



Source : SITG

Surchauffe urbaine et précarité

Quel lien spatial en Ville de Genève ?

Milena Paoluzzi

Octobre 2023

Faculté des sciences de la société

Certificat complémentaire en géomatique

Directeur : Prof. Hy Dao

Expert : Hugo Campi

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon directeur de mémoire en géomatique, Prof. Hy Dao. Son expertise et ses conseils m'ont été d'une grande aide tout au long de ce travail. Sa disponibilité a également été très appréciée.

Je souhaite également remercier Hugo Campi d'avoir accepté d'expertiser ce travail et de porter un intérêt aux questions géomatiques.

Merci à ma famille de m'avoir soutenue et relue avec enthousiasme.

RÉSUMÉ

Ce travail de mémoire en géomatique a pour objectif de mener un diagnostic croisé entre chaleur urbaine et précarité sur le territoire de la Ville de Genève. En effet, chaleur et inégalités socio-économiques ne se distribuent pas de façon homogène dans l'espace urbain créant respectivement des poches très chaudes et des poches socio-économiquement défavorisées. L'enjeu géomatique consiste à affiner l'échelle d'analyse au niveau le plus fin et pertinent possible, puis de combiner différents indicateurs de précarité à cette échelle fine et finalement de recourir à l'analyse spatiale, et plus particulièrement aux indicateurs locaux d'association spatiale (LISA) pour étudier la potentielle existence d'un lien spatial et statistique entre chaleur et précarité. Différentes cartes sont créées. On observe que les blocs urbains situés au centre de la commune enregistrent les valeurs de températures les plus chaudes. Au sujet des signes de précarité, on observe que la répartition est assez hétérogène, il ne semble pas exister de structure spatiale évidente. Toutefois, la rive droite semble cumuler davantage de blocs urbains désavantagés que la rive gauche. Ces constats sont vérifiés avec les agrégats spatiaux (I de Moran – Anselin) pour chaque dimension. Ensuite, concernant la combinaison de chaleur et précarité, il ressort que les blocs urbains les plus critiques se trouvent au centre de la commune et en plus grand nombre sur la rive droite. L'autocorrélation spatiale montre qu'il existe une structure spatiale présentant des points chauds et froids statistiquement significatifs. Ce travail a mobilisé des données MicroGIS de 2018, il pourrait être intéressant de reproduire cette analyse avec des données actualisées afin d'observer si les blocs urbains identifiés comme étant les plus critiques sont différents.

MOTS CLÉS : *Surchauffe urbaine, précarité, analyse spatiale, autocorrélation spatiale, LISA*

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE : NATURE, OBJECTIFS, INTÉRÊT DU TRAVAIL	11
2. CONCEPTS THÉORIQUES MOBILISÉS	14
2.1. LA PRÉCARITÉ	14
2.1.1. UNE DÉFINITION	14
2.1.2. MESURER LA PRÉCARITÉ	15
2.2. AUTOCORRÉLATION SPATIALE : LES LISA	16
3. DONNÉES	19
3.1. PROVENANCE DES DONNÉES	19
3.1.1. DONNÉES SITG (CLIMATIQUES)	19
3.1.2. DONNÉES MICROGIS (DÉCOUPAGE TERRITORIAL ET INDICATEURS SOCIO- ÉCONOMIQUES)	20
3.2. ACQUISITION DES DONNÉES	21
4. MÉTHODOLOGIE	22
4.1. SÉLECTION DES DONNÉES ET PRÉPARATION DES FICHIERS	22
4.2. ATTRIBUTION DE TEMPÉRATURE AUX BLOCS URBAINS	23
4.3. POPULATION	24
4.4. COMBINAISON D'INDICATEURS ILLUSTRANT LA SITUATION DE PRÉCARITÉ	25
4.5. DÉFINITION DES QUARTILES LES PLUS CHAUDS POUR LES DONNÉES CLIMATIQUES	27
4.6. RECHERCHE D'AGRÉGATS SPATIAUX SUR LES DIFFÉRENTES COUCHES – STATISTIQUES DE CONCENTRATION SPATIALE (<i>I DE MORAN – ANSELIN</i>)	28
4.7. CO-OCCURRENCES ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ	29
4.8. RECHERCHE D'AUTOCORRÉLATION SPATIALE ET STATISTIQUE : RECHERCHE DE POINTS CHAUDS	31
5. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS	32
5.1. CONTEXTE	32
5.2. LA TEMPÉRATURE DANS LES BLOCS URBAINS	36
5.3. LA PRÉCARITÉ DANS LES BLOCS URBAINS	37
5.4. LES AGRÉGATS SPATIAUX POUR LES INDICATEURS	41
5.5. CO-OCCURRENCES SPATIALES ENTRE CHALEUR ET PRÉCARITÉ	45
5.6. AUTOCORRÉLATION SPATIALE ET STATISTIQUE ENTRE CHALEUR ET PRÉCARITÉ	50
6. CONCLUSION CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS	53
7. BIBLIOGRAPHIE	54
8. ANNEXES	56

