cette couche polygone grossière, définie l'emprise des grands domaines skiables et a donc servi à attirer l'œil vers les stations villages.

Une fois la couche « Villages station.shp » créée, 4 jointures d'attributs par localisation ont été réalisées avec les couches communes, départements, stations de ski et altitude (voir figure 12) afin de donner du corps à la base de données et de pouvoir l'utiliser plus facilement à l'avenir.

Ces actions ont été réalisées séparément pour les 7 départements de massif alpin possédant des stations villages : la Haute-Savoie, la Savoie, l'Isère, la Drôme, les Hautes-Alpes, les Alpes-Maritimes et les Alpes-de-Haute-Provence. Une vision partielle de la base de données « Villages station » pour le département de la Savoie est visible ci-dessous (figure 13). Le nombre de stations villages géoréférencées par département est également visible sur le tableau ci-dessous (figure 14).

	id	CODE_DEP	NOMDEP_MAJ	DEPCOM	NOM_COMMUN	name	NomVillage	Altitude
1	70	73	SAVOIE	73132	HAUTELUCE	Espace Diamant	Hauteluce	1147,213338216...
2	69	73	SAVOIE	73286	TIGNES	Espace Killy	Val Claret	2104,170003255...
3	68	73	SAVOIE	73206	PRALOGNAN-LA-VANOISE	Pralognan-la-Vanoise	Fontanettes	1651,524963378...

Figure 13 : aperçu de la base de données « villages-stations », département de la Savoie. (© Murat Clément)

Départements	74	73	38	05	04	26	06
Nombre de Station Village géoréférencées	66	70	30	37	16	3	14

Figure 14 : nombre de stations villages géoréférencés par département (© Murat Clément)

Une représentation de la base de données est proposée dans l'atlas cartographique (page 59). Elle permet d'avoir une vision de l'organisation spatiale de ces zones clefs dans les Alpes françaises. On pourra envisager de compléter ces données par la suite, par exemple avec le nombre de lits d'accueil qui peut donner une idée de l'importance économique et des problématiques liées à l'accès...

IV.4 Premiers croisements avec les aléas naturels :

IV.4.1 L'aléa avalancheux

L'aléa avalancheux est typique des zones de montagne. En France, on compte 600 communes soumises à celui-ci [Naaim-Bouvet, Richard, 2015, p.50].

De nombreux phénomènes régissent la formation et la propagation des avalanches, que ce soit la température, le vent, les précipitations, la topographie ou la métamorphose du manteau neigeux. Ces différentes conditions climatiques, physiques et topographiques donnent lieu à différents types d'avalanches, plus ou moins denses et dont le type d'écoulement, de zone de départ et de zone de dépôt varient fortement.

Ces phénomènes avalancheux, en France, sont en partie cartographiés dans la CLPA (Carte de Localisation des Phénomènes Avalancheux). Créée par l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture), elle décrit les phénomènes avalancheux en représentant les limites externes des événements historiques ou observés, dans le



but d'avertir, d'informer et de sensibiliser les acteurs de la gestion des risques ainsi que la population de l'existence de ces aléas [Bonnefoy *et al*, 2010].

La gestion du risque avalancheux sur les réseaux routiers en France est aujourd'hui dominée par deux dispositifs. L'un vise à réduire la vulnérabilité du site en question en fermant les réseaux si un évènement risque de survenir (c'est le rôle des DRA: Détecteurs Routiers d'Avalanches), et l'autre tend à contrôler l'évènement à l'aide de protections passives ou actives tels que les paravalanches ou le déclenchement préventif [Boudières *et al*, 2010].

L'impact de tels événements sur les réseaux a plusieurs conséquences directes et indirectes, allant d'une coupure du trafic routier à l'endommagements des équipements latéraux (barrières etc...), ainsi qu'un déneigement de la chaussée souvent long et compliqué du fait de la forte densité de la neige des avalanches de neige humide, les plus souvent responsables des coupures de routes. [Leone *et al*, 2014].

L'IRSTEA ayant mis à disposition la CLPA au format shapefile dans le cadre de cette étude (par le biais d'une convention d'utilisation des données accordée au PARN), il est proposé ici le recroisement de ces données avec le réseau routier alpin français. L'utilisation de la CLPA dans le cadre de tels projets est possible depuis la transformation des données vecteur sous format ligne vers un format polygone, permettant ainsi le croisement avec des entités de bâti ou de réseau routier [Tacnet *et al*, 2013].

Il est important de préciser que la CLPA est créée pour une utilisation au 1/25000 sur un fond topo IGN. C'est donc la BD ROUTE500 de l'IGN qui est ici utilisée, mais une ouverture concernant le réseau OSM est mise en avant un peu plus loin. Dans les deux cas ces réseaux n'ont pas la précision de la CLPA (la BD route 500 ayant une précision de l'ordre de 100m). De plus il est fréquent d'observer des extensions des sites avalancheux en dehors des limites décrites par la CLPA [Leone *et al*, 2014]. Les résultats présentés dans les pages qui suivent doivent donc être vérifiés plus localement et avec une attention toute particulière (analyse sur le terrain, changement de végétation dans les couloirs ..)

Afin de croiser avec plus de pertinence le réseau routier avec la CLPA, les deux grandes catégories qui la composent ont été séparées :

- D'une part a été extraite la photo-interprétation. Ces données sont issues de l'analyse et de l'étude stéréoscopique de photographies aériennes. Cette analyse vise à identifier les différents reliefs, marques de végétation, trouées, traces de destruction, zones de dépôt et autres indices permettant de déterminer les grandes trajectoires des avalanches.

Au sein de cette catégorie (dénommée « zompi »), seuls les objets « avalanches » et « zones d'avalanches » (respectivement code 1 et 2) ont été extraits et utilisés.

-D'autre par le recueil de témoignages. Ces données sont recueillies grâce à la mémoire des habitants ayant constaté ces évènements, ainsi qu'avec l'analyse d'archives et de photos historiques. Ces données sont ensuite confrontées au terrain et seuls les témoignages les plus clairs sont gardés. Ces données sont donc surtout récoltées dans des lieux fréquentés.

Au sein de cette catégorie (dénommée « zont »), seuls les objets « avalanches » et « zones d'avalanches » (respectivement code 1 et 2) ont été extraits et utilisés.

Avant l'analyse, les routes fermées l'hiver de la BD ROUTE500 ont été supprimées afin d'avoir une vision plus réaliste des enjeux liés à l'intersection des avalanches avec le réseau routier.

L'ensemble des actions réalisées est visible sur le diagramme cartographique ci-dessous (figure 15).

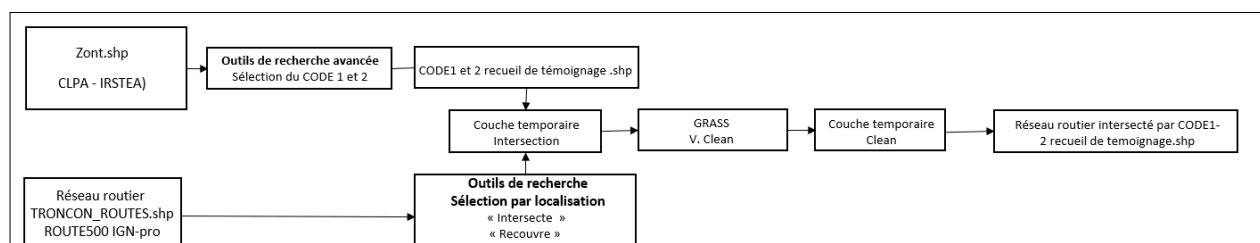


Figure 12 : diagramme d'exécution – carte des impacts des avalanches et des zones avalancheuses de la photo-interprétation et du recueil de témoignages avec le réseau routier (© Murat Clément)

L'outil « V. Clean » de Grass a permis d'isoler chaque tronçon du réseau routier intersecté par un couloir d'avalanche les uns par rapport aux autres. En effet, les tronçons du réseau routier étant intersectés plusieurs fois par une même avalanche se retrouvaient représentés comme une unique entité, donc comme un seul et unique impact avec le réseau routier dans la table attributaire. Comme il est visible sur la figure 16, l'outil « V.clean » a permis de différencier les tronçons routiers 1043, 212 et 213 intersectés par le couloir d'avalanche, là où à l'origine ces trois tronçons auraient été représentés par la même entité.

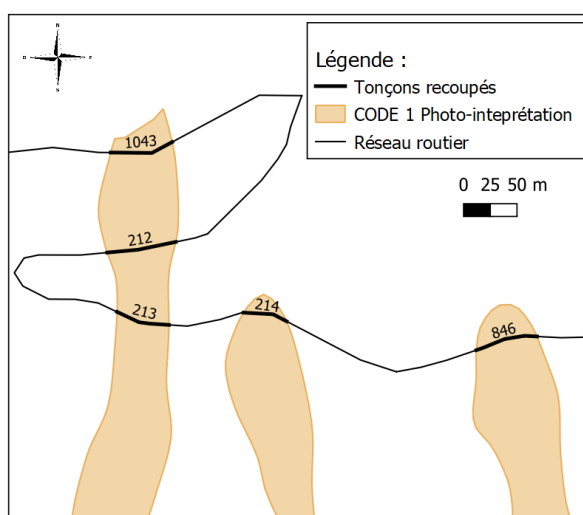


Figure 16 : exemple de la différenciation des tronçons routiers coupés par une même avalanche (chaque portion possède une identité différente) (© Murat Clément) .

Cette étape joue son importance lors du décompte du nombre d'intersections du réseau routier par commune. En effet le cadre sur la figure 16 présentera alors 5 intersections au lieu de 3. Ce choix s'appuie sur l'hypothèse que les conséquences d'une avalanche sont significativement différentes si



celle-ci intersecte une seule fois le réseau routier ou plusieurs fois. Cette hypothèse peut être discutée

et adaptée en fonction du type d'analyse locale qui pourrait être fait par des acteurs locaux différents. La vision du gestionnaire de réseau routier, pour qui les conséquences en termes de temps de déneigement sont importantes, peut être différente de celle du maire de la commune pour qui les habitants sont enclavés dans les 2 cas (mais pour un temps plus ou moins long).

Les cartes, une pour le code 1 et 2 de la photo interprétation et une pour le code 1 et 2 du recueil de témoignages sont visibles dans l'atlas cartographique (pages 60-61). Ces cartes nous montrent que le risque avalancheux sur le réseau routier semble inégalement représenté entre les communes du massif alpin. C'est la commune d'Isola dans les Alpes-Maritimes qui comporte ici le plus d'intersections de son réseau avec l'aléa avalancheux, que ce soit avec la photo-interprétation ou le recueil de témoignages. Ce résultat correspond bien à une réalité de terrain, le village d'Isola ayant déjà été enclavé à de nombreuses reprises comme le 17 avril 2018 ou encore le 29 février 2019.

Afin d'avoir une première approche des proportions de type de routes recoupées par chaque département, les tables attributaires des tronçons recoupés ont été exportées sous Excel et l'analyse du nombre d'impacts par type de routes (liaisons locales, liaisons régionales, liaisons principales et autoroutières) a été réalisée. Les résultats sont visibles en annexe 3.

Afin de voir si le réseau OpenStreetMap donnait des résultats significativement différents, en vue d'une possible future utilisation d'OSM avec la CLPA, le même travail a été réalisé une nouvelle fois avec ce réseau. Le réseau OSM a été recoupé avec les CODE 1 et 2 de la photo interprétation ainsi que ceux du recueil de témoignages et comparé avec l'intersection de ces mêmes codes avec la BD ROUTE500 sans enlever les routes fermées l'hiver (car il n'est pas possible (pas d'indications) d'enlever ces routes sur OSM). Les couloirs d'avalanches recoupant les deux réseaux ont été mis en évidence grâce à l'outil « sélection par localisation » en cherchant tous les couloirs recoupant le réseaux OSM identiques à ceux recoupant le réseau IGN.

Les résultats montrent alors que :

- 97.2 % des couloirs du CODE 1 recueil de témoignages recoupant le réseau ROUTE 500 de l'IGN recoupent aussi le réseau OSM.
- 93.7 % des couloirs du CODE 2 recueil de témoignages recoupant le réseau ROUTE 500 de l'IGN recoupent aussi le réseau OSM.
- 95.8 % des couloirs du CODE 1 photo-interprétation recoupant le réseau ROUTE 500 de l'IGN recoupent aussi le réseau OSM.
- 94.9 % des couloirs du CODE 2 photo-interprétation recoupant le réseau ROUTE 500 de l'IGN recoupent aussi le réseau OSM.

En conclusion, la majeure partie des couloirs recoupant le réseau IGN recoupent donc aussi le réseau OSM. On peut donc faire l'hypothèse que dans un contexte d'aide à la décision, les couloirs recoupant les tronçons du réseau OSM qui ne sont pas présents dans la BD ROUTE500 peuvent être utilisés et considérés comme corrects. Les données des tronçons routiers d'OSM intersectés avec les différents codes de la CLPA n'ont pas été représentées par carte, en effet comme ces données sont forcées d'intégrer les routes fermées l'hiver, une représentation cartographique ne semblait pas cohérente. Cependant ces données existent et pourront être triées à l'avenir, voire comparées avec un réseau IGN plus précis.

IV.4.1 L'aléa rocheux :



L'aléa rocheux, des chutes de blocs jusqu'aux écroulements, est un aléa caractérisé par une vitesse d'occurrence quasi instantanée et dont il est difficile de prévoir sa manifestation. Ces phénomènes, même de petits volumes, peuvent grandement endommager voire interrompre la fonctionnalité des réseaux routiers et ferrés à plus ou moins long terme [Frayssines,2005].

Une demande d'accès à la base de données du projet national C2ROP (Chute de blocs, Risque Rocheux et Ouvrages de Protection) a été émise auprès des acteurs impliqués. Les réponses tardives du fait de la complexité de la communication de ces données ont orienté le travail vers l'utilisation d'un extrait de cette BD généralisée uniquement, limitée au seul département de la Savoie, qui a pu être transmise au PARN dans le cadre de ce stage par le coordinateur de la BD (N. Eckert, IRSTEA) avec l'accord du Service Risques Naturels du Conseil Départemental de la Savoie (fournisseur initial des données brutes).

Cette base de données ne possède pas les indications nécessaires au recroisement direct avec le réseau routier (fichier points se référant à des événements ponctuels relevés par les services du CD 73 et du RTM). Une représentation de celle-ci est proposée dans l'atlas cartographique (page 63), la représentation dans le cartouche a été réalisée à l'aide de l'outil « joindre les attributs par localisation (résumé) » afin d'affecter les nombres d'événements répertoriés à la couche « communes ».

A l'avenir cette base de données pourra être croisée avec les emprises des événements rocheux relevées par les services du RTM. Un croisement avec le réseau routier sera alors possible, comme il l'a été fait avec les emprises de la CLPA précédemment.

IV.5 Analyse réseau avec QGIS, une approche précise à différentes échelles.

IV.5.1 La notion de plus court chemin

Comme le font les outils de navigation tels que GoogleMap ou Via Michelin, QGIS permet de déterminer les trajets les plus courts entre deux points disposés sur un réseau routier. Cet outil « chemin le plus court » calcule alors l'itinéraire le plus court en termes de distance, ou de temps si les tronçons possèdent une valeur de vitesse. Le réseau routier OSM ne possédant une valeur « vitesse maximale » que pour certains tronçons, il n'a pas été possible de tester cette fonction mais il est important de souligner qu'elle peut représenter un intérêt non négligeable dans l'évaluation de la perte de temps entre deux points donnés en cas de coupure de la route la plus rapide. Toutefois sur les routes de montagne tortueuses, l'indication de la vitesse maximale autorisée n'est pas toujours la plus pertinente, un regard critique sera nécessaire si une telle analyse est réalisée par la suite.

Afin d'utiliser cet outil, il suffit de disposer du réseau routier ; l'outil propose ensuite de placer les points manuellement sur le réseau en question ou de lui indiquer un fichier vecteur (type point) dans lequel se trouve déjà les deux points qu'il faut relier entre eux.

Cette option a un intérêt non négligeable. En effet, en coupant le réseau routier à l'aide de l'outil ciseaux, on coupe alors la continuité du réseau. En relançant alors la fonction « chemin le plus court », QGIS calcule donc un nouvel itinéraire dans la mesure où il en existe bien sûr un autre.

Un exemple a été réalisé sur la figure ci-dessous (figure 17). Le cadre « a » représente le chemin le plus court (en vert) entre le village des Garnauds et des Ratiers, près de la station d'Orcières dans les



Hautes-Alpes sans disfonctionnement du réseau routier. Le cadre « b) » représente le chemin le plus court (en rouge) entre ces deux mêmes villages dans le cas d'une coupure de la route au niveau de l'épingle à l'est de la carte.

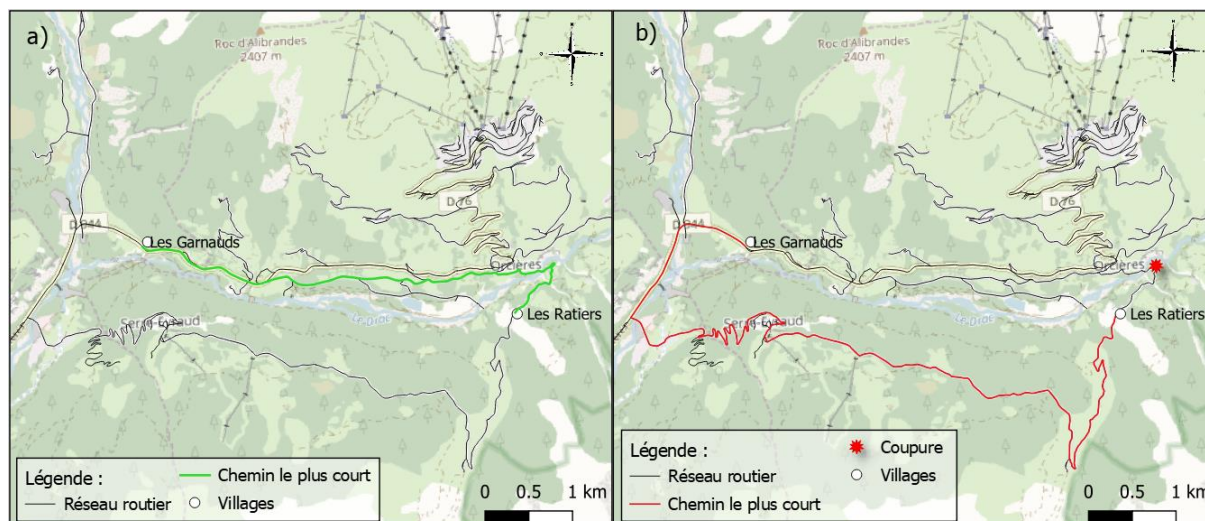


Figure 17 : l'outil chemin le plus court de QGIS. a) réseau continu, b) réseau coupé (© Murat Clément)

Les tables attributaires des deux tronçons obtenus donnent leur longueur ce qui permet d'avoir une première approche de l'impact d'une telle déviation sur le surcroît de distance et de temps de trajet induit par la déviation. Couplé à un fond WMS d'OSM, la connaissance du terrain et le type de tronçons empruntés visibles dans la table attributaire, cet outil pourrait présenter un réel intérêt aussi bien dans l'action ou dans la prévention d'un tel évènement pour les maîtres d'ouvrages ou les différents acteurs du territoire.

IV.5.2 La fonction V.Net. ISO, un réseau routier par Isoligne.

Le but a été ici d'observer la connectivité à un ou différents points (leur facilité d'accès en termes de distance notamment), dans le but d'évaluer l'éloignement à certains services et les possibles pertes d'accessibilité en cas de coupures de tronçons à l'aide de QGIS.

C'est la fonction « V.net.iso » qui s'est révélée comme répondant le mieux à cette attente. Après nettoyage du réseau routier grâce à l'outil « v.clean », la fonction « V.net.iso » permet de relier des points au réseau et de choisir des valeurs (« isoline ») représentant l'éloignement à ces mêmes points. Les distances choisies sont ici de 500m, 1km, 2.5km, 5km et plus de 5km (figure 19).

Ces isolignes sont ensuite mises en valeur en catégorisant le réseau par l'attribut « cat » créé automatiquement en fonction de la valeur des isolignes choisies (cadre b figure 19). Pour des soucis de lisibilité et de représentation, un maillage surfacique (ici de 200m*200m) a été réalisé grâce à la fonction « rastérisation » de GDALL. L'action consiste à créer une grille sur la zone d'étude autour du réseau routier, où toutes les mailles qui ne sont pas colorisées ne sont pas traversées par une route, et donc considérées comme naturellement isolées [Leone et Deymer, 2011] (cadre c figure 19). La possibilité de sortir ce type de résultats a été mis en avant dans l'article cité précédemment mais en utilisant le logiciel MapInfo.

L'ensemble des actions réalisées sont présentées dans le diagramme cartographique ci-dessous (figure 18). Les trois cartes représentant les trois étapes décrites précédemment sont également visibles ci-dessous (figure 19).