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Formule du <i>I</i> de Moran (Oliveau, 2010, p.53)	16
Figure 2 – Tableau descriptif des données SITG	19
Figure 3 – Tableau descriptif des données MicroGIS	20
Figure 4 – Schéma des étapes de préparation des données dans SIG	21
Figure 5 – Schéma des étapes pour attribuer les valeurs de température aux blocs urbains	22
Figure 6 – Schéma des étapes pour combiner les indicateurs mesurant la situation de précarité de chaque bloc urbain	24
Figure 7 – Schéma des étapes pour définir les blocs urbains les plus chauds	26
Figure 8 – Schéma des étapes pour la recherche d'agrégats spatiaux	27
Figure 9 – Schéma des étapes pour définir les co-occurrences entre chaleur et situation de précarité	29
Figure 10 – Schéma des étapes pour la recherche d'autocorrélation spatiale et statistique	30
Figure 11 – Carte des secteurs de la Ville de Genève	31
Figure 12 – Carte de la température moyenne ressentie en °C (PET)	32
Figure 13 – Carte de l'effet d'îlot de chaleur moyen en °C (ICU)	33
Figure 14 – Carte de la répartition de la population résidante communale dans les blocs urbains – classification en quartiles	34
Figure 15 – Carte de la température ressentie moyenne en °C (PET) – classification en quartiles	35
Figure 16 – Carte de l'effet d'îlot de chaleur moyen en °C (ICU) – classification en quartiles	35
Figure 17 – Carte du revenu médian annuel – classification en quartiles	36
Figure 18 – Carte de la proportion de personnes au chômage – classification en quartiles	37
Figure 19 – Carte de la proportion des personnes sans formation achevée – classification en quartiles	38
Figure 20 – Carte de la situation de précarité (combinaison d'indicateurs) – classification en quartiles	39
Figure 21 – Carte des agrégats spatiaux pour la température ressentie moyenne	41
Figure 22 – Carte des agrégats spatiaux pour l'effet d'îlot de chaleur	42
Figure 23 – Carte des agrégats spatiaux pour la situation de précarité	43
Figure 24 – Nombre d'observations par cas de figure – situation diurne	44
Figure 25 – Nombre d'observations par cas de figure – situation nocturne	44
Figure 26 – Carte des co-occurrences entre chaleur et situation de précarité de jour	45
Figure 27 – Carte des co-occurrences entre chaleur et situation de précarité de nuit	46
Figure 28 – Carte de la localisation des blocs urbains critiques de jour en Ville de Genève	47
Figure 29 – Carte de la localisation des blocs urbains critiques de nuit en Ville de Genève	48
Figure 30 – Carte de l'autocorrélation spatiale entre chaleur et précarité – situation diurne	50
Figure 31 – Carte de l'autocorrélation spatiale entre chaleur et précarité – situation nocturne	51

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE : NATURE, OBJECTIFS, INTÉRÊT DU TRAVAIL

Depuis la Révolution industrielle, la température sur terre a augmenté de façon constante (Youmatter, 2023). La cause de ce réchauffement réside dans les activités anthropiques, c'est-à-dire les activités humaines. Cette modification du climat global entraîne une multitude de conséquences, notamment une augmentation des vagues de chaleur (NCCS, n.d).

En ville, ces événements météorologiques sont aggravés par le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), soit l'augmentation des températures en milieu urbain par rapport aux espaces ruraux voisins. L'ICU est principalement le résultat de l'artificialisation des sols et de la diminution de la végétation. En effet, durant la journée, les matériaux présents en ville captent et absorbent la chaleur. Ceci participe à réchauffer la ville. Durant la nuit, cette chaleur va être libérée, ce qui ne permet pas à l'air urbain de se rafraîchir comme cela est le cas en zone rurale avec l'évapotranspiration de la végétation. Ainsi, c'est durant la nuit que sont enregistrées les plus grandes différences de températures entre zone urbaine et zone rurale voisine (Masson et al., 2020). A l'échelle de la ville, on peut observer des variations intra-urbaines. Il existe des différences de température à des échelles très fines comme celle du quartier, de la rue, voire du bâtiment. Les effets microclimatiques peuvent ainsi être très localisés.

De manière générale, la littérature sur le climat urbain est riche. Malgré la complexité des phénomènes à l'œuvre, les processus physiques participant à la formation du climat urbain, et notamment de l'ICU, sont bien identifiés. Dans le canton de Genève, l'analyse climatique faite par l'entreprise GÉO-NET semble le confirmer. En effet, cette modélisation spatialise les températures actuelles et projetées jusqu'en 2100 avec une résolution spatiale de 10m (Département du territoire (DT) & Direction de la durabilité et du climat (DCC), 2020). Toutefois, ces riches analyses méritent d'être croisées avec la réalité sociale du territoire. Il est important de comprendre si ces territoires abritent des populations humaines car la chaleur affecte leur santé et dans les années à venir, le confort thermique des habitants du canton va se dégrader. La notion de confort thermique représente la sensation de bien-être thermique d'un individu. Le corps humain adapte en permanence sa température interne en fonction de la température externe. S'il fait trop chaud ou trop froid, le corps peine à s'adapter et l'individu ressent un inconfort thermique. Le confort thermique est influencé par différents facteurs : la température de l'air (généralement confortable entre 20 et 25°C) mais aussi l'humidité et la vitesse de l'air qui peuvent modifier la perception de la température réelle. D'autres éléments comme l'isolation thermique du bâtiment, l'activité physique et l'habillement jouent un rôle dans le confort thermique. Le ressenti de température est très subjectif et dépend de chacun. En effet, la tolérance à la chaleur est propre à chaque personne (IAU, 2010).

Au-delà du ressenti thermique dépendant de chacun, certains facteurs renforcent la vulnérabilité face à la chaleur. En effet, sur le plan physiologique, les personnes âgées, les jeunes enfants, les personnes souffrant de maladies chroniques respiratoires et cardiovasculaires ainsi que les femmes enceintes sont les plus vulnérables. Mais d'autres facteurs influencent la vulnérabilité face à la chaleur comme l'isolement social ou le niveau socio-économique (Harlan et al., 2006).

Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse à ce dernier facteur de vulnérabilité. Dans une société les ressources ne sont pas réparties équitablement entre les individus. Les inégalités socio-économiques correspondent ainsi à des disparités dans la répartition des ressources et des opportunités au sein d'une société (Géoconfluences, 2023). Elles dépendent du niveau socio-économique des individus. Celui-ci se définit sur la base d'indicateurs variés et complémentaires tel que le revenu, de l'éducation, d'emploi. A ces critères classiques peuvent s'ajouter d'autres critères comme l'accès aux soins de santé par exemple (Oxford Reference, n.d.).

Il faut noter que, comme la chaleur, les différents groupes socio-économiques ne se distribuent pas de façon homogène dans l'espace. La stratification de la société s'inscrit dans le territoire urbain et crée des poches diversifiées en son sein. La littérature montre, dans différents contextes (USA, Canada, France), qu'à l'échelle de la ville, les personnes issues de milieux défavorisés tendent à vivre dans les quartiers aux températures les plus élevées. Ce sont souvent des quartiers dans lesquels la végétation est rare. Les personnes vivant dans ces quartiers sont contraintes, par manque de moyens économiques, d'y rester (Klinenberg, 2002 ; Cadot et Spira, 2006 ; Benz et Burney (2020) Fan et Sengupta, 2021).

Ainsi, sur la base des éléments mentionnés, ce travail de Certificat en géomatique cherche à mener un diagnostic sur le territoire de la Ville de Genève afin d'identifier si et comment chaleur et situation de précarité se recourent. La question de recherche guidant ce travail est la suivante :

Existe-t-il une correspondance spatiale entre chaleur urbaine
et situation de précarité en Ville de Genève ?