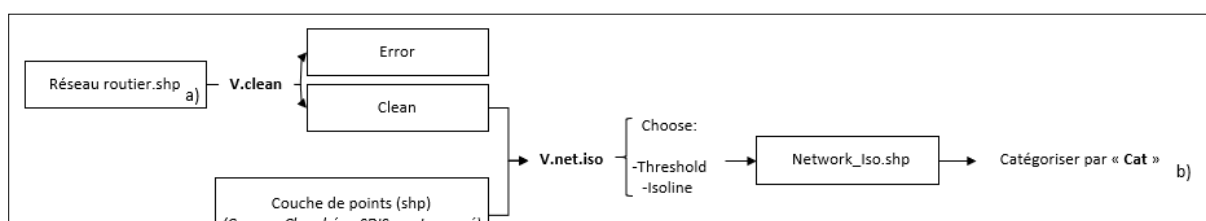




Figure 18 : diagramme d'exécution- cartes d'accessibilité aux centres de secours sur le bassin Chambérien (@ Murat Clément)

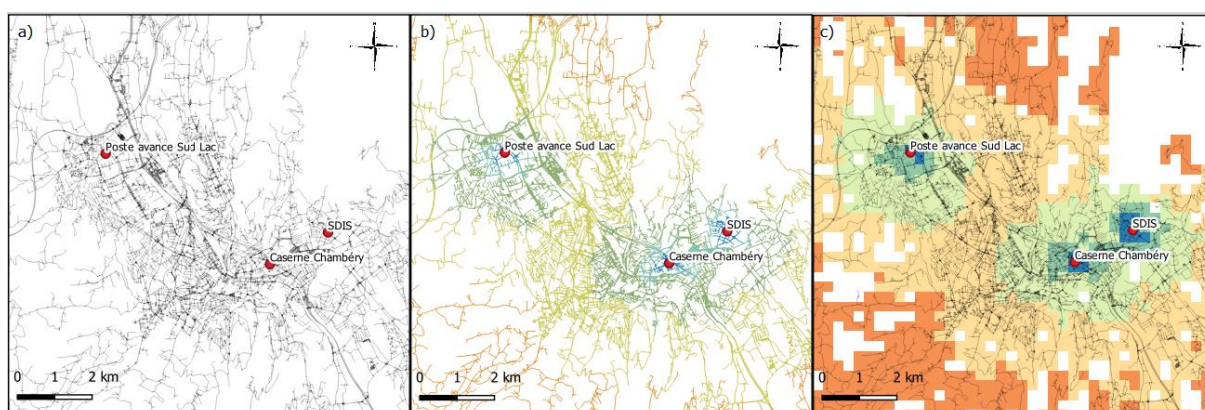


Figure 19 : cartes d'accessibilité aux postes de secours. a) réseau routier, b) v.net.iso, c) rasterisation (@ Murat Clément)

Ces trois étapes mises bout à bout permettent donc d'avoir une représentation claire de l'accessibilité à des postes prédéterminés et peuvent être réalisées à n'importe quelle échelle ; il suffit alors de déterminer la taille du maillage surfacique la plus adaptée à l'échelle du terrain étudié ainsi qu'au type de précision souhaité.

Pour mettre en évidence l'utilité d'une telle démarche dans l'étude des impacts d'une coupure d'un réseau routier, ces fonctions ont été réalisées dans le cadre d'un cas concret : le glissement de terrain du Bersend dans le Beaufortain (Savoie 73).

La première carte (carte a, figure 20) présente l'accessibilité au village de Beaufort (et donc inversement les distances depuis le cœur du village) dans la cadre du maintien de l'ouverture de la route de Roselend. La deuxième carte (carte b, figure 20) représente cette même accessibilité mais dans le cas où le glissement de terrain du Bersend empêche l'ouverture de la route de Roselend.

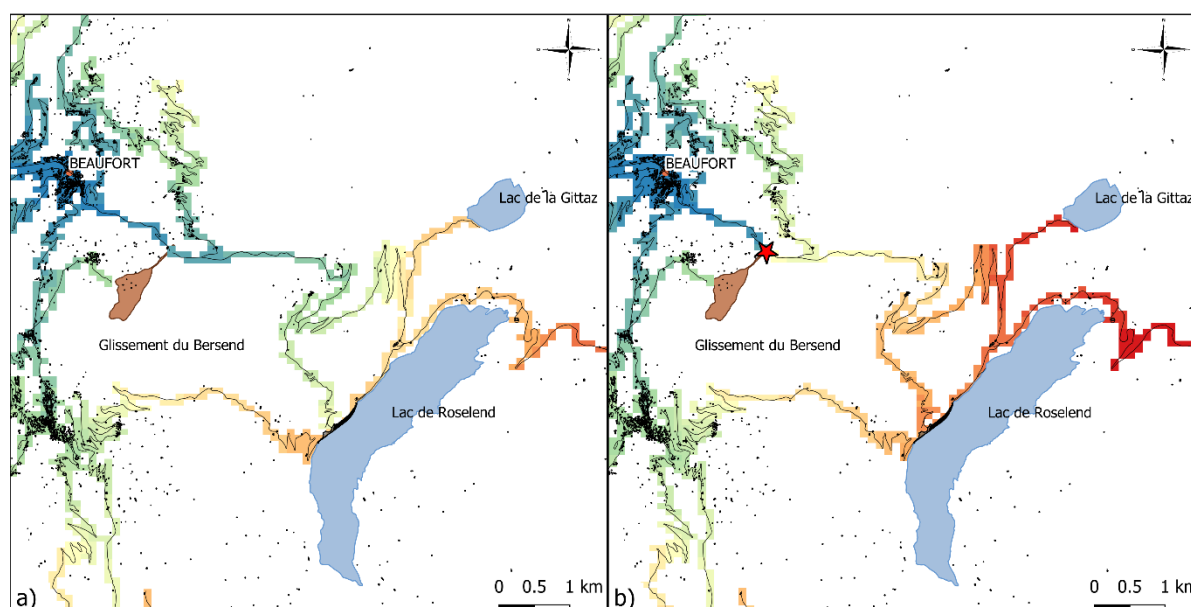




Figure 20 : différences d'accessibilité au village de Beaufort dans le cas de l'ouverture (a) et de la fermeture de la route de Roselend (b) (coupure de tronçons avec l'outil ciseaux). (© Murat Clément)

Les deux cartes mises côte à côte permettent de mettre en évidence l'augmentation du trajet pour se rendre aux lacs de Roselend et de la Gittaz (+5km pour se rendre à la Gittaz soit plus d'un tiers de distance supplémentaire).

Comme pour l'outil chemin le plus court, ces représentations cartographiques peuvent très bien être réalisées en prévision d'un tel événement ou juste après celui-ci, pour permettre de quantifier rapidement la perte d'accessibilité des différents sites touristiques, médicaux, de secours ou de villages entiers, qui ont été mis en évidence tout au long de ce rapport. Une autre force de ce type de représentation est qu'en supprimant les routes fermées l'hiver ou en travaux, on peut obtenir différentes cartes pour différentes saisons ou situations temporaires spécifiques (travaux etc...).

V. Conclusion

L'analyse de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques d'enclavement apparaît comme un travail complexe, s'inscrivant dans plusieurs échelles aussi bien spatiales que temporelles. La notion de vulnérabilité en ressort comme dominante, les différents aléas naturels n'ayant pas les mêmes conséquences suivant la structure du réseau, sa fréquentation, localisation, ou les infrastructures qu'il dessert.

L'utilisation du logiciel d'information géographique QGIS pour explorer le réseau routier des 9 départements qui composent notre zone d'étude s'est montrée prometteuse. Cependant la récolte des données, étape essentielle avant toute analyse SIG, représente clairement un facteur limitant l'avancée ou même l'approfondissement des résultats. Les données ne sont pas toujours homogènes entre les différents départements, surtout lorsque l'on travaille sur un si grand territoire. La question de la qualité et de la précision des bases de données récoltées s'est aussi avérée déterminante avant toute utilisation de celles-ci. Cette précision doit être la plus cohérente possible avec celle des autres données ainsi qu'avec le niveau d'échelle choisi. Trop précises elles peuvent représenter une quantité de données trop importante à analyser, et trop imprécises elles peuvent ne pas fournir les informations essentielles à l'obtention de résultats cohérents et utilisables par la suite.

Le travail de compréhension des données récoltées (que ce soit leur construction ou leur signification) a été une étape primordiale avant leur utilisation. Elle est essentielle afin de ne pas passer à côté d'informations importantes, et évite le risque de leur faire dire n'importe quoi. Cette démarche permet aussi d'avoir un réel recul et un certain sens critique sur leur utilisation en gardant à l'esprit le type de résultat recherché. La création des bases de données demande aussi une attention toute particulière. Elle doit s'intégrer le plus possible avec les autres données téléchargées,



afin de faciliter leur utilisation et leur complémentarité avec les autres couches. Leur contenu doit aussi être le plus complet et compréhensible possible afin d'être facilement comprises et utilisables par d'autres utilisateurs.

L'emploi des bases de données d'OpenStreetMap a permis d'avoir accès à de nombreuses sources d'informations complètes et cohérentes entre elles. L'analyse et la mise en évidence des impasses des réseaux routiers des 9 départements se sont montrées fastidieuses, mais sont essentielles à la bonne compréhension de la structure et de la connexion des tronçons dans un contexte de risque. Les représentations cartographiques concernant l'altitude des réseaux permettent d'identifier plus facilement les fonds de vallées et donneront une indication sur l'altitude de l'occurrence des événements naturels et ou technologiques.

La saisonnalité de l'ouverture de certaines routes a été approchée avec la création de la BD Cols, mais une analyse plus précise des délimitations des tronçons fermés semble nécessaire pour une utilisation plus aisée du réseau OSM dans des conditions « hivernales ».

La mise en évidence des infrastructures clefs des réseaux routiers (tunnels et ponts) forme une étape préliminaire à une utilisation plus approfondie de celles-ci (connaissance de terrain, tri supplémentaire). La première approche par type de routes desservies par ces infrastructures et les éléments naturels qu'ils rencontrent a été une étape essentielle. Elle permettra à l'avenir de ne pas s'éparpiller dans une masse de données incohérentes ou négligeables dans un contexte d'aide à la décision. Une analyse similaire pourra aussi être envisagée sur le réseau ferré, sous réserve de l'accessibilité aux données (contacts PARN – SNCF Réseau).

Les principaux points d'intérêts économiques et stratégiques mis en avant dans cette étude permettent de mettre l'accent sur les secteurs à fort attrait touristique, ou les secteurs en retrait notamment des centres de secours et services de soins (pharmacies, etc...). Ces points clefs pourront simplifier dans le futur l'orientation des études et des efforts de protection vers les secteurs les plus sensibles.

Le croisement avec les aléas naturels a été ralenti par la difficulté d'accès aux données à l'échelle de l'ensemble du massif des Alpes françaises. L'aléa avalancheux a cependant pu être abordé de manière complète. Cette étude du croisement du réseau routier avec la CLPA donne à petite échelle des zones de vigilance qu'il est bon de mettre en avant afin d'orienter le regard des gestionnaires ou des décideurs vers les secteurs les plus atteints. A plus grande échelle, les tronçons recoupés par les couloirs avalancheux ne peuvent être considérés comme une vérité absolue. Une analyse plus précise du terrain devra être réalisée au cas par cas, incluant notamment la modification de la végétation et le nombre d'occurrences des phénomènes, afin d'infirmer ou d'affirmer le caractère vulnérable des tronçons pré-identifiés. Cependant les premiers résultats se révèlent cohérent, comme la commune d'Isola, qui voit son réseau routier souvent impacté par des avalanches. Les échanges engagés au cours du stage ont permis d'amorcer la collecte de données futures et de créer des liens avec d'autres dynamiques en cours pour le traitement des données « aléas » (BD Evénement du RTM, BD Chutes de blocs de IRSTEA).

L'ouverture sur les outils « chemin le plus court » ainsi que la possibilité de mailler le réseau routier par distance à un point ont un avenir prometteur dans l'analyse de l'accessibilité et ce, aussi bien à grande qu'à petite échelle. Ils pourront être mis en œuvre aussi bien dans le cas d'un réseau non perturbé, que dans le cas d'une étude post ou pré- événement.

Ce stage court (10 semaines) a donc permis de sortir en première approche un large panel de résultats. Certains d'entre eux pourront être directement utilisables dans le cadre de l'analyse de cas concrets, alors que d'autres nécessiteront un approfondissement plus important, que ce soit par besoin de compléter la base de données, ou bien lorsque seule la connaissance du terrain peut valider ou non la véracité des résultats présentés.



Ce travail ouvre donc un certain nombre de perspectives à développer et à approfondir. Il montre que l'analyse de la vulnérabilité des réseaux est un exercice long et pluridisciplinaire (géographique scientifique, économique), mais qu'il peut tout à fait être exploré à l'aide d'outils libres, gratuits et ne nécessitant pas d'encodage spécifique. A l'avenir, ces études pourront être recroisées avec des travaux plus complexes prenant en compte d'avantage de paramètres, notamment ceux développés par IRSTEA [Tacnet, 2013], en gardant en tête que l'intérêt de l'approche proposée dans ce rapport est d'être relativement facile à appréhender par les maîtres d'ouvrages ainsi que par l'ensemble des acteurs de la gestion des risques, offrant une grande variété d'utilisations opérationnelles possibles.

Les différents retours des acteurs rencontrés (membres du RTM, SNCF, IRSTEA, EDF, Conseils départementaux) concernant les résultats et les nombreux potentiels des études mis en évidence dans ce rapport sont encourageants. L'accessibilité des approches y est ressortie comme un atout majeur de ce travail dont une suite est fortement encouragée, avec un engagement de ces différents acteurs à communiquer plus facilement leurs données et suivre avec plus d'attention les résultats qui en seraient dégagés.

VI Bibliographie

Lhomme, S. Analyse spatiale de la structure des réseaux techniques dans un contexte de risques. Cybergeo, 20 février 2015.

Gleyze, J-F. et Reghezza, M. La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement. *Géocarrefour* 82, n° 1-2, 1 janvier 2007.

Leone F., Deymier J., Jomelli V., Chapelon L., Bouhet O., Colas A., Vinet F., Cherel J. P., Master 2 GCRN (2011) – Vulnérabilités des réseaux routiers face aux debris flows dans les Alpes. Quantification des risques et modélisation de l'accessibilité territoriale. Partie 1 : Approche régionale. Vulnérabilités des réseaux routiers et dégradation de l'accessibilité territoriale (Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Savoie). Partie 2 : Approche locale. Diagnostic intégré du risque torrentiel et accessibilité routière des secours sur cinq bassins-versants. Moyenne vallée de l'Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence) - Rapport WP6, Projet ANR SCAMPEI (Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes), UMR GRED (ex. EA GESTER), Université Montpellier 3, 135 p.

Gleyze, J-F. La vulnérabilité structurelle des réseaux de transport dans un contexte de risques. Géographie. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2005. Français. tel-00138991.

Versini, P-A. Surveillance du risque hydrologique diffus le long des itinéraires routiers: Eléments pour la construction d'un outil d'annonce de coupure. Hydrologie. Ecole des Ponts ParisTech, 2007. Français. NNT: 2007 ENPC 0736. tel-00348292.



Bonnemains, A. Vulnérabilité et résilience d'un modèle de développement alpin: Trajectoire territoriale des stations de sports d'hiver de haute altitude de Tarentaise. Géographie. Université Grenoble Alpes, 2015. Français. NNT: 2015GREAA009. tel-01237308.

Larique, B. « Les sports d'hiver en France : un développement conflictuel ? Histoire d'une innovation touristique (1890 – 1940) », *Flux*, 2006/1 (n° 63-64), p. 7-19. DOI : 10.3917/flux.063.0007.

Leone, F. Péroche, M. Lagahé, E. et al. Modélisation de l'accessibilité territoriale pour l'aide à la gestion de crise tsunami (Mayotte, France). *Annales de géographie*, 2013/5 (n° 693), p. 502-524. DOI : 10.3917/ag.693.0502.

Bonnefoy, M. Borrel, G. Richard, D. et al. La carte de localisation des phénomènes d'avalanche (CLPA) : enjeux et perspectives. *Sciences Eaux & Territoires*, 2010/2 (Numéro 2), p. 6-14.

Boudières, V. Marcelpoil, E. Richard, D. Comment gérer le risque d'avalanches sur les routes des stations de montagne ? Essai d'analyse. *Sciences Eaux & Territoires*, 2010/2 (Numéro 2), p. 58-65.

Tacnet, J.-M., Mermet, E., Maneerat, S., 2012. Analysis of importance of road networks exposed to natural hazards. In: Gensel, J., Josselin, D., Vandenbroucke, D. (Eds.), *Bridging the Geographic Information Sciences. International AGILE'2012 Conference*, Avignon (France), April, 24–27, 2012. Springer, Berlin, New York.

Tacnet, J.-M., Mermet, E., Maneerat, Zodonina, E., Deschartes, M., Humbert, P., Dissart J.-C. et Labbe, S., Road network management in the context of natural hazards: a decision-aiding process based on multi-criteria decision making methods and network structural properties analysis 2013.

Chazelle B, Lambert L, Capoccioni C P. La vulnérabilité des infrastructures ferroviaires face aux événements hydrologiques extrêmes. *Etats des connaissances et gestion du risque. La Houille Blanche*, Numéro 2, Mai 2014, p 48-54.

Demoraes, F. De l'intérêt d'une étude sur la vulnérabilité des réseaux routiers et de transport pour la compréhension des vulnérabilités territoriales – Le cas du District Métropolitain de Quito (Équateur), *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, document 446, mis en ligne le 31 mars 2009, consulté le 07 mai 2019.

Richard, D. George-Marcelpoil, E. et Boudières, V. Changement climatique et développement des territoires de montagne : quelles connaissances pour quelles pistes d'action ? *Revue de Géographie Alpine | Journal of Alpine Research* [En ligne], 98-4 | 2010, mis en ligne le 27 janvier 2011, consulté le 10 mai 2019.

Revet, S. Les organisations internationales et la gestion des risques et des catastrophes " naturels ". *Etudes du CERI*, 2009, pp.1-30. hal-01023685.

Veyret, Y. Reghezza, M. Vulnérabilité et risques, l'approche récente de la vulnérabilité. *Responsabilité et environnement* n°43, Juillet 2006.

Veyret, Y. Reghezza, M. Aléas et Risques dans l'analyse géographique. *Laboratoire gecko, Université Paris X-Nanterre. Annales des mines*, Octobre 2005. <http://www.annales.com/re/2005/re40/veyret.pdf>.

Einhorn, B. Eckert, N. Chaix, C. Ravanel, L. Deline, P. Gardent, M. Boudières, V. Richard, D. Vengeon, J.-M. Giraud, G. et Schoeneich, P. Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 103-2 | 2015, mis en ligne le 02 septembre 2015, consulté le 10 mai 2019.

Chapelon, L. Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité. *Mappemonde, Centre d'Études Supérieures d'Aménagement - Groupe « Transports »*, 3/1996.

Serre, Frédéric. *La neige dans le Massif central: une contrainte pour la gestion des territoires?* Clermont-Ferrand: Presses universitaires Blaise Pascal, 2002.



Leone, F. Deymier, J. Chapelon, L. Jomelli, V. Risques naturels et accessibilité territoriale : le cas des debris flows dans les Alpes. *CIST2011 - Fonder les sciences du territoire*, Collège international des sciences du territoire (CIST), Nov 2011, Paris, France. pp.290-296.

Naaim-Bouvet, F. Richard, D. Les risques naturels en montagne. Edition Quae, 2015.

Frayssines, M. Contribution à l'évaluation de l'aléa éboulement rocheux (rupture). Géologie appliquée. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2005. Français.tel-00011605.

Cerema. Acte du séminaire Résilience urbaine et sécurité des territoires. Bron : Cerema, 2018. collection : Connaissance. ISBN : 978-2-37180-277-3 (imprimé), 978-2-37-180-276-6 (PDF).

CEPRI. Le territoire et ses réseaux techniques face au risque d'inondation. 2016. [en ligne] https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Guide%20reseau.pdf.