L'intérêt de ce travail consiste à approfondir les analyses de l'inconfort thermique déjà réalisées à l'échelle du canton par GÉO-NET en tenant compte de la population habitant ce territoire. En effet, la population humaine est particulièrement vulnérable à la chaleur comme énoncé plus haut. Une situation de précarité élevée représente un facteur aggravant la vulnérabilité face à la chaleur. Il est donc pertinent de comprendre où se localisent les

populations les moins favorisées. Un diagnostic de ce type permet ensuite d'orienter les mesures et stratégies d'atténuation et d'adaptation face à la chaleur urbaine en fonction des « besoins » du territoire et des personnes qui l'habitent. En ce sens, en 2022, la Ville de Genève adopte sa Stratégie Climat portée par le Service d'urbanisme et le Service Agenda 21. La mesure 51 postule qu'il faut « *prioriser la réduction des îlots de chaleur dans les quartiers à forte précarité afin de diminuer les inégalités socio-économiques face au dérèglement climatique. D'ici 2030, tous les quartiers concernés ont bénéficié de mesures pour réduire l'îlot de chaleur urbain.* » (Ville de Genève, 2022). Ainsi, dans l'idée, ce travail d'analyse peut permettre d'orienter l'opérationnalisation de cette mesure. L'objectif du travail est d'étudier toutes les occurrences possibles entre chaleur élevée-faible et situation de précarité élevée-basse.

En termes d'enjeux géomatiques, l'objectif est d'affiner l'analyse au niveau le plus fin et pertinent possible. Comme mentionné en amont, il existe des variations climatiques intra-urbaines. L'idée est de comprendre, de manière la plus fine possible, où se localisent les poches de chaleur. Puis, il s'agit de considérer la présence humaine, en considérant la situation de précarité des habitants. Concernant le découpage territorial, le canton de Genève est découpé par sous-secteurs statistiques (GIREC). Ils couvrent une entité territoriale à une échelle intermédiaire entre la parcelle et la commune (DIT, 2023). Toutefois, dans le cadre de ce travail, il serait pertinent de travailler à une échelle plus fine que le sous-secteur GIREC. L'entreprise privée MicroGIS propose d'autres découpages territoriaux, notamment les « *Swiss Neighborhoods* ». Ce découpage à l'échelle des îlots représente l'échelon opérationnel le plus fin. Les unités correspondent à des blocs urbains (MicroGIS, n.d). Mener une analyse à cette échelle semble intéressant par la finesse qu'elle apporte. Cela permet de localiser les blocs urbains vulnérables au vu de la population qui y vit.

L'analyse climatique sur le canton de Genève réalisée par GÉO-NET a traité la donnée avec une résolution de 10m. Ainsi, l'objectif consiste attribuer une valeur de température moyenne à chaque bloc urbain sur la base du découpage territorial MicroGIS. Ceci permet de mener une analyse croisée entre la température et les données socio-économiques dans la mesure où ces dernières sont disponibles à l'échelle du bloc urbain. Il s'agit ainsi d'analyser la structure spatiale à l'échelle communale. On cherche à comprendre s'il existe une autocorrélation spatiale entre situation de précarité élevée bas et blocs urbains les plus chauds.

Plus précisément, il s'agit dans un premier temps d'attribuer les données climatiques au niveau d'analyse choisi (bloc urbain). Puis, une deuxième partie consiste à étudier la structure spatiale

des données afin de voir si des *hots spots* se démarquent sur le territoire communal (indicateurs LISA/autocorrélation). Les résultats sont illustrés de façon cartographique.

A titre personnel, l'intérêt de traiter de cette thématique s'inscrit dans la continuité d'un stage effectué au Service d'urbanisme de la Ville de Genève. Au cours de celui-ci, la question du potentiel lien entre ICU et précarité a été mentionnée. Ce sujet a retenu mon attention par son actualité ainsi que par le lien qu'il me permet de faire avec ma formation précédente en géographie sociale. Ce travail me permet également de faire le pont avec mon mémoire de Master en développement territorial dans lequel je traite la question de la surchauffe urbaine et des adaptations possibles tant du point de vue des techniciens que des individus à l'échelle de la Ville de Genève.

La suite du travail présente, en premier lieu, les concepts théoriques mobilisés, puis les données utilisées et la méthodologie. Ensuite les résultats sont présentés et discutés avant de conclure.

2. CONCEPTS THÉORIQUES MOBILISÉS

2.1. LA PRÉCARITÉ

2.1.1. UNE DÉFINITION

Pauvreté et précarité sont souvent utilisées comme synonymes, elles représentent toutefois des réalités bien différentes. Ces notions n'apparaissent pas au même moment dans la discipline sociologique. En effet, c'est au XIX^{ème} siècle avec la Révolution industrielle et tous les changements sociaux qu'elle induit que la sociologie naît pour analyser ces mutations. La discipline se focalise sur les conditions de vie de la classe ouvrière. On parle alors de pauvreté. Au cours du XX^{ème} siècle, la question de la pauvreté ne représente pas l'objet central en sociologie. De plus, avec la modernisation et l'enrichissement de la population durant les Trente Glorieuses, la thématique semble être moins dans l'air du temps. Toutefois, à partir des années 1980 une nouvelle forme de pauvreté émerge. Elle est le résultat du chômage de masse, de l'exclusion sociale croissante, de la généralisation de la précarisation et de la crainte des violences urbaines. C'est donc à ce moment qu'on commence à parler de précarité (Bresson, 2020).

La précarité représente une notion complexe. Elle peut être définie comme « *un état d'instabilité sociale caractérisé par l'absence d'une ou de plusieurs sécurités, notamment celle de l'emploi, permettant aux personnes et aux familles d'assumer leurs obligations professionnelles, familiales et sociales, et de jouir de leurs droits fondamentaux* ». La précarité est multidimensionnelle. En effet, une situation de précarité se développe « *lorsque les*

conditions concernant le niveau socio-économique, l'habitat, les réserves financières, le niveau culturel, d'instruction et de qualification professionnelle, les moyens de participation associative, syndicale et politique, sont défavorables » (Warinski, 1987 in Desarzens & Eichenberger, 2017). On comprend alors que la précarité se définit sur la base de différents facteurs pouvant engendrer une situation de vulnérabilité dans la société dans laquelle vit un individu ou un groupe.

2.1.2. MESURER LA PRÉCARITÉ

Différentes façons de mesurer la précarité ont été développées dans des contextes variés. On s'intéresse ici à une méthodologie appliquée au Canton de Genève. Le Centre d'analyse territoriale des inégalités à Genève (CATI-GE) a été constitué dans le cadre de la Politique de cohésion sociale en milieu urbain (PCSMU) dans le but d'identifier et mettre en évidence les communes et sous-secteurs du canton de Genève présentant de fortes inégalités socio-économiques. L'objectif est de considérer différentes thématiques se rapportant à la précarité. Pour mesurer cette dernière, le CATI-GE identifie dix indicateurs de base traitant des thèmes suivants : revenu, éducation, emploi/chômage, protection sociale et logement. Les indicateurs complémentaires comprennent la santé, l'environnement urbain et la sécurité.

La méthodologie retenue dans le cadre de cette analyse comporte deux étapes. La première étape vise à définir les quartiles les plus défavorables pour chaque indicateur (base et complémentaire). Ainsi, selon les jeux de données, le premier quartile (Q1¹) ou le troisième quartile (Q3²) sont mis en évidence. En effet, par exemple pour le revenu annuel brut médian, c'est le premier quartile (Q1), qui représente le 25% des valeurs les plus basses du jeu de données qui sont sélectionnées, car un revenu bas désigne une situation plus défavorisée qu'un revenu élevé. Au contraire, si l'on s'intéresse au taux de chômage, le dernier quartile est mis en évidence car il représente le 25% des valeurs les plus élevées du jeu de données et donc les taux de chômage les plus élevés.

La seconde étape consiste à identifier les communes et sous-secteurs genevois qui réunissent le plus de signes de précarité. Pour ce faire, les indicateurs sont additionnés. Ceci permet d'obtenir, pour chaque communes et sous-secteurs, le nombre d'indicateurs rencontrés (allant de 0 à 6). Le CATI-GE considère que la situation devient critique lorsqu'au moins quatre indicateurs sont rencontrés. Ces sous-secteurs sont ceux qui doivent être considérés de façon prioritaire.