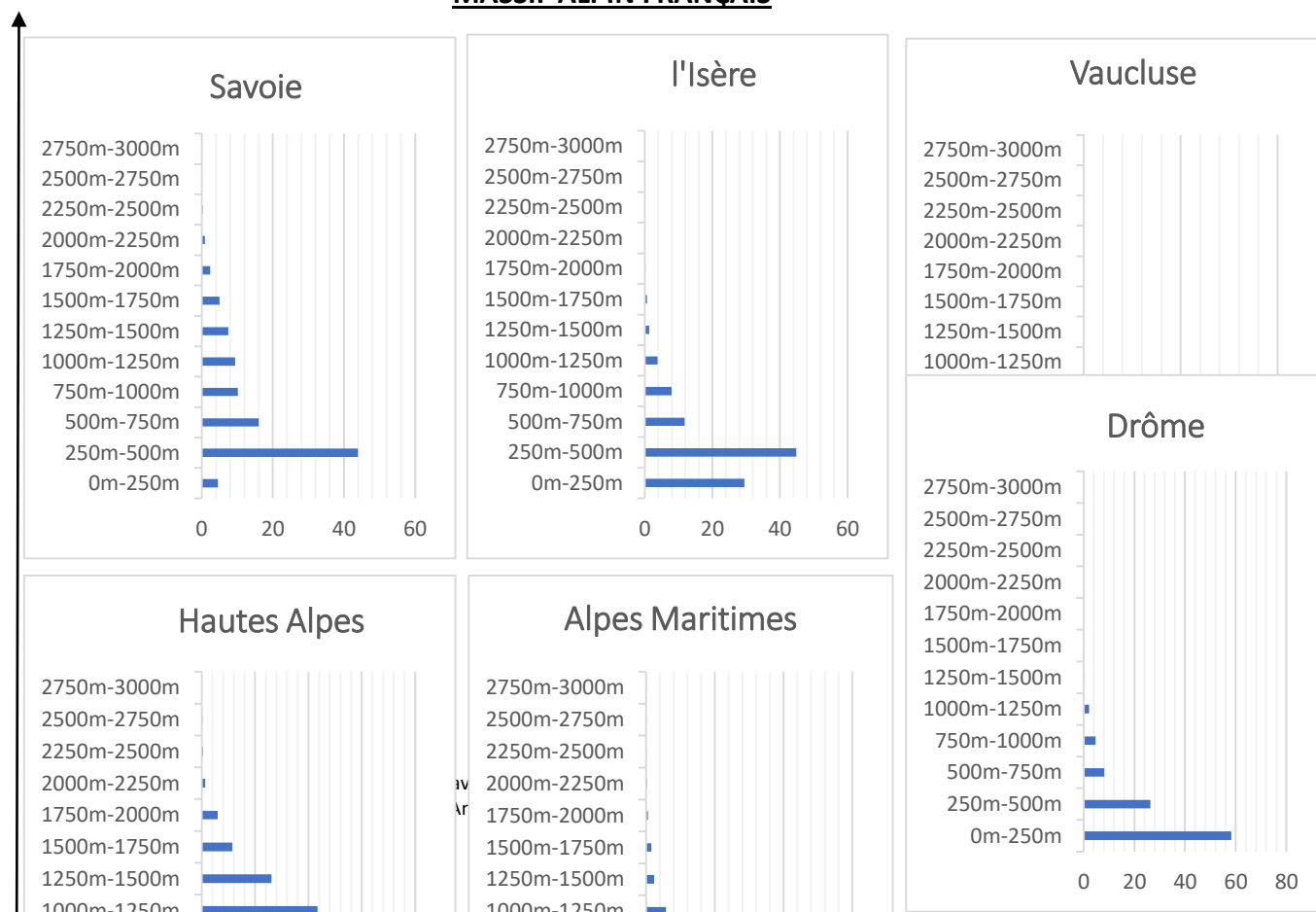
Besson L. Les risques Naturels – De la connaissance pratique à la gestion administrative. Edition TechniCité, 592 p., 1996 (réédition en 2005)

VII Sitographie :

<https://www.openstreetmap.fr/>
<http://professionnels.ign.fr/donnees>
<https://www.geoportail.gouv.fr/>
<https://www.data.gouv.fr/fr/>
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/>
<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/>
<https://www.cepri.net/>
<https://www.sport-passion.fr>

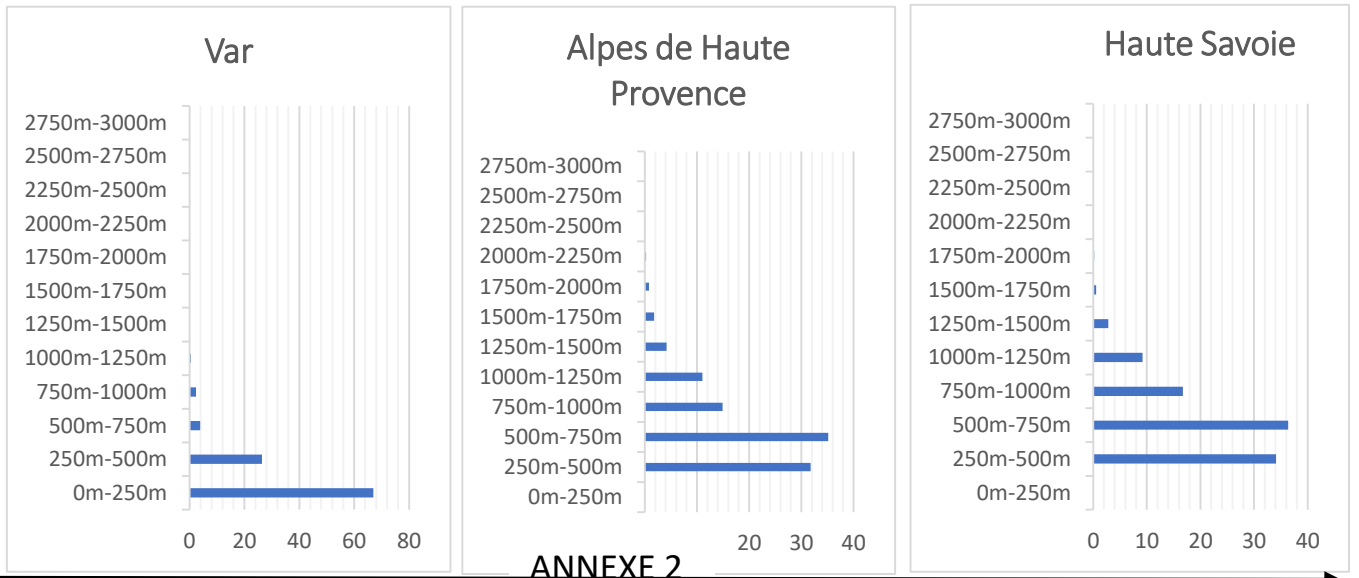
ANNEXE 1

PART DU RESEAU ROUTIER EN FONCTION DE L'ALTITUDE DANS LES DEPARTEMENTS DU MASSIF ALPIN FRANÇAIS





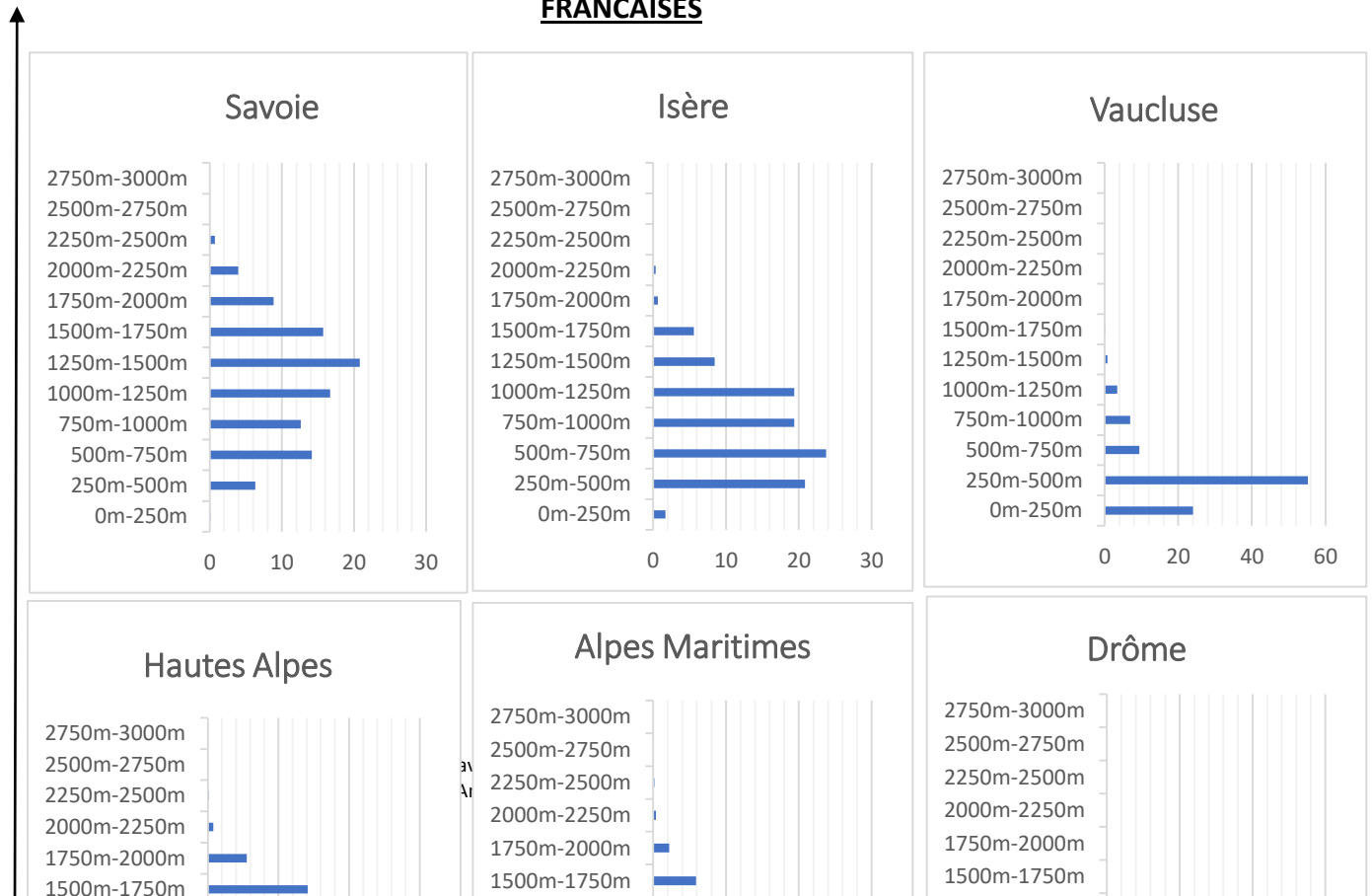
Tranches altitudinales en mètres

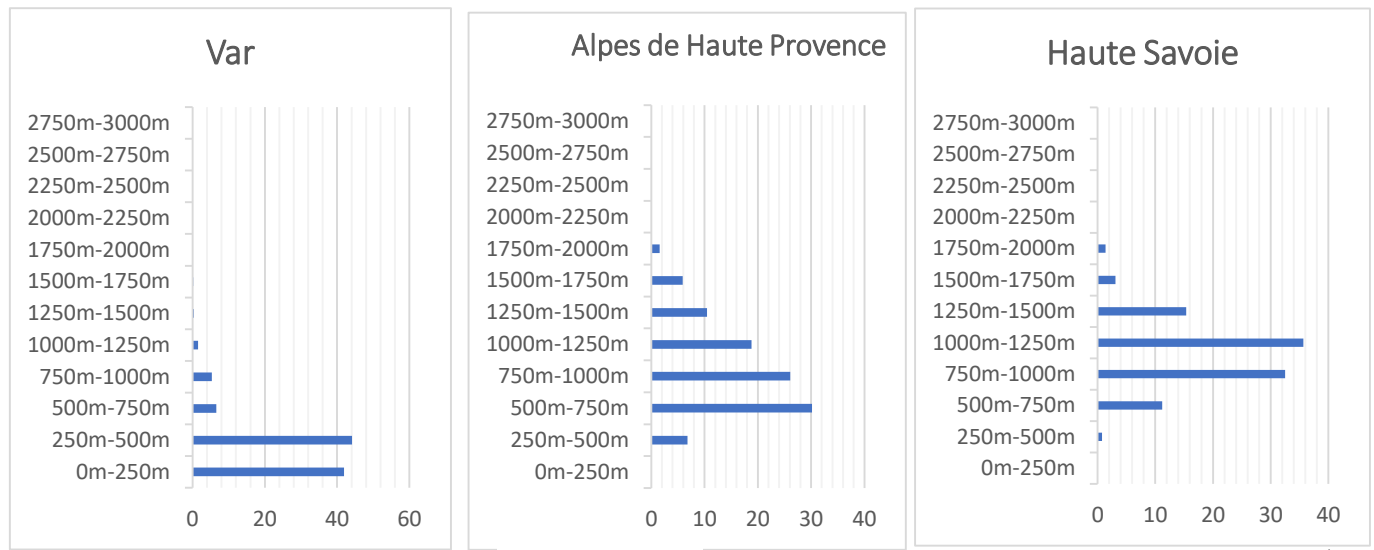


Part du réseau routier en %

PART DES IMPASSES EN FONCTION DE L'ALTITUDE DANS LES DEPARTEMENT DES ALPES

FRANCAISES

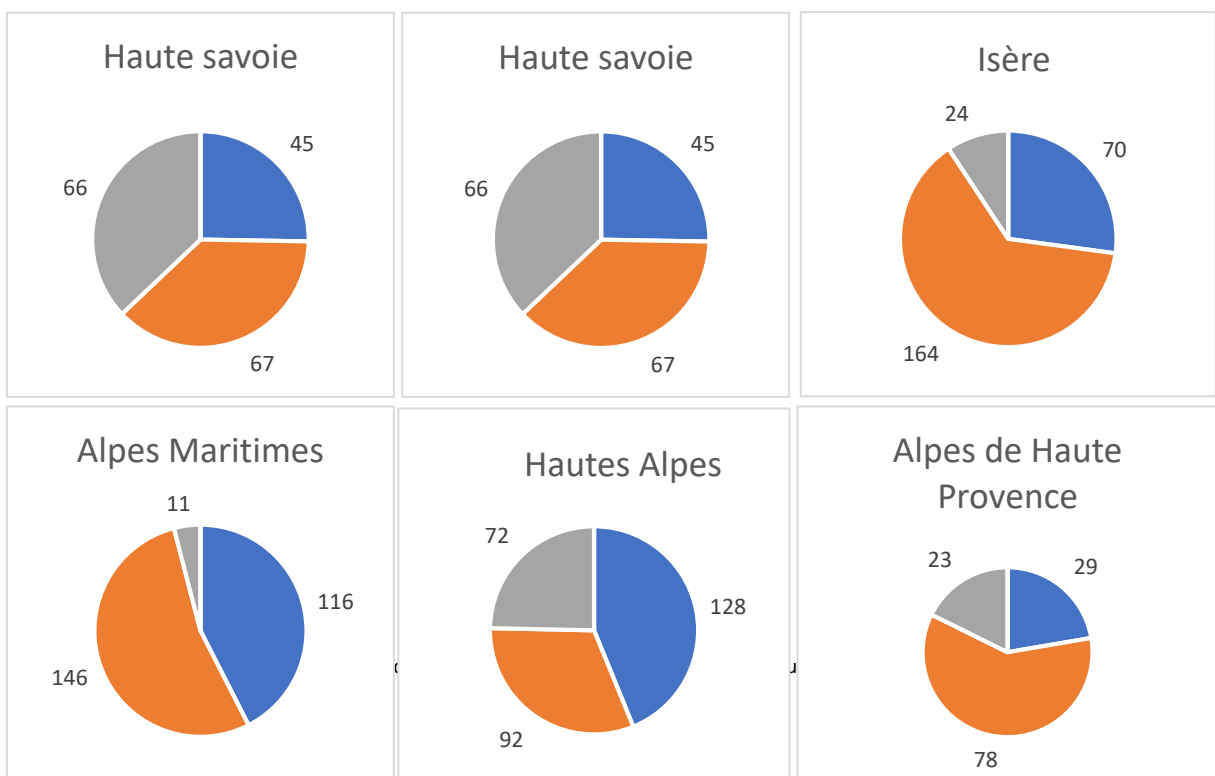




ANNEXE 3
Part du réseau routier en %

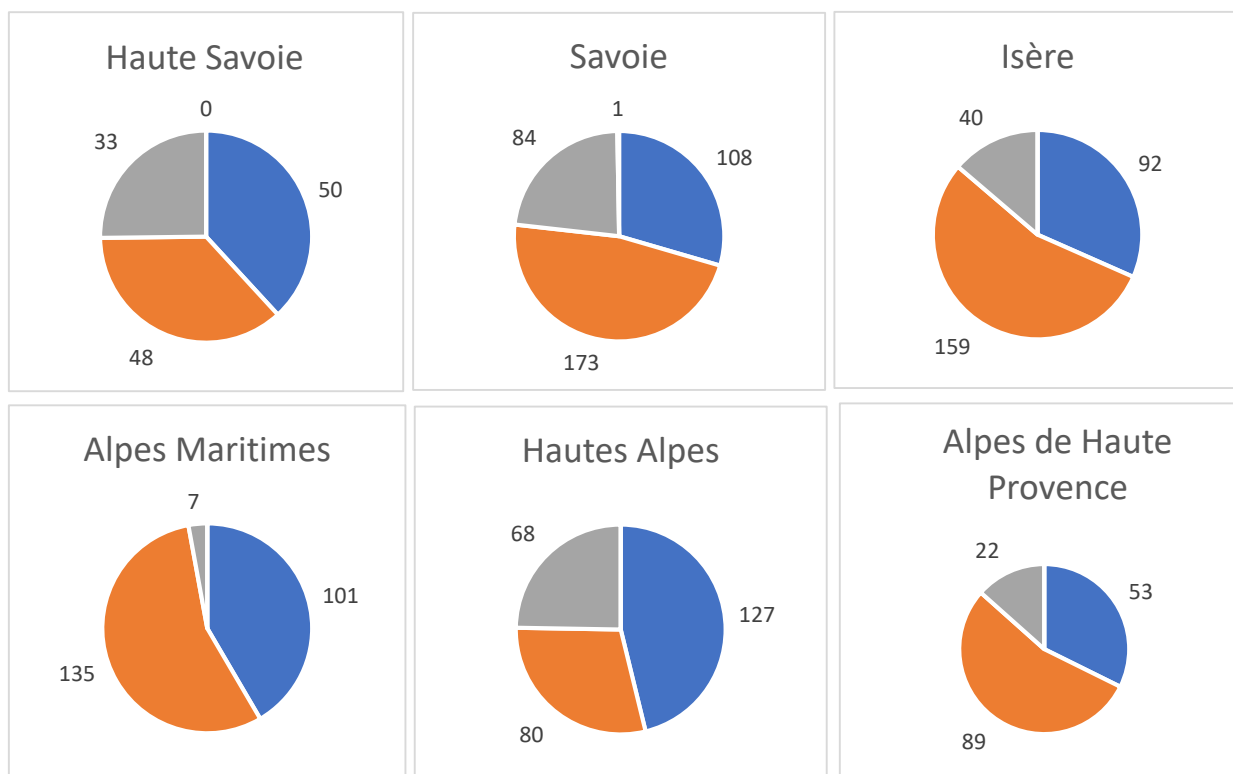
Vocation des routes recoupées par le recueil de témoignages pour les différents départements

■ Liaisons locales ■ Liaisons regionales ■ Liaisons principales ■ Type autoroutier





Vocation des routes recoupées par la photo interprétation pour les différents départements



Atlas Cartographique

Risque d'enclavement des vallées alpines par les risques naturels
Analyse de la vulnérabilité des réseaux

N

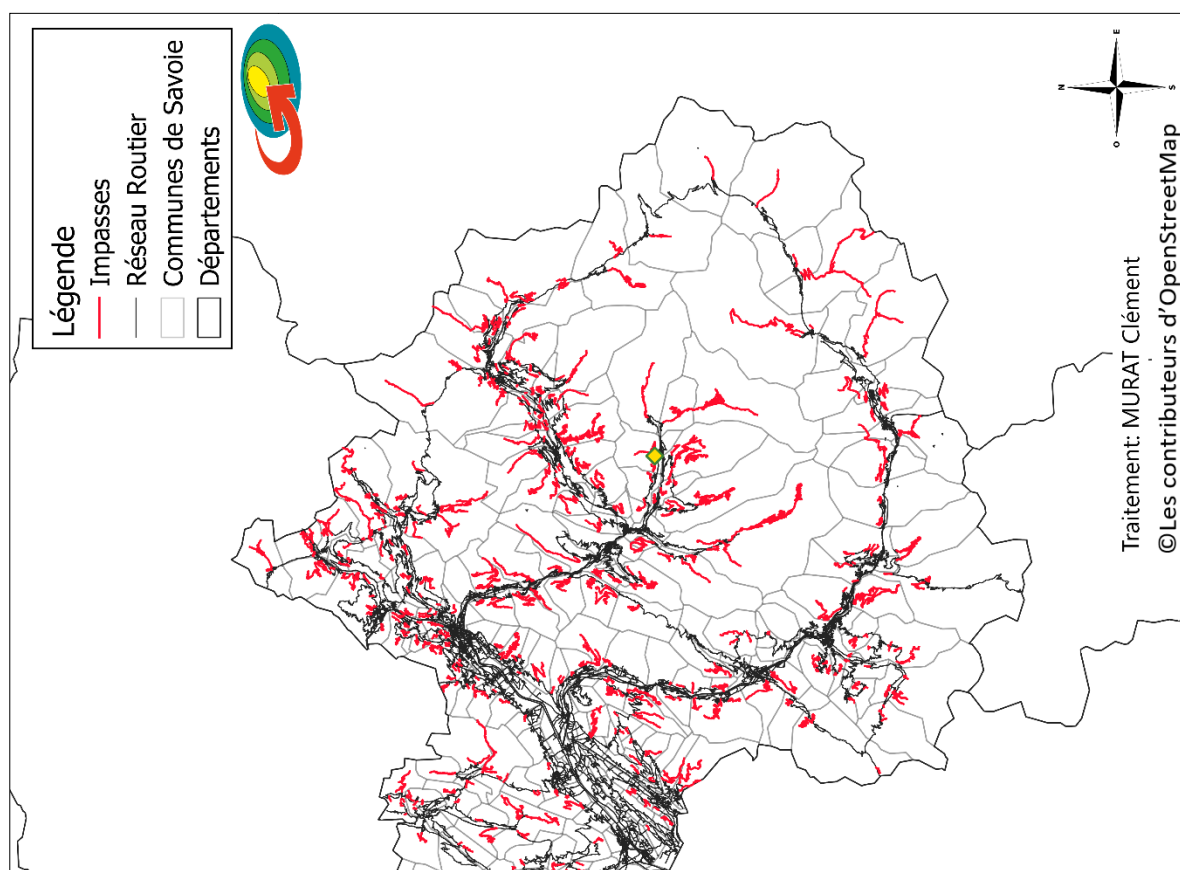


Carte des impasses du département de la Savoie (73)	35
Carte des impasses du département de la Haute-Savoie (74)	36
Carte des impasses du département de l'Isère (38).....	37
Carte des impasses du département de la Drôme (26).....	39
Carte des impasses du département des Hautes-Alpes (05)	40
Carte des impasses du département des Alpes-Maritimes (06)	41
Carte des impasses du département du Var (83).....	42
Carte des impasses du département du Vaucluse (84).....	43
Carte des impasses du département des Alpes-de-Haute-Provence (04)	43
Carte du réseau ferré des Alpes françaises.....	44
Cartes des cols fermés l'hivers dans le massif des Alpes	45
Cartes des altitudes du réseau routier du département de la Savoie (73)	46
Cartes des altitudes du réseau routier du département de la Haute-Savoie (74)	47