¹ « Q1 : la valeur de la variable, telle que l'effectif des valeurs qui lui sont inférieures représentent 25% des données de l'effectif total. » (CATI-GE, 2020, p.18)

² « Q3 : la valeur de la variable, telle que l'effectif des valeurs qui lui sont supérieures représentent 25% des données de l'effectif total. » (CATI-GE, 2020, p. 18)

Ainsi, la méthode d'analyse repose sur la combinaison d'un ensemble d'indicateurs permettant d'identifier les communes sous-secteurs statistiques défavorisés et de les représenter de façon cartographique. Une méthode de scores semblable est également utilisée par l'Office cantonal de la statistique (OCSTAT). La précarité est le résultat d'une addition de signes de précarité. Ainsi, plus ces signes sont nombreux, plus la précarité est considérée comme élevée (OCSTAT, 2012).

2.2. AUTOCORRÉLATION SPATIALE : LES LISA

L'analyse spatiale est une approche géographique qui met au centre la question de la localisation (Bavoux, 2009). L'analyse spatiale vise à étudier des phénomènes en examinant, évaluant, modélisant les caractéristiques de données spatiales. Ces caractéristiques peuvent être l'emplacement, les attributs ou les relations entre données. L'enjeu est de faire apparaître des structures, des fonctionnements et des dynamiques se jouant dans l'espace.

Le principe de base en analyse spatiale est que *« l'espace, par-delà ses disparités structurelles et texturales, a une architecture, un minimum d'ordre géographique, compréhensible même s'il est flou et fluctuant. Postulant que la localisation a ses règles, partout observables, elle décompose et reconstitue la logique interne des systèmes spatiaux »* (Bavoux, 2009). L'analyse spatiale mobilise différentes techniques qui relèvent de la mathématique, géométrie, statistique, physique mais aussi de la modélisation et la systémique (Bavoux, 2009). Il existe donc différentes méthodes en analyse spatiale.

Dans le cadre de ce travail, on mobilise l'autocorrélation spatiale et plus précisément les indicateurs locaux d'association spatiale (LISA). Les paragraphes suivants décrivent ces méthodes d'analyse.

Sébastien Oliveau (2010) affirme que les données analysées en sciences sociales possèdent une structure spatiale. Cette dernière n'est pas *« le fruit du hasard »* (Oliveau, 2010). Cette organisation spatiale des phénomènes sociaux peut être étudiée grâce à l'autocorrélation spatiale. Celle-ci *« mesure la corrélation d'une variable avec elle-même, lorsque les observations sont considérées avec un décalage [...] dans l'espace »* (Bouayad et De Bellefon, 2018, p.54).

Sur le plan statistique, nombreuses sont les analyses qui se basent sur l'hypothèse d'indépendance des variables. Toutefois, cette hypothèse n'est pas respectée lorsqu'une variable est spatialement autocorrélée. La structure spatiale, qui désigne *« l'ensemble des liens grâce auxquels le phénomène autocorrélé va se diffuser »* (Bouayad et De Bellefon, 2018,

p.54) et l'autocorrélation spatiale ne peuvent exister de manière indépendante. On ne peut observer empiriquement la structure spatiale sans qu'il y ait un processus autocorrélé significatif.

Concernant la structure spatiale, différents cas de figures existent. On peut être en présence :

- D'une autocorrélation spatiale positive : les valeurs similaires d'une variable sont regroupées dans l'espace
- D'une autocorrélation spatiale négative : les valeurs dissemblables d'une variable sont regroupées dans l'espace (les lieux proches sont plus dissemblables que des lieux éloignés)
- D'une absence d'autocorrélation spatiale : la répartition spatiale des observations est aléatoire

Les indices d'autocorrélation spatiale visent à décrire la structure spatiale d'un phénomène en supposant que la relation entre voisins serait plus marquée que la relation avec le reste du groupe. Ces indices sont développés à partir des années 1950. Moran et Geary amorcent le mouvement respectivement en 1950 et 1954 mais c'est réellement à partir des années 1970 que ces indices se diffusent hors du champ de la statistique grâce à Cliff et Ord (Oliveau, 2010). Différentes statistiques et indices existent mais l'Indice de Moran est le plus robuste d'entre eux. Il calcule le rapport de la covariance sur la variance. Sa forme est donc proche de celle du coefficient de corrélation. L'I de Moran postule que plus le nombre de voisins est élevé, plus l'individu a de poids dans la matrice de pondération (Oliveau, 2010).