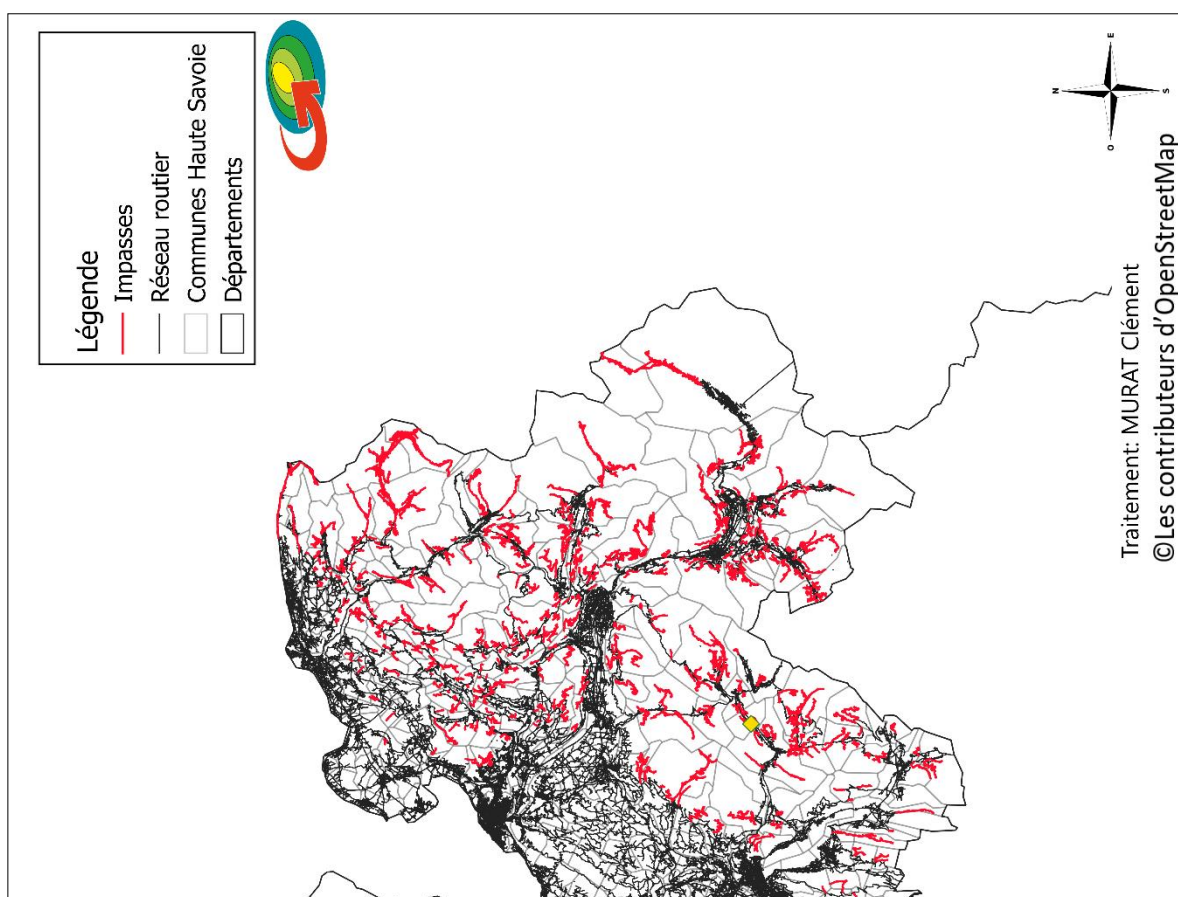
Cartes des altitudes du réseau routier du département de l'Isère	48
Carte des altitudes du réseau routier du département de la Drôme (26)	49
Carte des altitudes du réseau routier du département des Hautes-Alpes (05)	50
Carte des altitudes du réseau routier du département des Alpes Maritimes (06)	51
Cartes des altitudes du réseau routier du département du Var (83).....	52
Carte des altitudes du réseau routier du département du Vaucluse (84)	53
Cartes des altitudes du réseau routier des Alpes-de-Haute-Provence	54
Carte du nombre de ponts franchissant un cours d'eau par communes.....	55
Carte du nombre total de ponts par communes.....	55
Carte du nombre de tunnels en terre et de protections par communes.....	56
Carte du nombre d'établissements de soins et de prévention par communes	57
Carte du nombre d'établissements relevant de la loi hospitalière par communes	57
Carte du nombre d'établissements relevant des services sociaux par communes	58
Carte du nombre d'établissements à caractères sanitaires par communes	58
Cartes des stations-villages du massif des Alpes françaises.....	59
Carte du nombre d'intersections du recueil de témoignage (CLPA) avec le réseau routier par communes	60
Carte du nombre d'intersection de la photo-interprétation (CLPA) avec le réseau routier par communes.....	62
Carte de représentation des données issues de la BD Blocs dans le secteur des gorges de l'Arly et à l'échelle de la Savoie (cartouche).....	62

Carte des impasses du département de la Savoie (73)



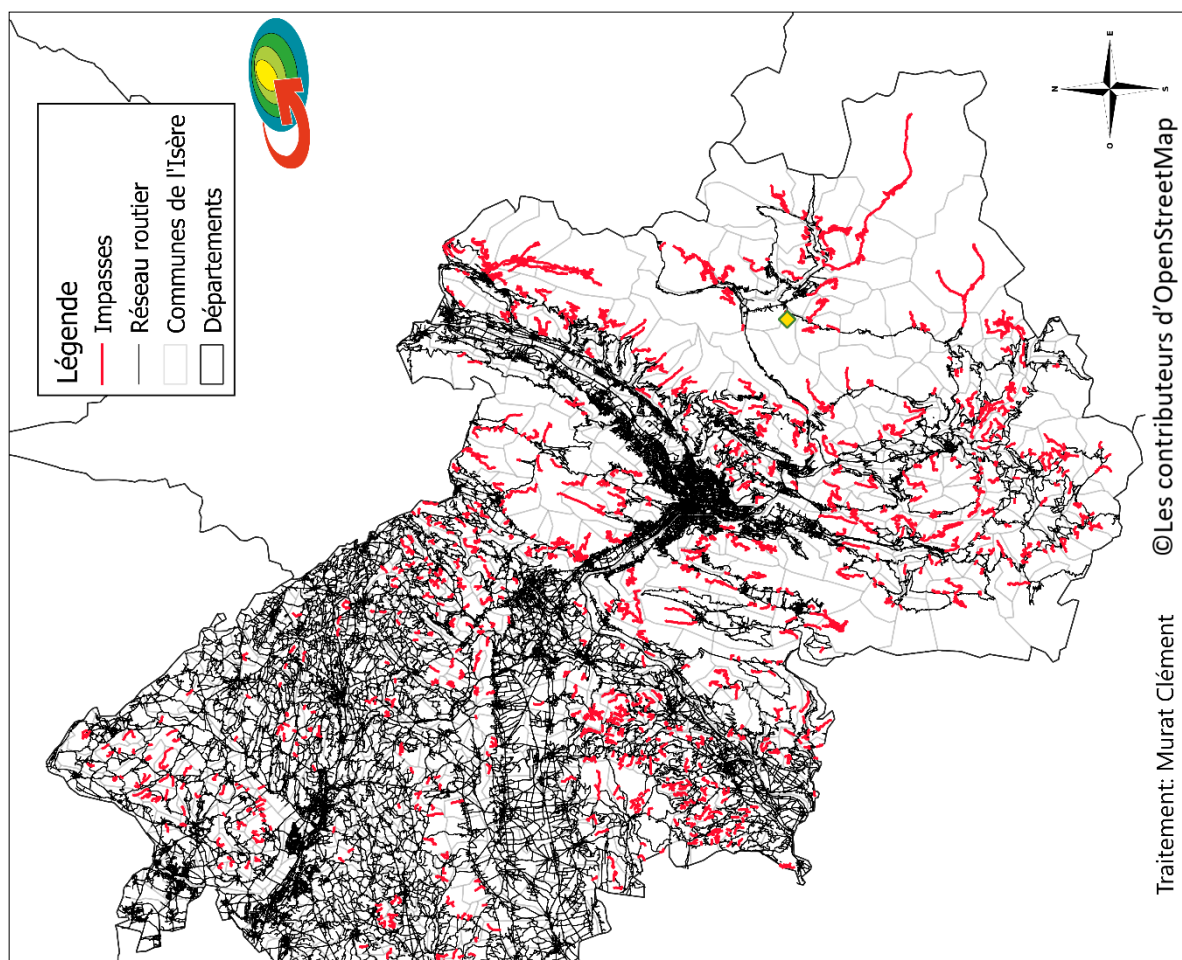


Carte des impasses du département de la Haute-Savoie (74)





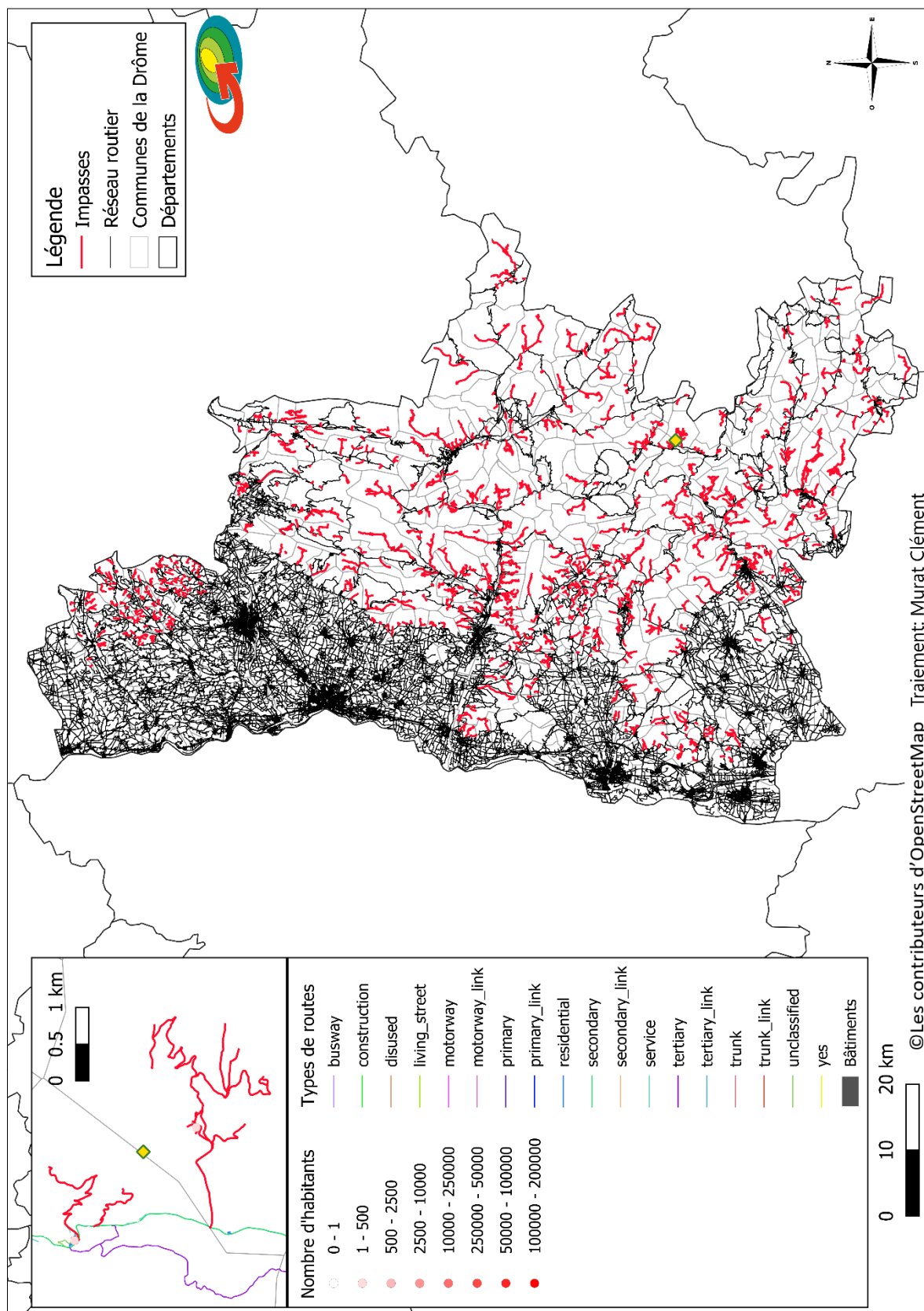
Carte des impasses du département de l'Isère (38)





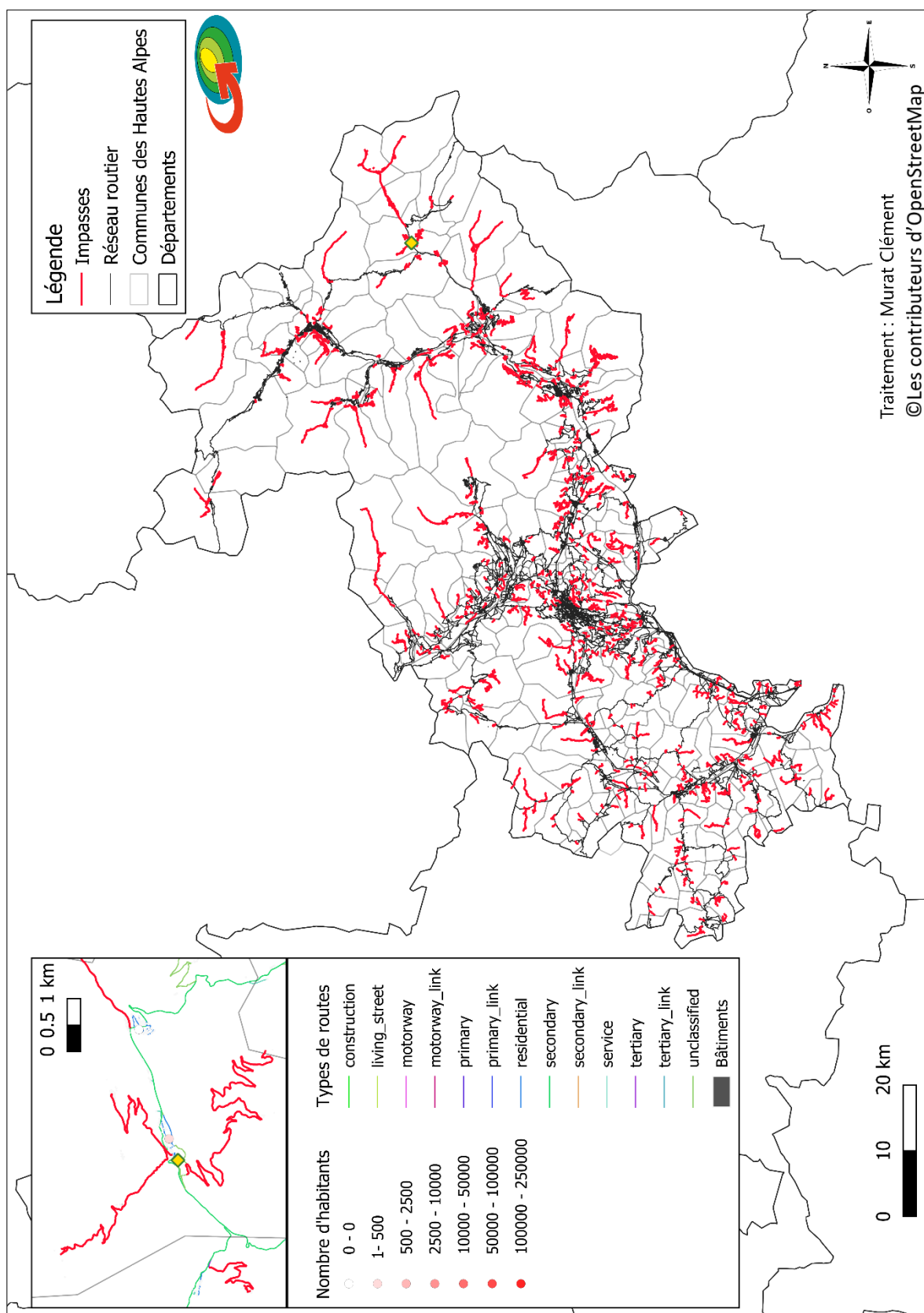


Carte des impasses du département de la Drôme (26)



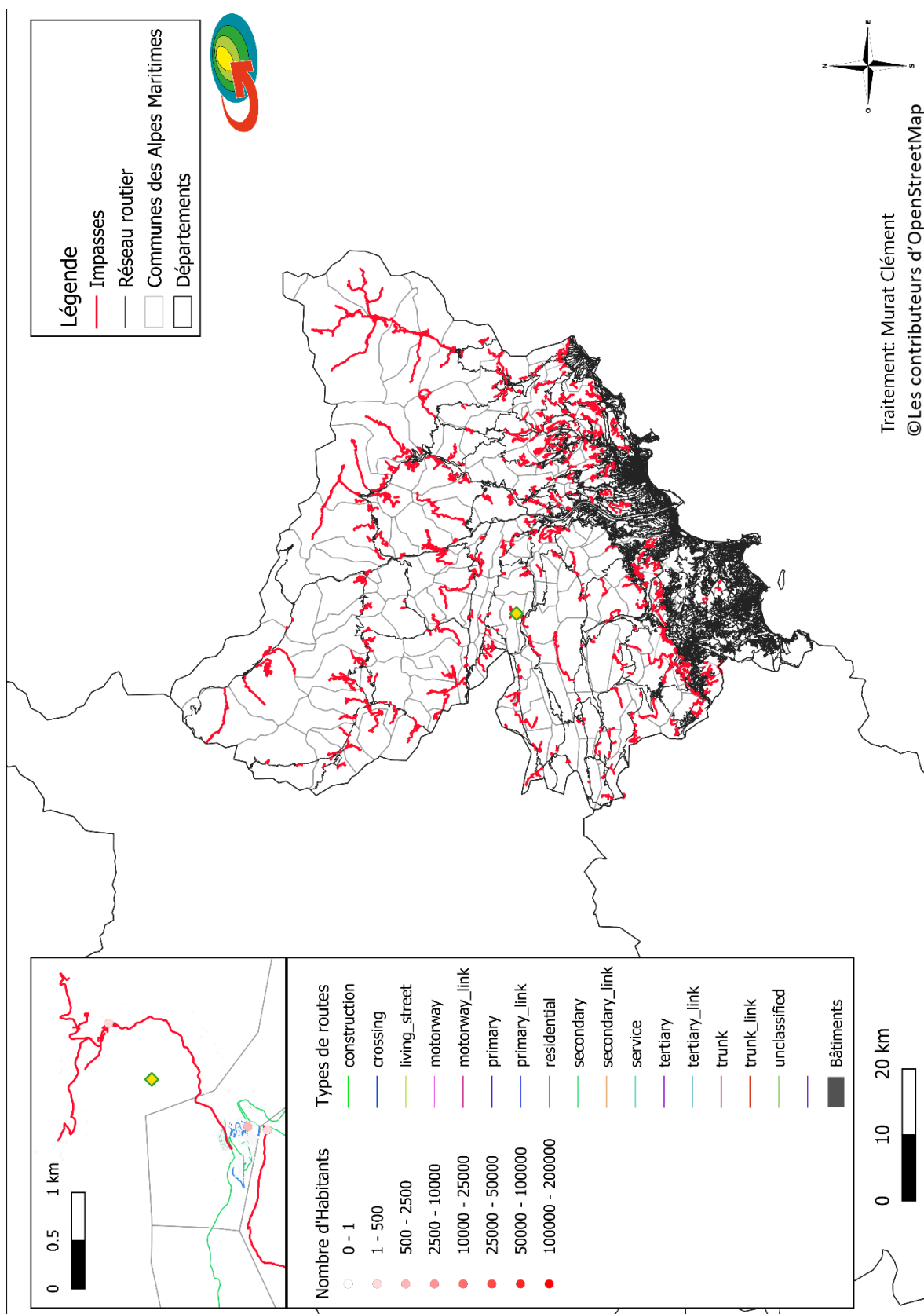


Carte des impasses du département des Hautes-Alpes (05)