Figure 1 – Formule du I de Moran (Oliveau, 2010, p.53)

$I \text{ de Moran} = \frac{\text{cov}}{\text{var}}$ soit $\text{cov} + \text{var}$

$I \text{ de Moran} = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{m} \div \frac{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}{n}$

$I \text{ de Moran} = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{m} \times \frac{n}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}$

$I \text{ de Moran} = \frac{n}{m} \times \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}$

Nous nous situons dans un univers de statistiques spatiales, les lettres x et y sont réservées aux coordonnées des individus.

z_i = valeur de la variable au point i et de moyenne \bar{z}

i = individu

j = voisins des individus i .

n = nombre total d'individus dans l'échantillon

m = nombre total de paires de voisins

w = matrice de pondération (matrice de voisinage), dont les éléments prennent, par exemple, la valeur 1 pour les i, j voisins et 0 autrement. La matrice de pondération est généralement indiquée par la lettre w_{ij} , pour *weights* (poids en anglais).

L'I de Moran est un indice global. Sa limite réside dans l'incapacité à analyser la structure spatiale de manière plus fine. Ainsi, l'I de Moran mais également les autres indices globaux ont ensuite été adaptés en indices locaux afin de rendre compte de l'autocorrélation spatiale

à un niveau local. On retient les apports de Getis et Ord en 1992 qui construisent les statistiques G_i et G_i^* ainsi que les indicateurs locaux d'association spatiale (*Local Indicators of Spatial Association* – LISA) de Luc Anselin en 1995. Les LISA sont des indices locaux pouvant être transformés en indices globaux. En effet, l'adaptation de Anselin consiste en une désagrégation des indices globaux existants, soit I de Moran ou c de Geary (Oliveau, 2010).

Ces indicateurs mettent en lumière des associations locales de valeurs (Oliveau, 2010) et permettent « *de mesurer l'intensité et la significativité de la dépendance locale entre la valeur d'une variable dans une unité spatiale et les valeurs de cette même variable dans les unités spatiales environnantes* » (Bouayad et De Bellefon, 2018, p.66). On peut, grâce à ces indicateurs, détecter des *clusters* significatifs et repérer des zones qui ne suivent pas le processus global.

Avec les LISA, on obtient une estimation de la ressemblance de chaque individu avec ses voisins par rapport à l'ensemble de l'échantillon. Ce résultat peut être représenté sous forme de nuage de points avec les valeurs de la variable en abscisse et les valeurs moyennes de la variable pour les individus voisins en ordonnée résultant en quatre quadrants :

- Les quadrants 1 et 3 correspondent à une autocorrélation spatiale positive indiquant que les voisins se ressemblent.
- Les quadrants 2 et 4 correspondent à une autocorrélation spatiale négative indiquant que les voisins sont dissemblables.

Les valeurs faibles des individus se trouvent à gauche et des valeurs fortes des individus à droite. Les valeurs de voisinages élevées sont en haut alors que des valeurs des voisinages faibles sont en bas (Bouayad et De Bellefon, 2018).

De plus, en effectuant un test de significativité on peut éliminer les individus dont l'autocorrélation spatiale locale n'est pas statistiquement significative. Ceci résulte en cinq classes :

- *Les individus où la variable étudiée présente une valeur forte dans un voisinage qui lui ressemble (autocorrélation spatiale positive et valeur de l'indice élevé), situation résumée en « plus-plus » (high-high) → ce sont des hot spots*
- *Les individus où la variable étudiée présente une valeur faible dans un voisinage qui lui ressemble (autocorrélation spatiale positive et valeur de l'indice faible), situation résumée en « moins-moins » (low-low) → appelés cold spots*