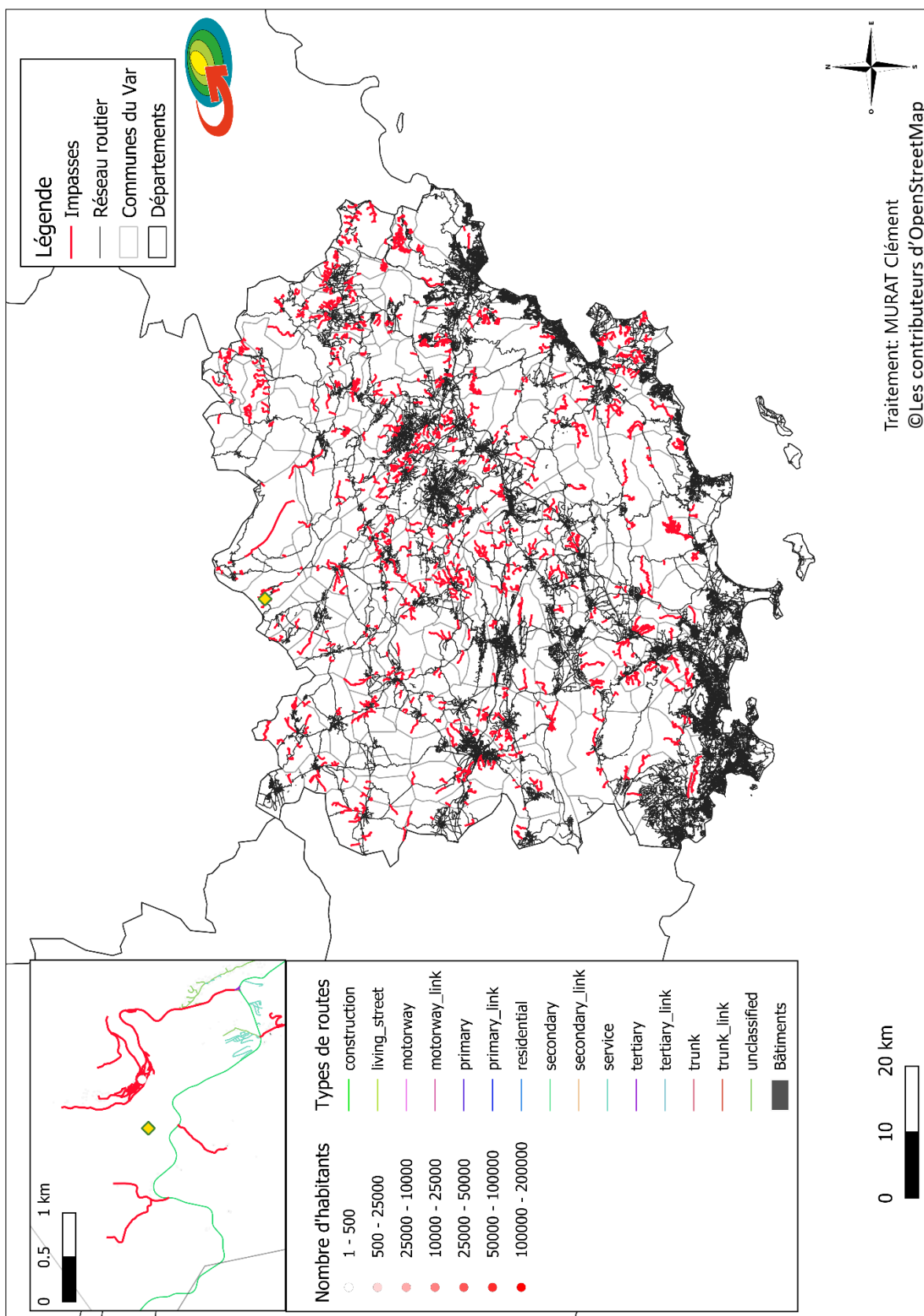


Carte des impasses du département des Alpes-Maritimes (06)



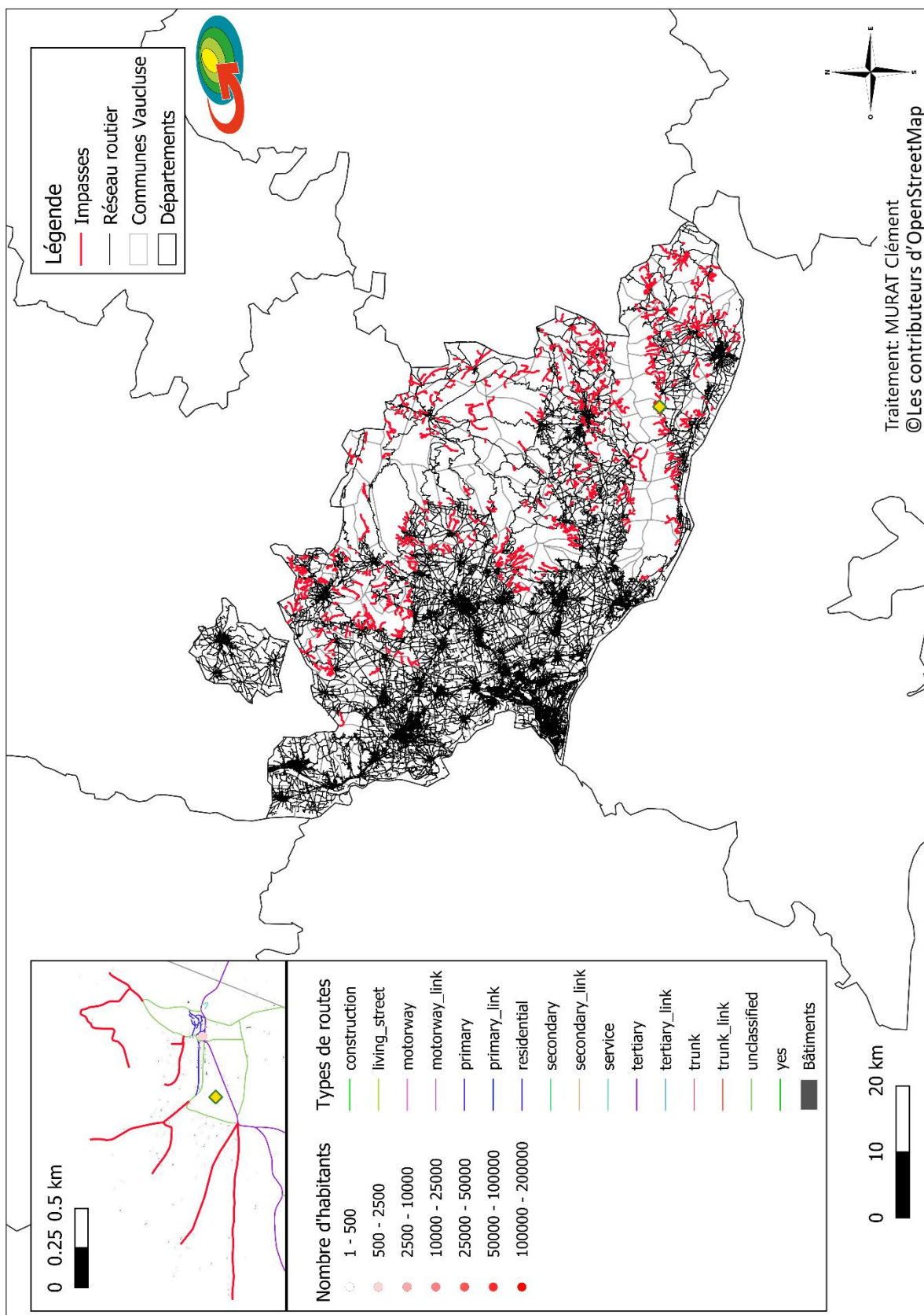


Carte des impasses du département du Var (83)



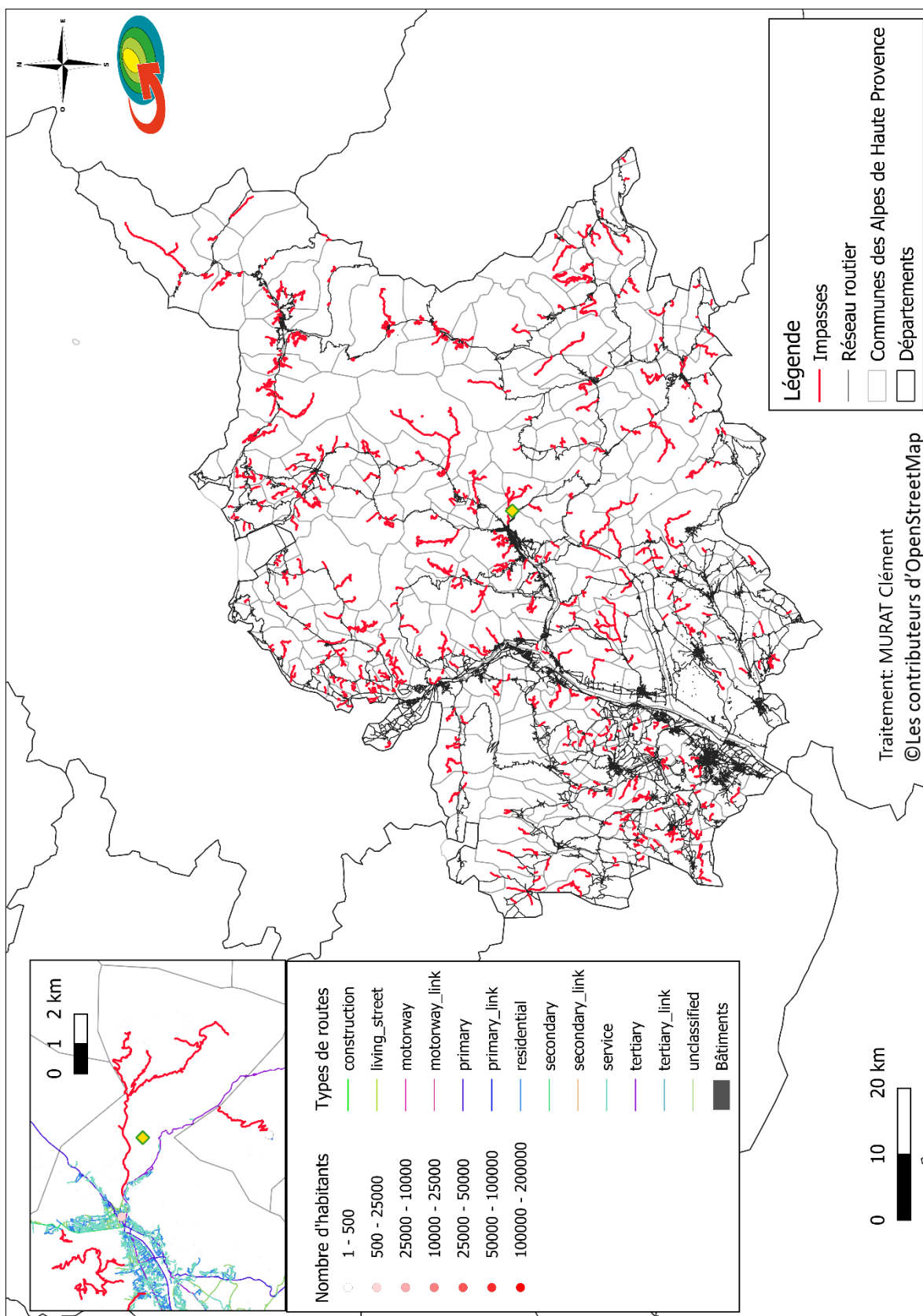


Carte des impasses du département du Vaucluse (84)



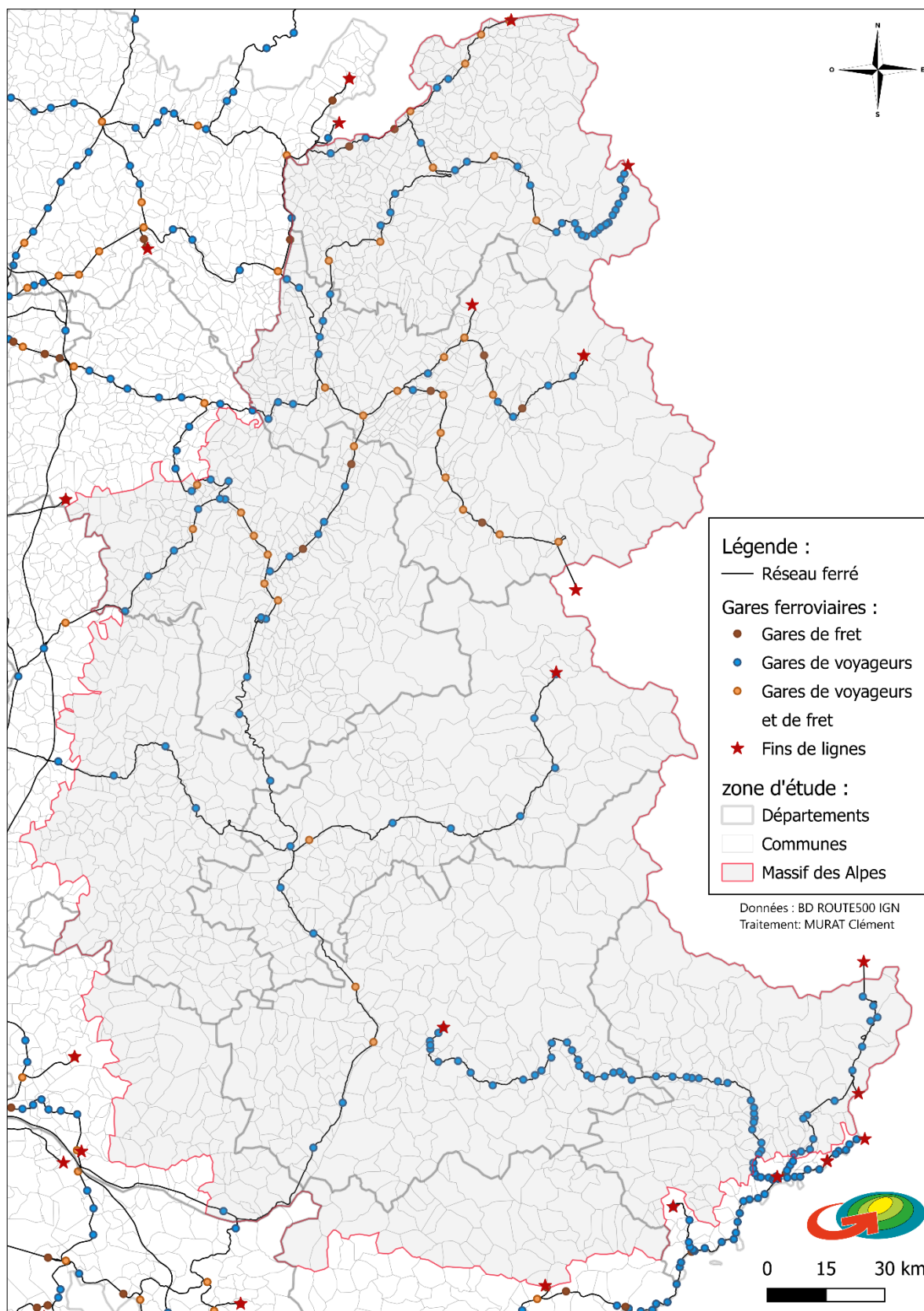


Carte des impasses du département des Alpes-de-Haute-Provence (04)



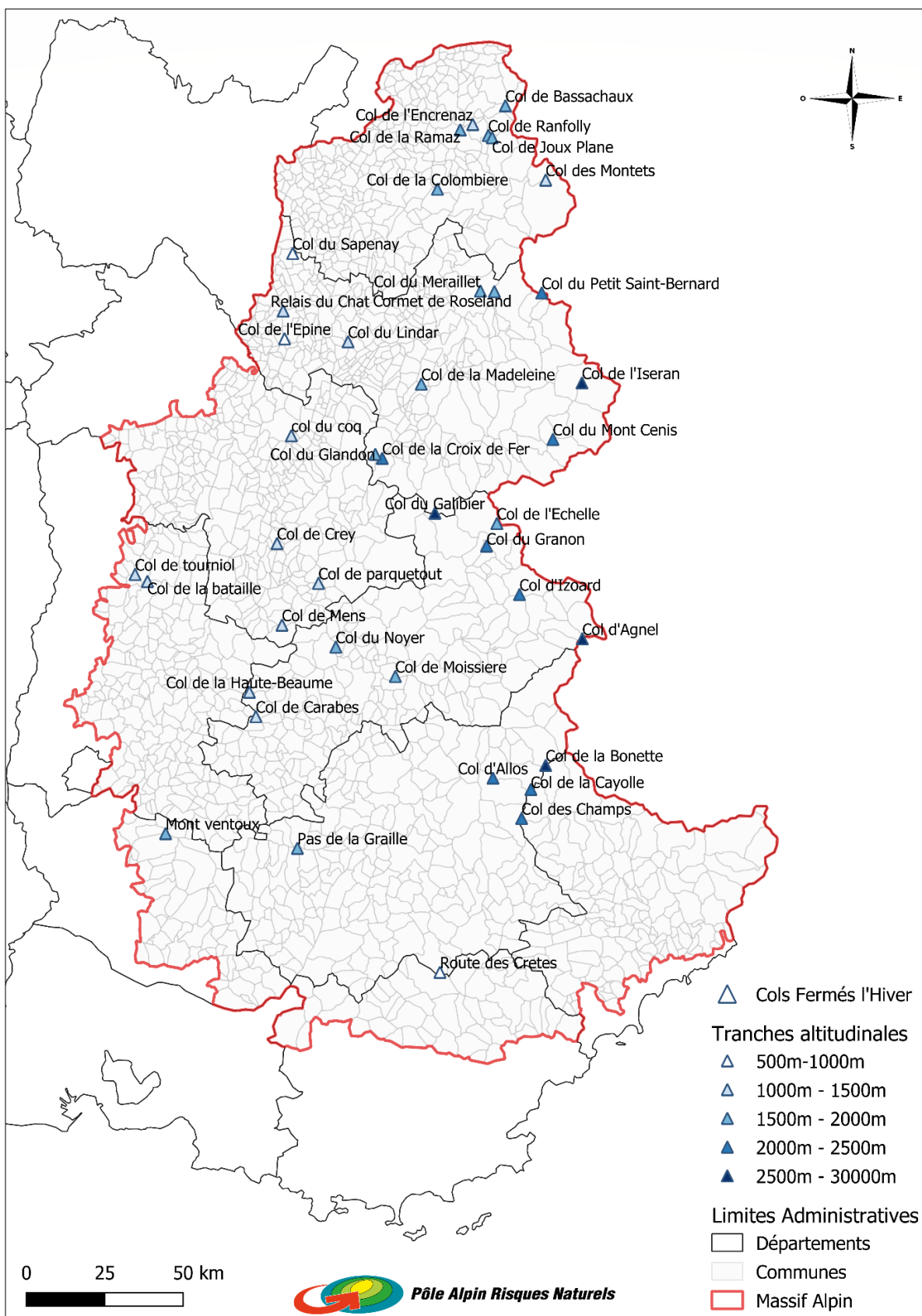


Carte du Réseau ferré de Alpes françaises



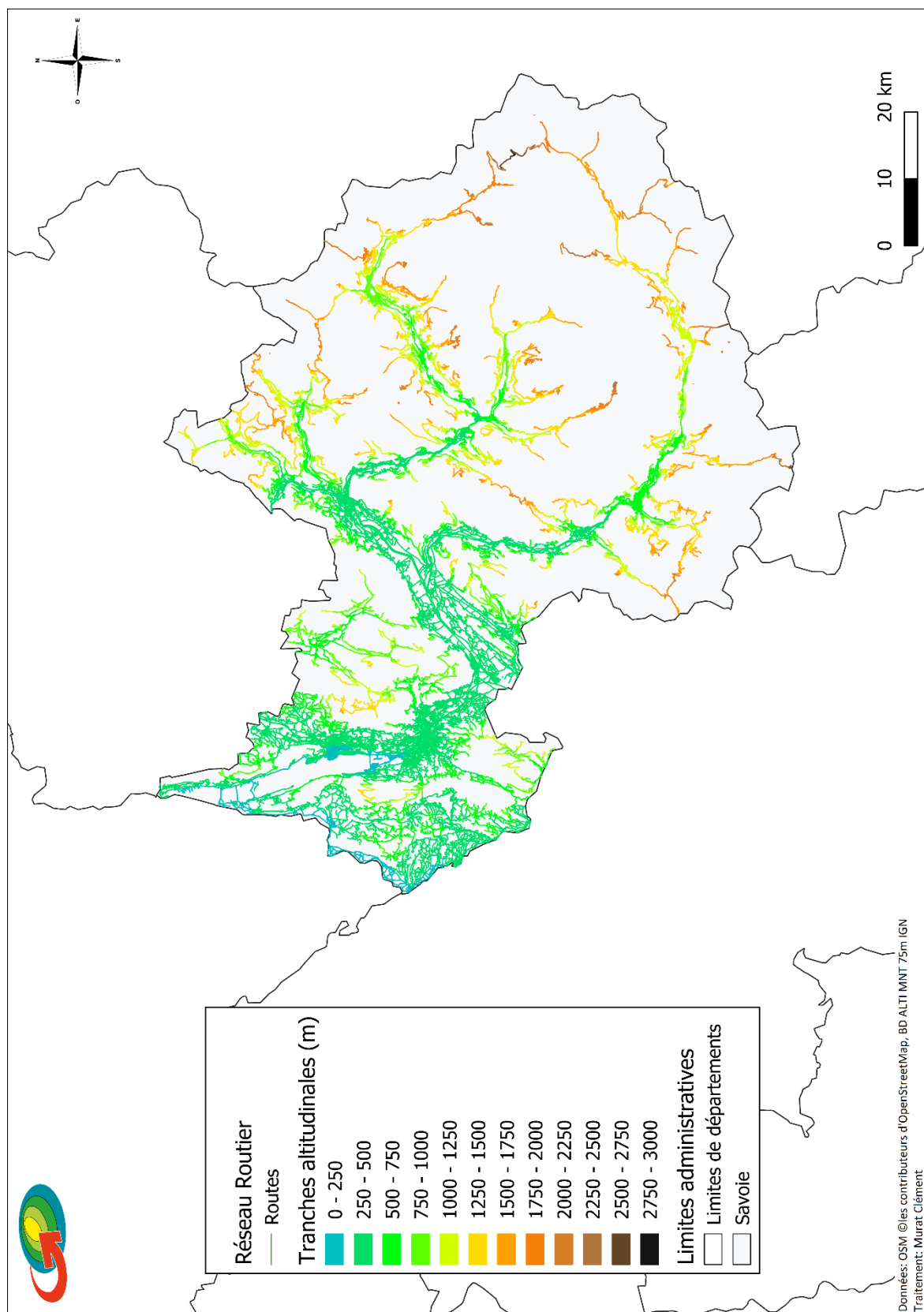


Cartes des cols fermés l'hiver dans le massif des Alpes



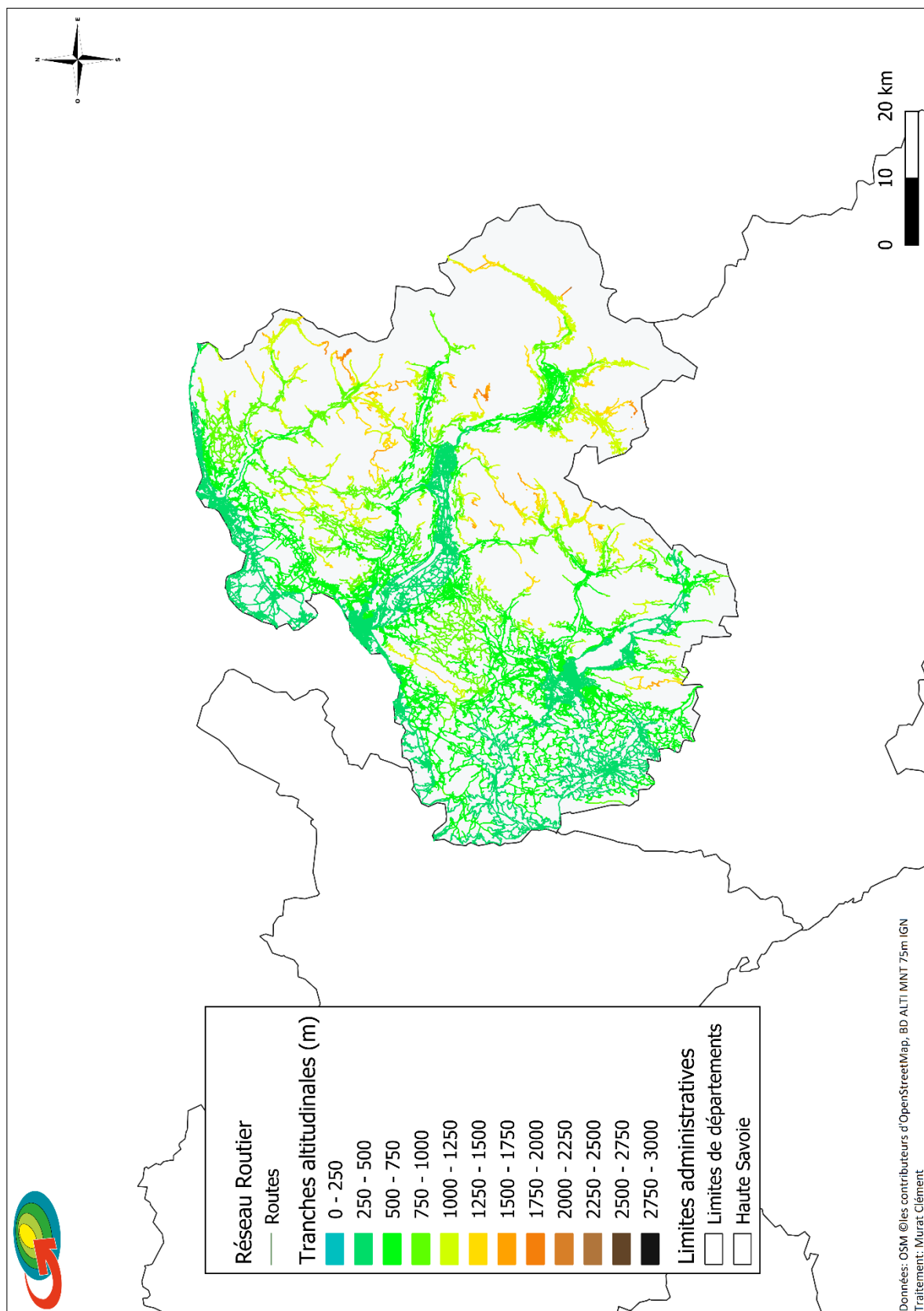


Cartes des altitudes du réseau routier du département de la Savoie (73)



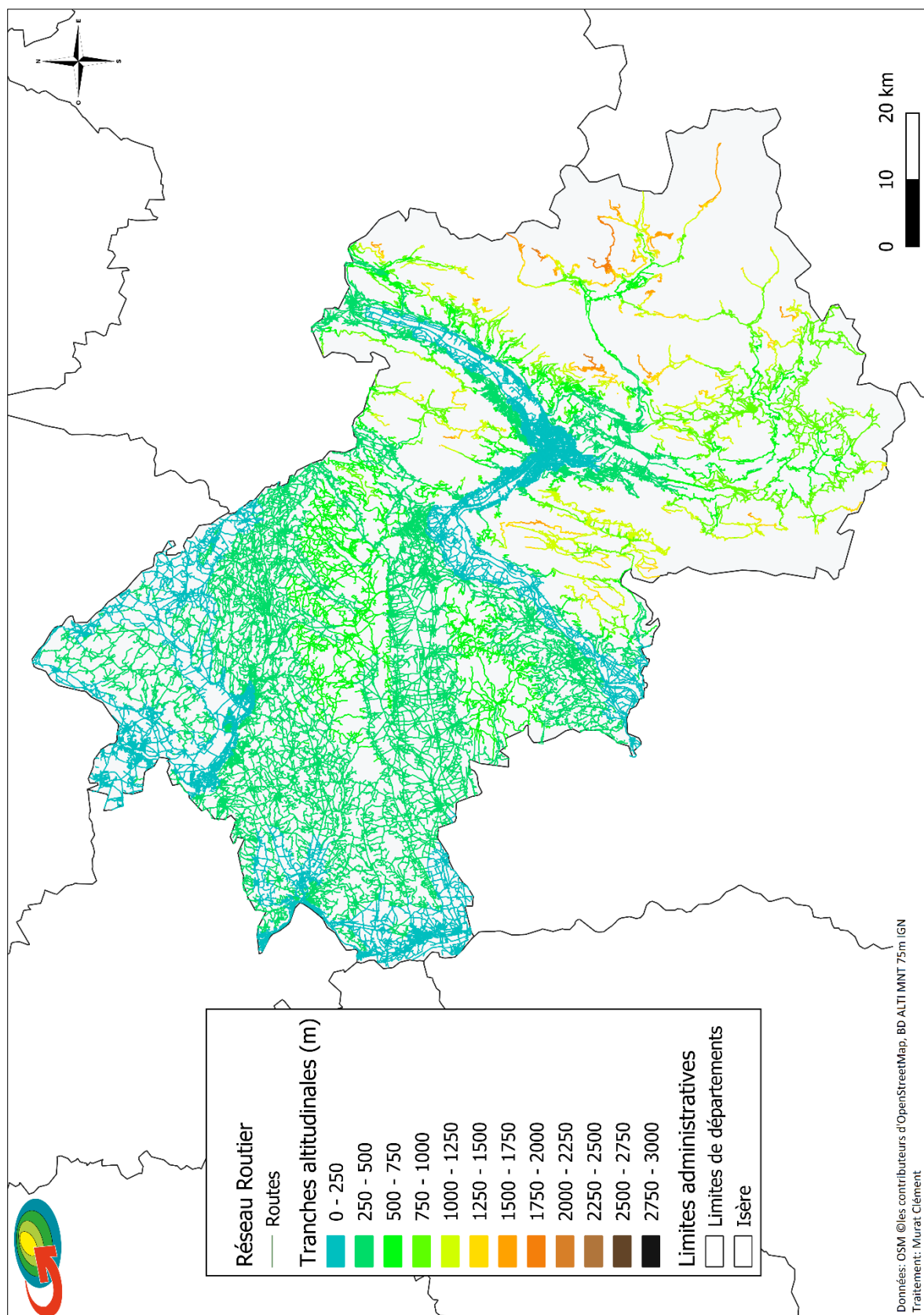


Cartes des altitudes du réseau routier du département de la Haute Savoie (74)



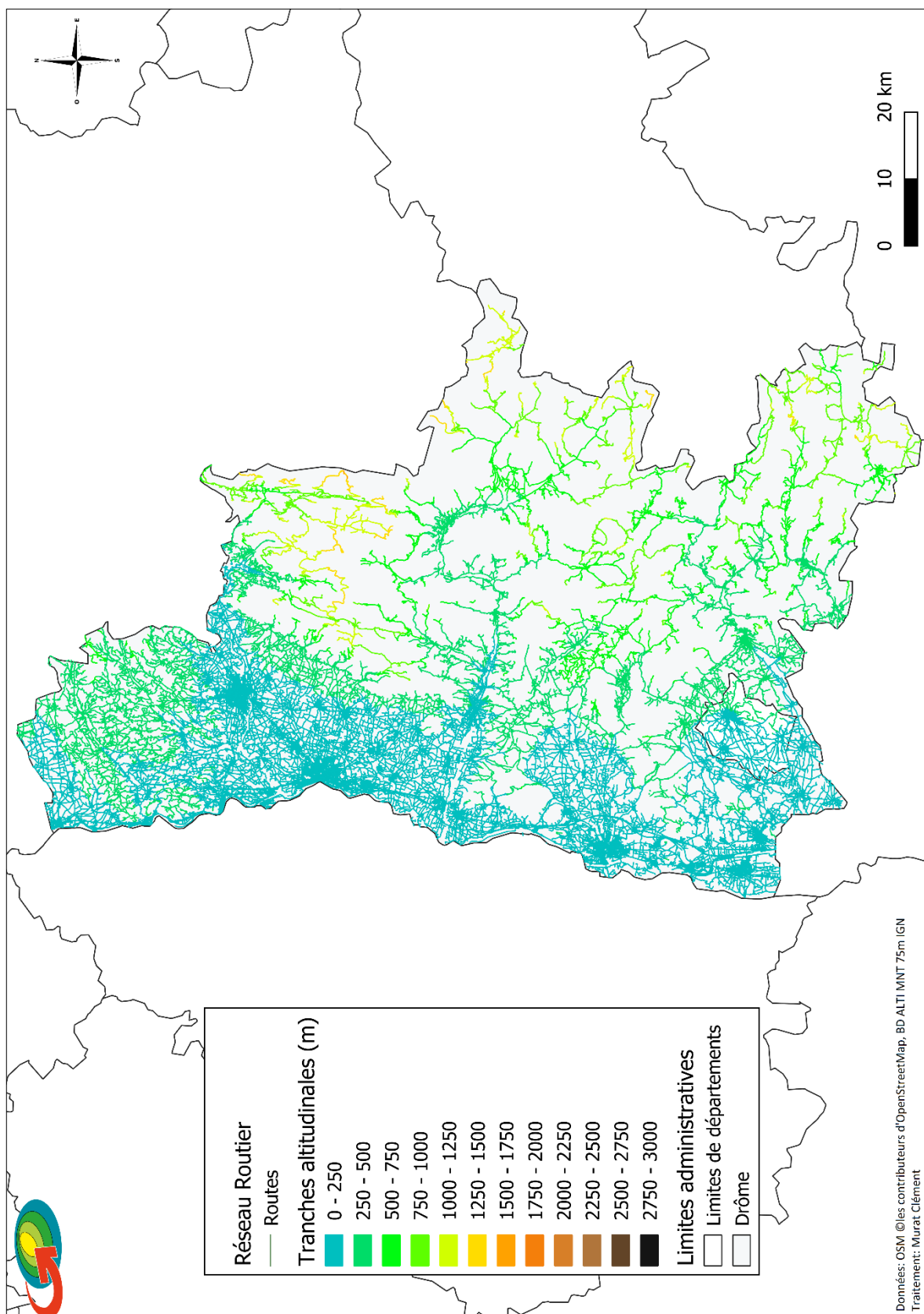


Cartes des altitudes du réseau routier du département de l'Isère



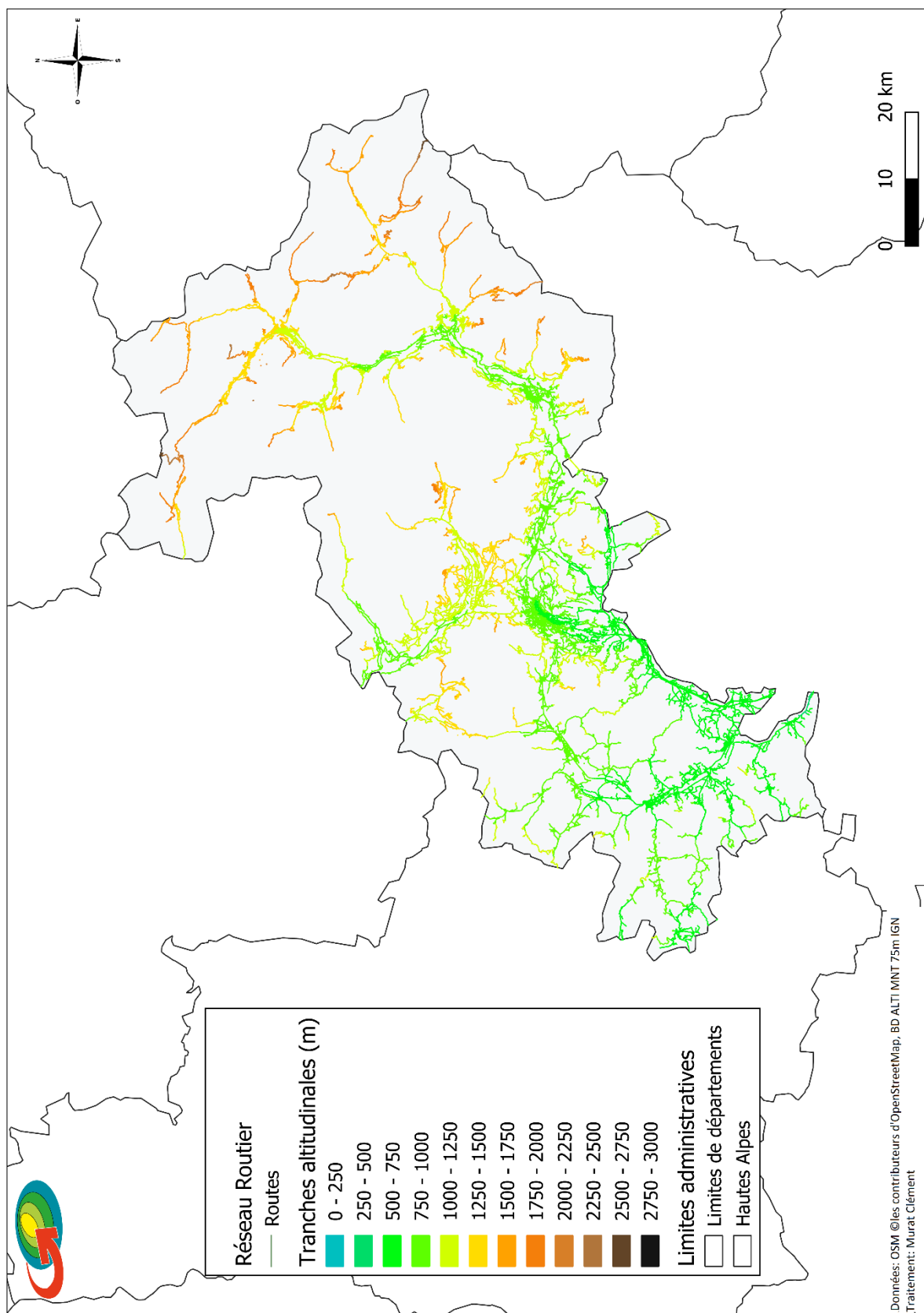


Carte des altitudes du réseau routier du département de la Drôme (26)



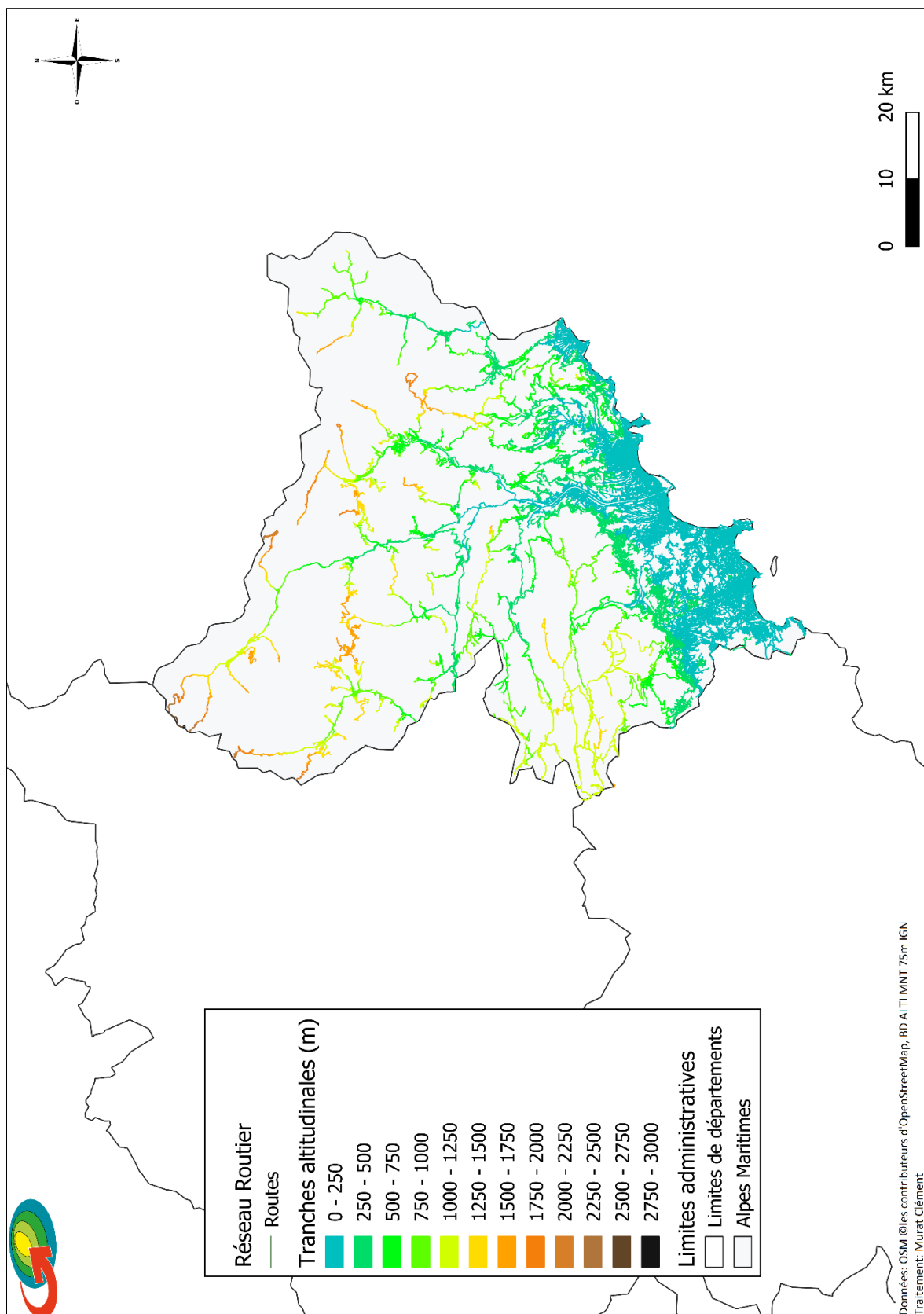


Carte des altitudes du réseau routier du département des Hautes Alpes (05)



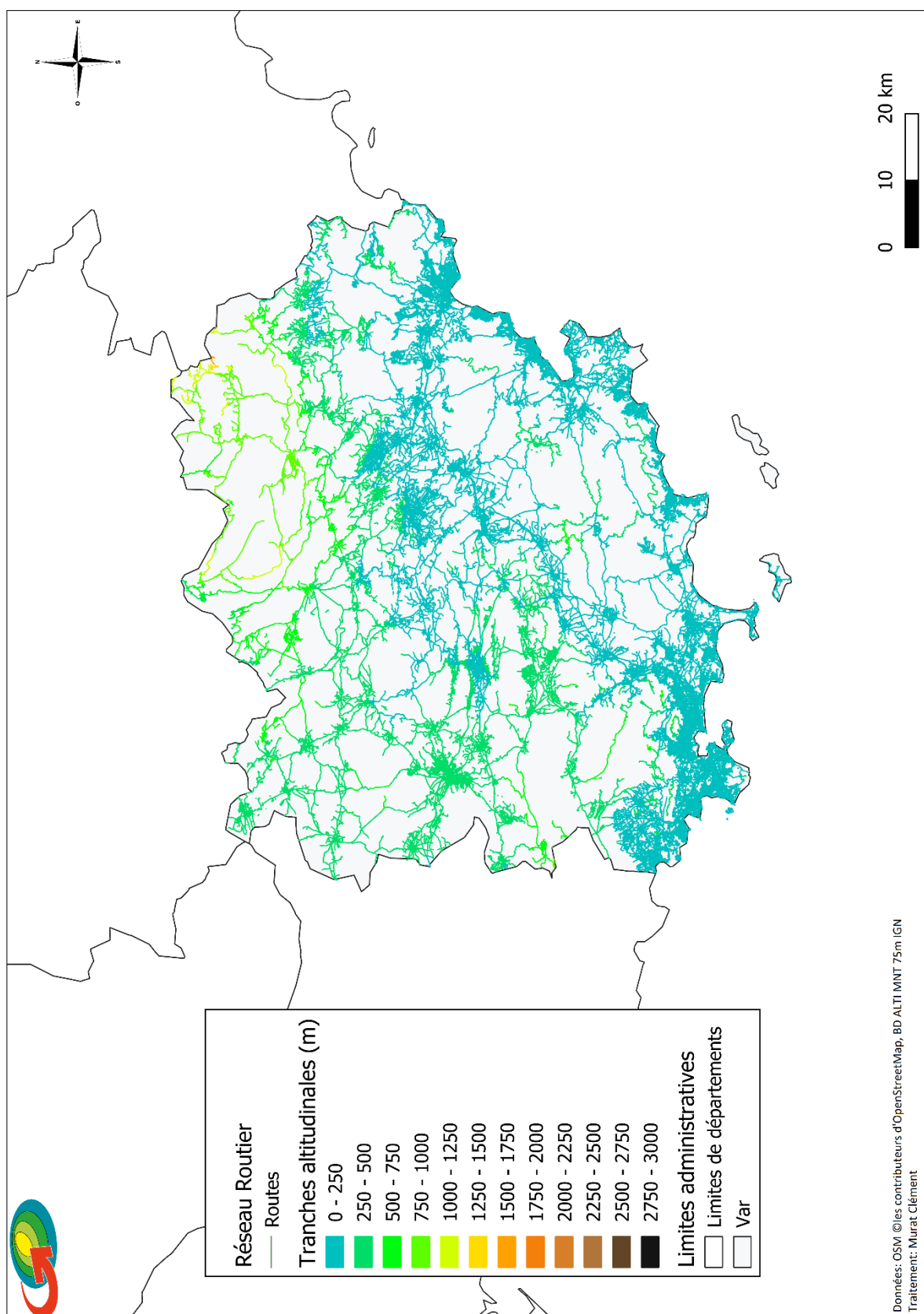


Carte des altitudes du réseau routier du département des Alpes Maritimes (06)



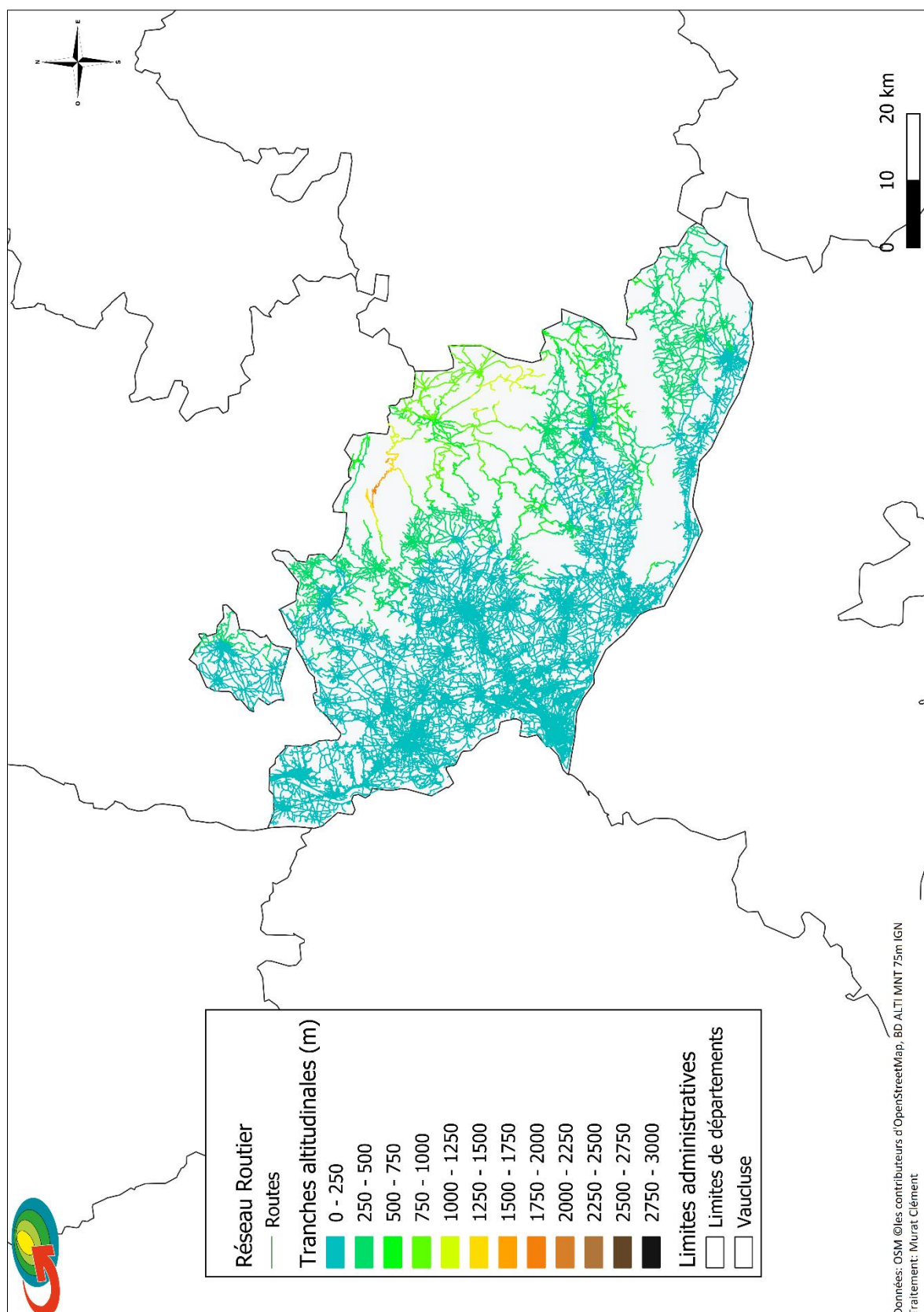


Cartes des altitudes du réseau routier du département du Var (83)



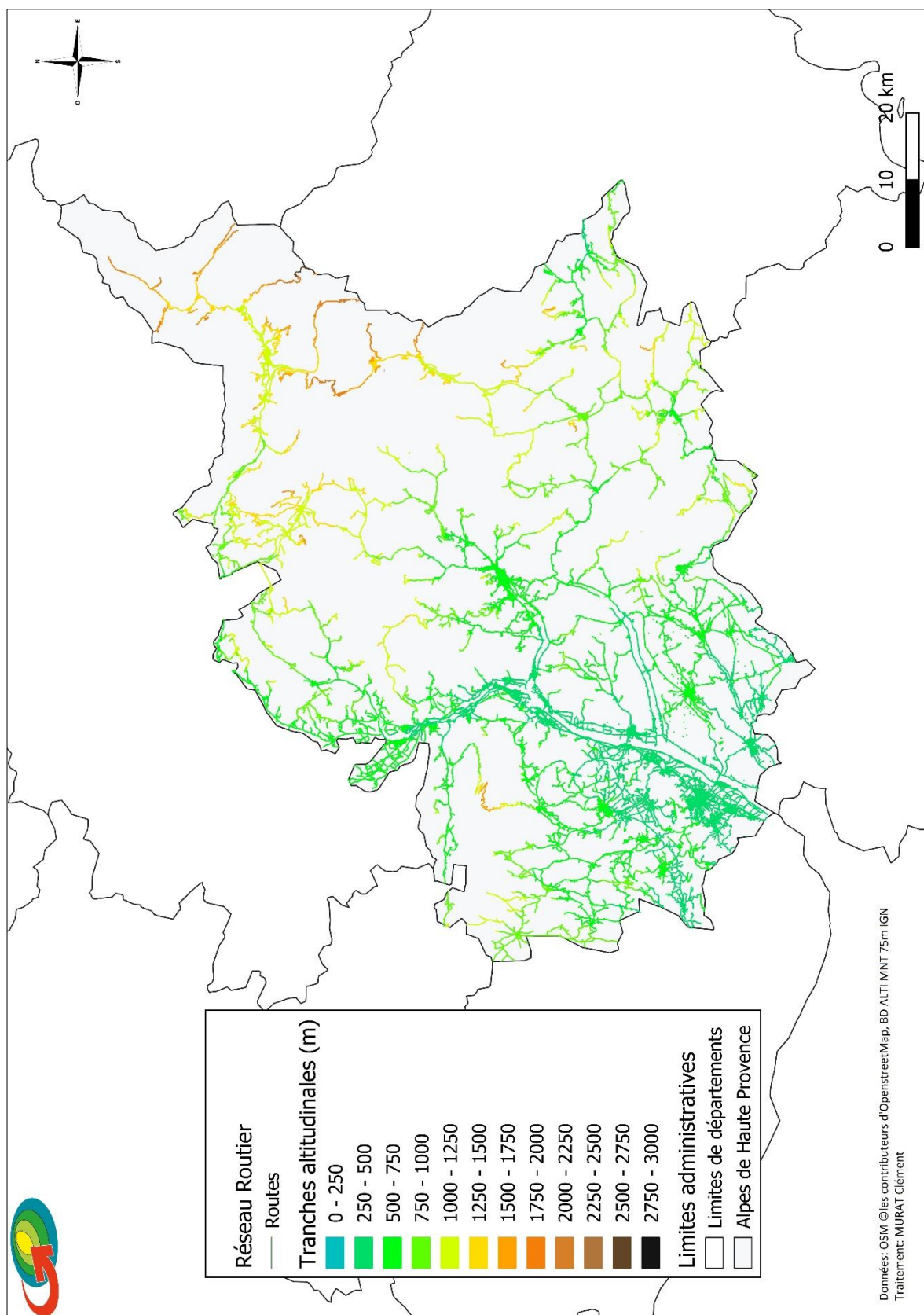


Carte des altitudes du réseau routier du département du Vaucluse (84)



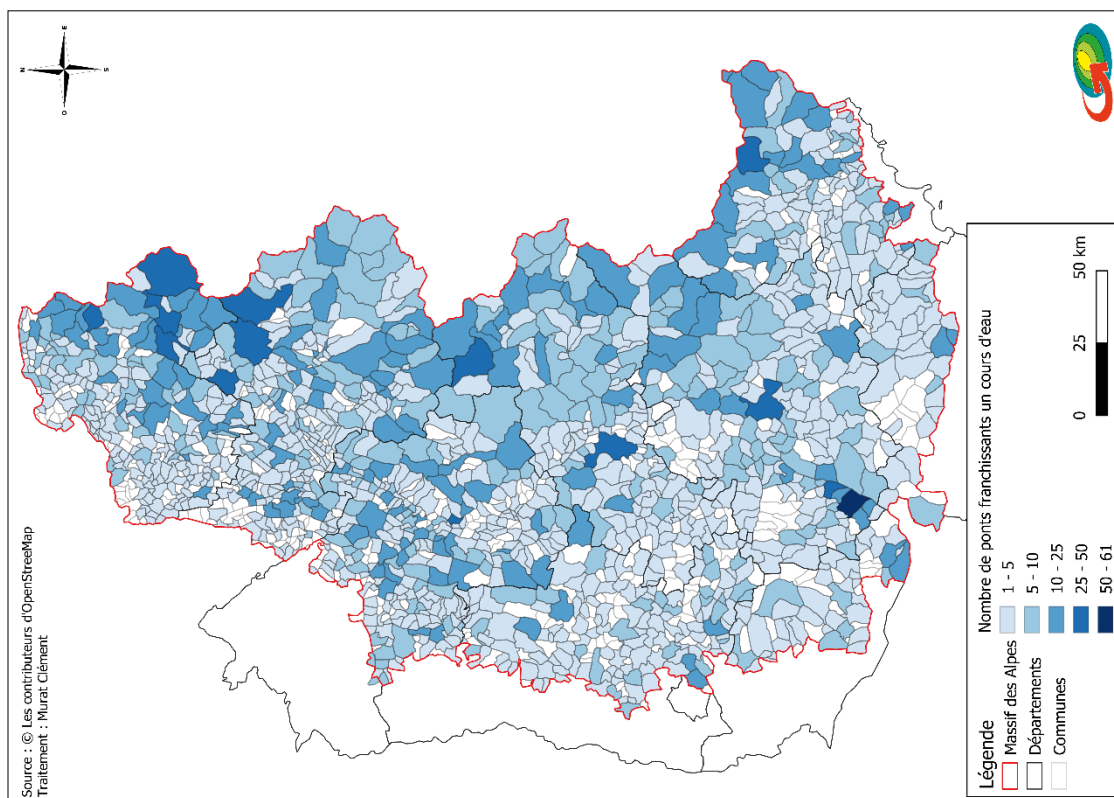


Cartes des altitudes du réseau routier des alpes des Haute Provence

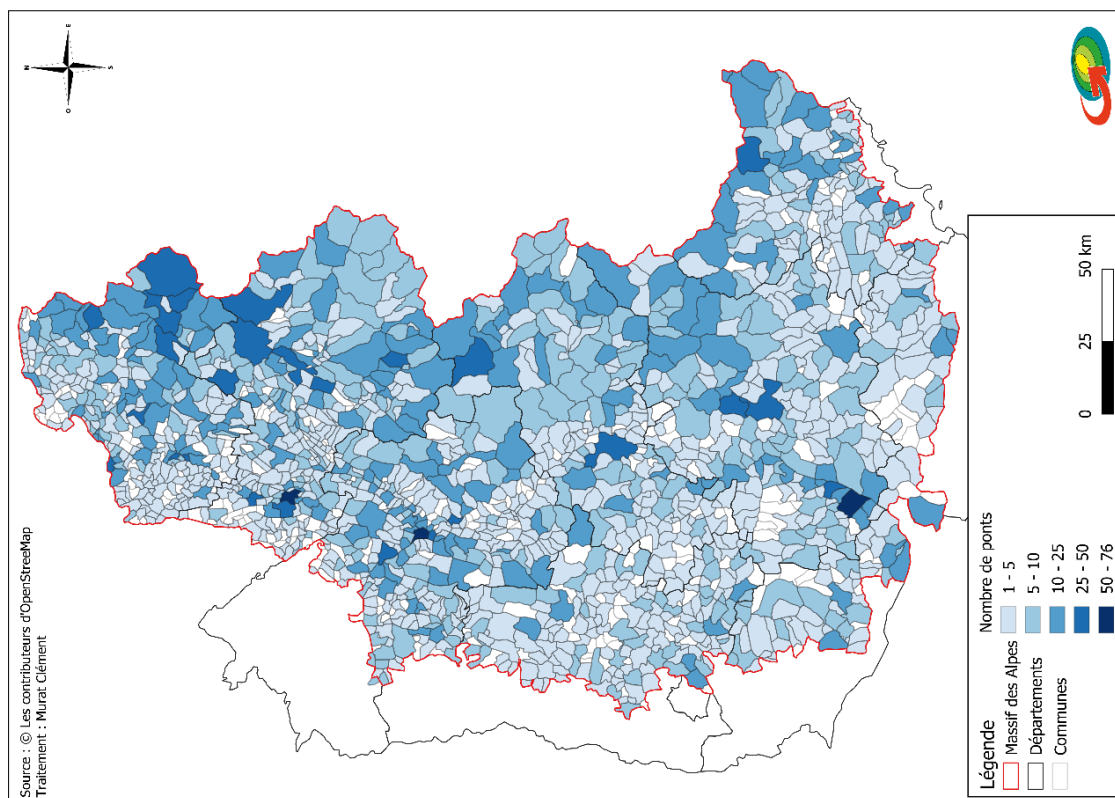




Carte du nombre de ponts franchissant un cours d'eau par communes



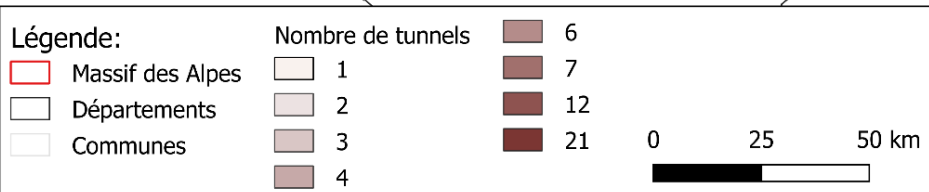
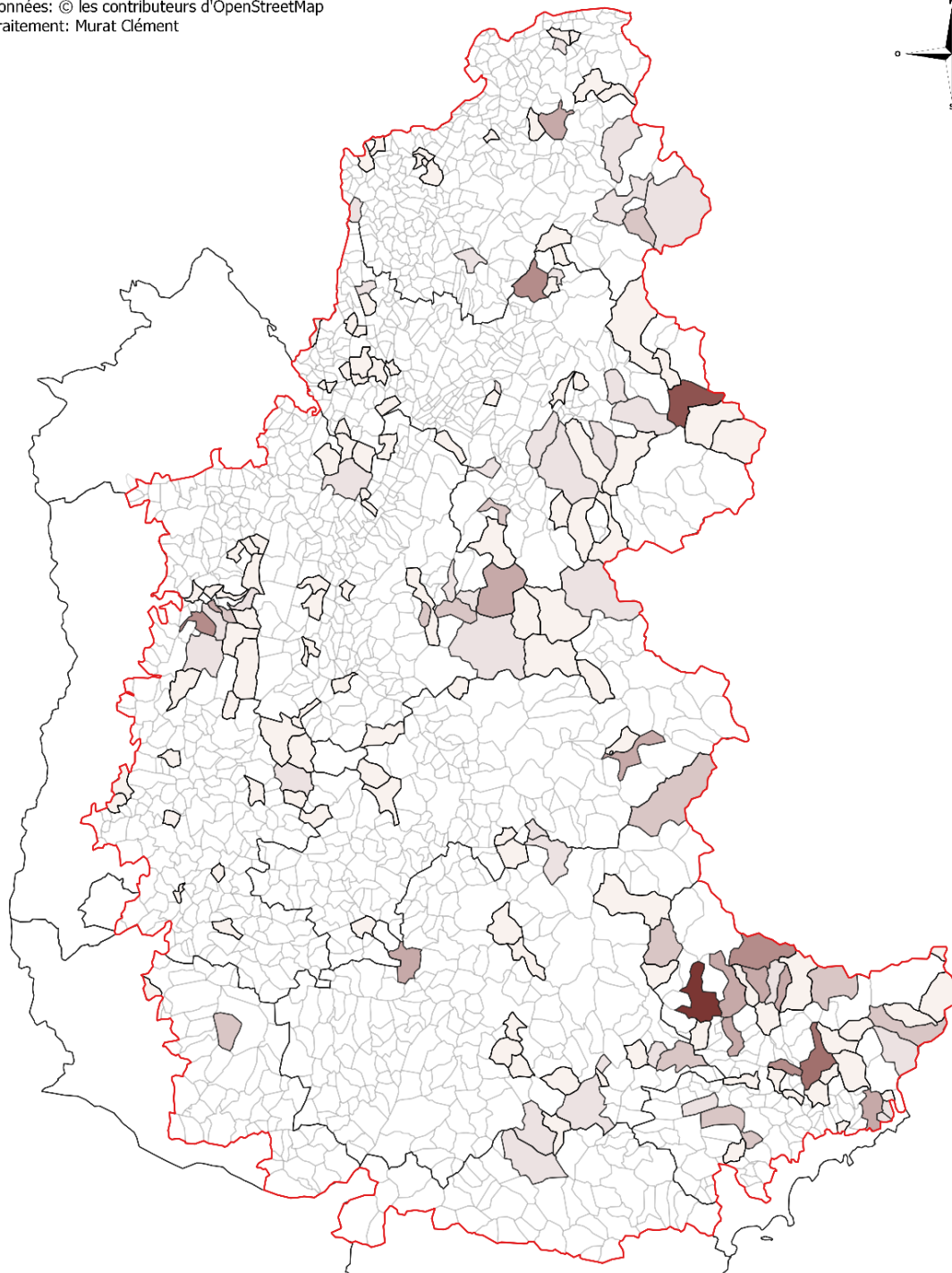
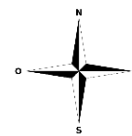
Carte du nombre total de ponts par communes





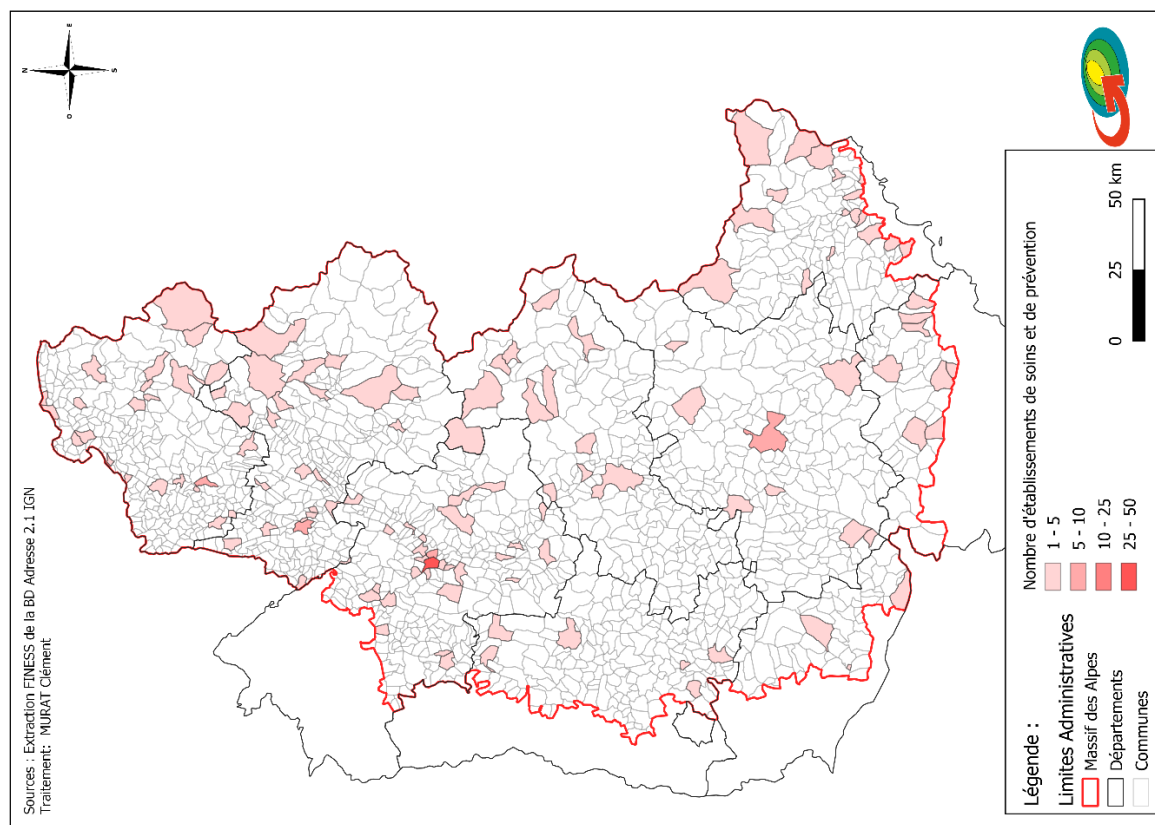
Carte du nombre de tunnels en terre et de protections par communes

Données: © les contributeurs d'OpenStreetMap
Traitement: Murat Clément

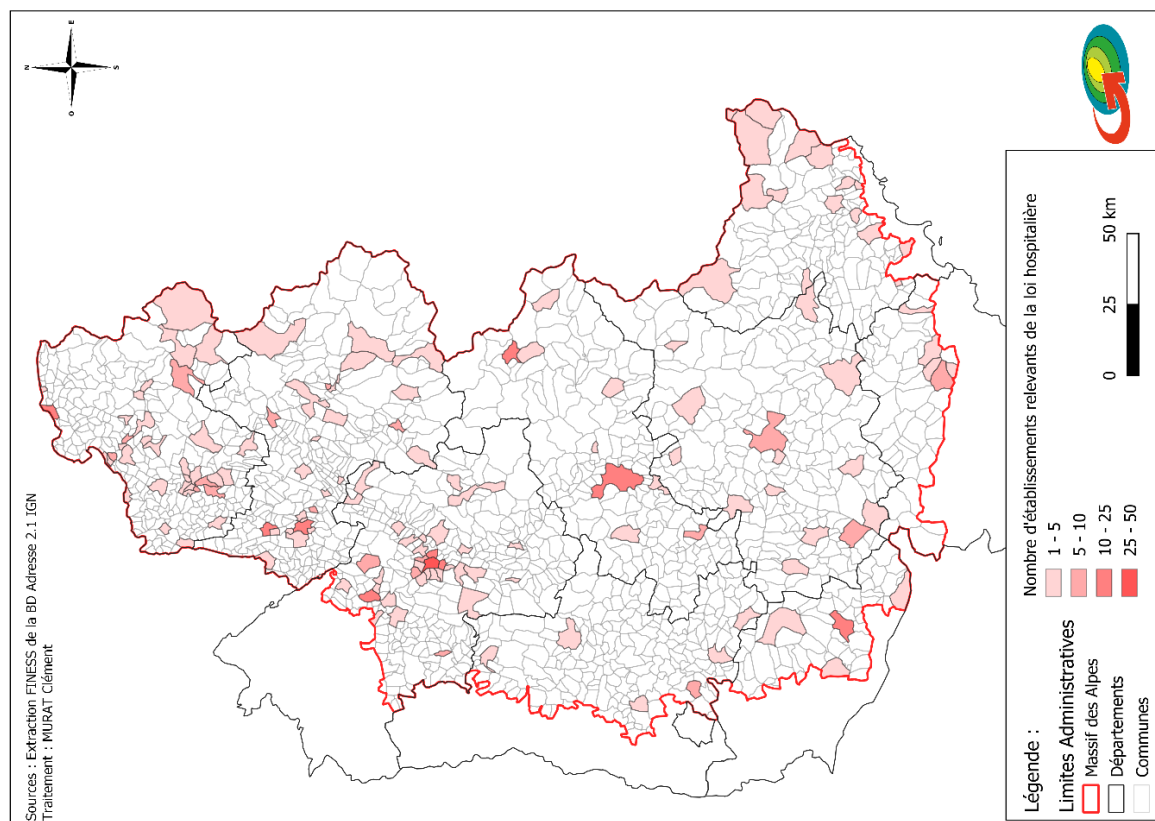




Carte du nombre d'établissements de soins et de prévention par communes

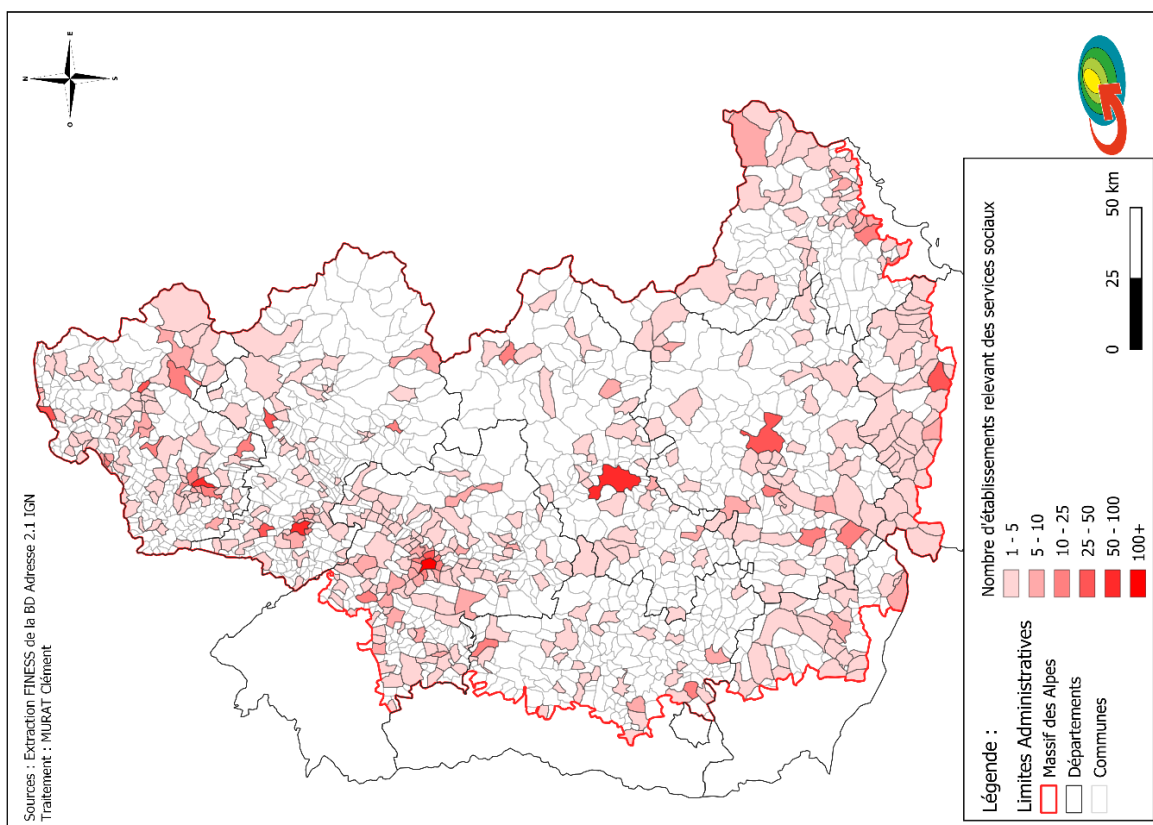


Carte du nombre d'établissements relevant de la loi hospitalière par communes

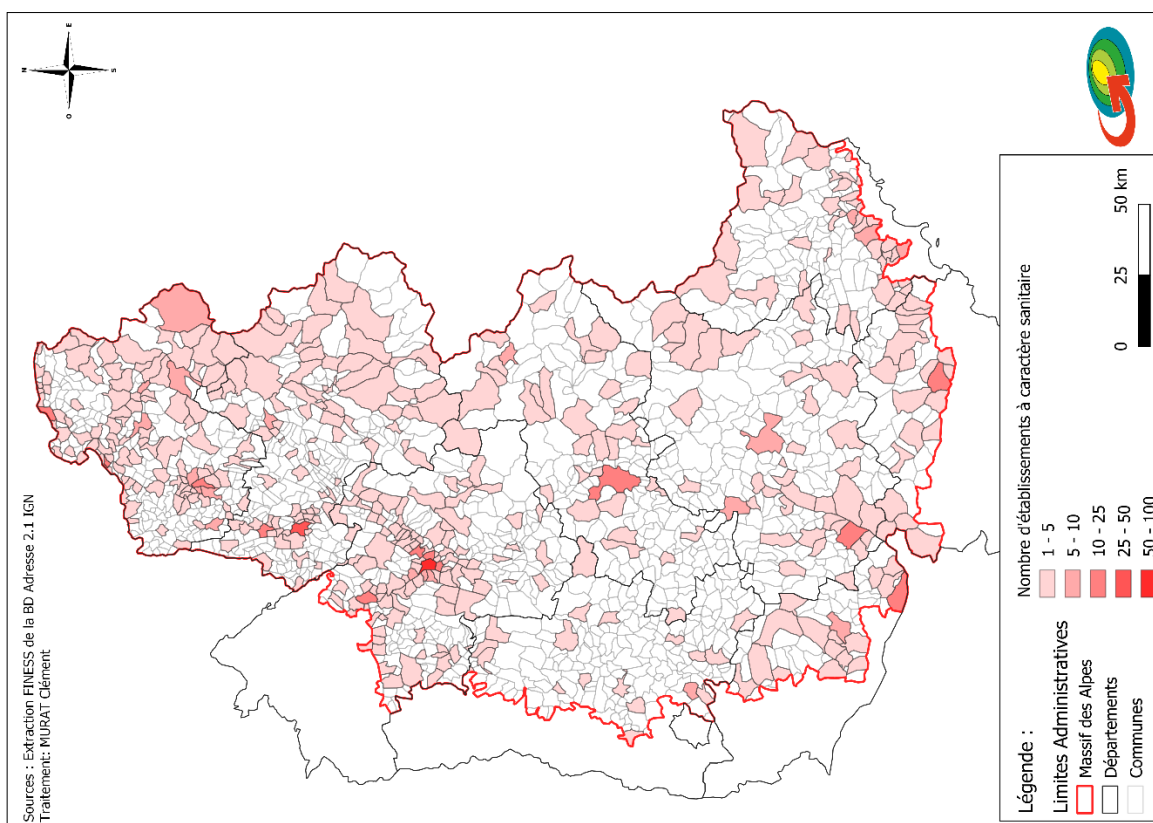




Carte du nombre d'établissements relevant des services sociaux par communes

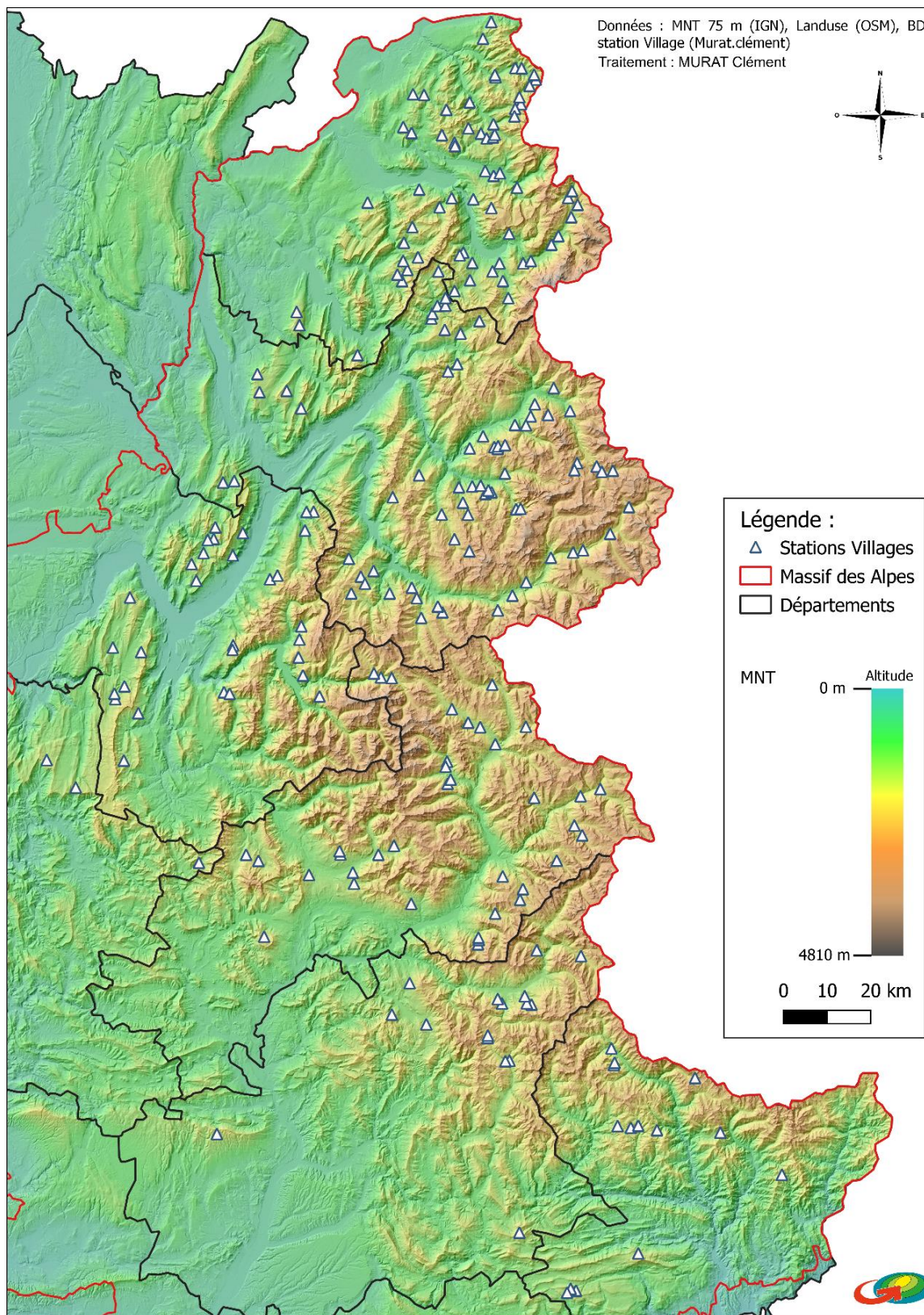


Carte du nombre d'établissements à caractères sanitaires par communes



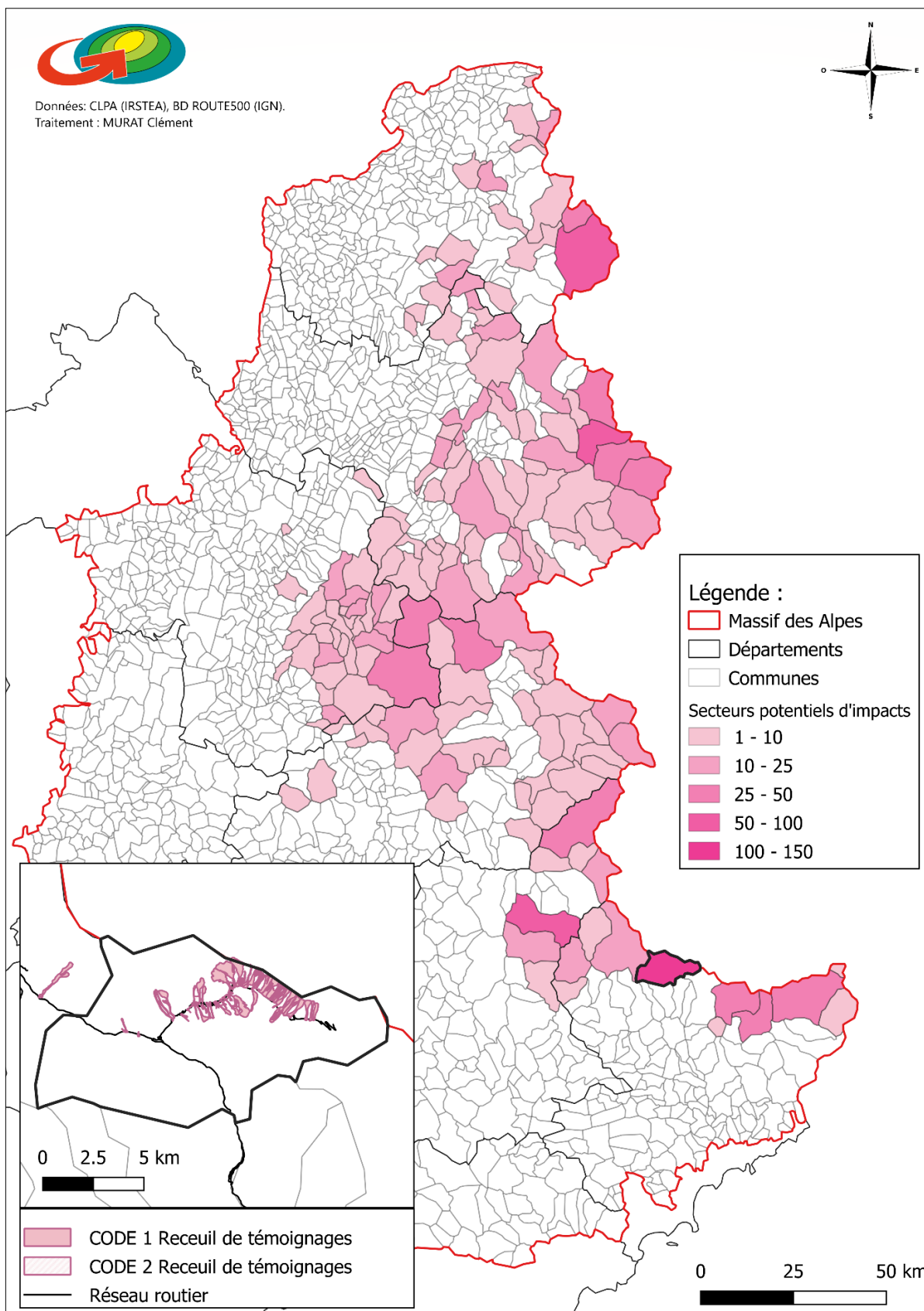


Cartes des stations-villages du massif des Alpes françaises



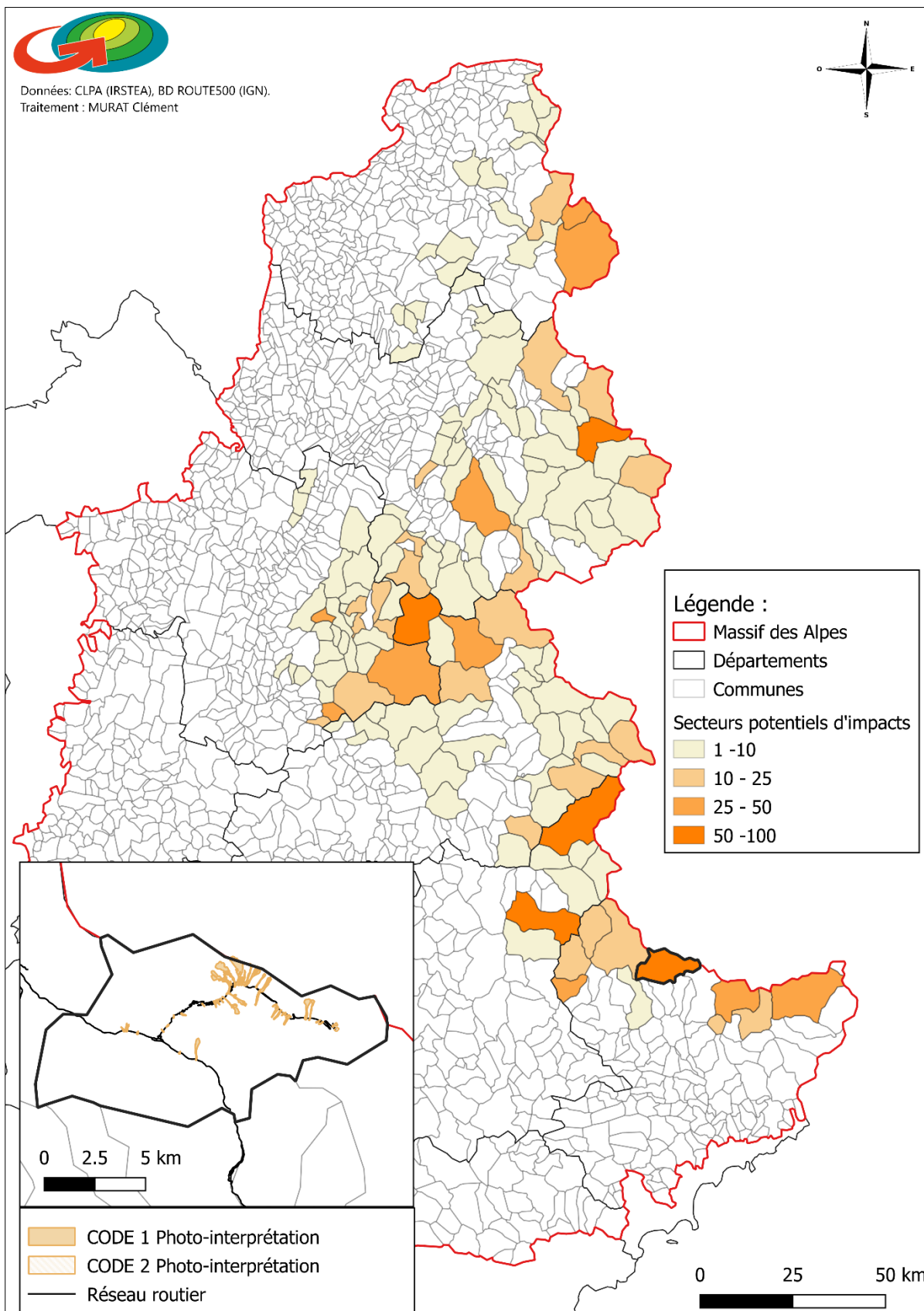


Carte du nombre d'intersections du recueil de témoignage (CLPA) avec le réseau routier par communes





Carte du nombre d'intersection de la photo-interprétation (CLPA) avec le réseau routier par communes





Carte de représentation des données issues de la BD blocs dans le secteur des gorges de l'Arly et à l'échelle de la Savoie (cartouche).