- Les individus où la variable étudiée présente une valeur forte dans un voisinage qui ne lui ressemble pas (autocorrélation spatiale négative et valeur de l'indice élevé), situation résumée en « plus-moins » (high-low) → spatial outliers
- Les individus où la variable étudiée présente une valeur faible dans un voisinage qui ne lui ressemble pas (autocorrélation spatiale négative et valeur de l'indice faible) Situation résumée en « moins-plus » (low-high) → spatial outliers
- Les individus aux valeurs non significatives (des individus dont les valeurs et les valeurs de leurs voisins sont proches de la moyenne de l'échantillon total)

Il est évident que la définition du voisinage influence le résultat de l'analyse. Oliveau (2010) distingue trois méthodes. Celle de la distance, celle de la contiguïté et celle de la proximité (plus proches voisins) qui se basent respectivement sur des critères de distance, d'ordre de contiguïté et de nombres de voisins considérés. Chacune des méthodes présente des avantages et inconvénients à considérer selon le cas d'étude.

Dans le cadre de ce travail, il est question dans un premier temps d'attribuer une valeur de température à chaque bloc urbain. Puis, il s'agit de faire une analyse de concentration spatiale pour chaque dimension : données climatiques et données socio-économiques. Puis, une corrélation entre indicateurs climatiques et de précarité sera faite pour voir s'il existe des points chauds en Ville de Genève. Ceux-ci représenteraient alors les points prioritaires dans une politique visant à limiter les ICU. Ces étapes sont réalisées les unes après les autres. D'abord, l'attribution d'une température moyenne pour chaque bloc urbain. Ensuite la combinaison d'indicateurs démontrant la situation de précarité. Puis, l'analyse des agrégats spatiaux pour chaque dimension et finalement le croisement de ces dimensions entre-elles afin d'observer s'il existe des points chauds.

3. DONNÉES

3.1. PROVENANCE DES DONNÉES

Afin de mener les analyses pour tenter de répondre à la question de recherche, différentes données sont nécessaires. Il faut rassembler des données relatives au climat urbain, plus précisément des données de température, mais aussi des données permettant d'illustrer la précarité. De plus, dans le cadre de ce travail, le choix du découpage territorial représente une information importante. Ainsi, les données utilisées pour réaliser ce travail proviennent de différentes sources.

3.1.1. DONNÉES SITG (CLIMATIQUES)

Les données de température proviennent de l'analyse climatique réalisée par GÉO-NET. Elles sont disponibles en *open data* sur le SITG. Elles ont donc été récupérées via cette plateforme. La taille des données étant conséquente, il a fallu faire une demande sur le site SITG, puis les données ont été transférées via une plateforme de partage de fichiers.

L'entreprise GÉO-NET a produit des analyses et données sur des horizons temporels différents. Une distinction importante entre jour et nuit est faite. C'est pourquoi les analyses seront reproduites à deux reprises, une fois pour la situation diurne, une fois pour la situation nocturne. Ceci permet d'observer si les potentiels points chauds varient entre jour et nuit. Dans les deux cas, les données représentent un « épisode estival autochtone » (DT & DCC, 2020, p.9).

Figure 2 – Tableau descriptif des données SITG

Variable	Code	Description
Situation diurne	CLIMAT_PET_14H00_P1.tif	Température ressentie (PET1) pour la période 2020-2049
Situation nocturne	CLIMAT_ILOT_CHALEUR_4H00_P1.tif	Effet d'îlot de chaleur (écart en °C avec la pelouse) pour la période 2020-2049

La première couche représente la température physiologique équivalente (PET) à 14h. Ceci correspond à la charge thermique ressentie par l'organisme. En effet, elle considère la température mais aussi l'humidité de l'air, la vitesse du vent et les flux de rayonnement solaire. Tous ces éléments participent au ressenti thermique de l'humain, soit la température que l'on ressent (DT & DCC, 2020). La température est mesurée à 1,1m du sol (DT & DCC, 2020).

La deuxième couche illustre, à 4h du matin lors d'une nuit d'été autochtone, l'écart en degré (°C) avec la pelouse en tenant compte des paramètres suivants : les processus d'air froid, la direction des vents, les zones de processus, de génération ou d'impact de l'air froid (DT & DCC, 2020). La température est mesurée à 2m du sol (DT & DCC, 2020).

Ces données ont été modélisées sur la base du scénario RCP8.5 du GIEC, soit le plus grave des scénarios. Celui-ci postule que les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas réduites, car c'est la tendance que suivaient les émissions au moment de réalisation de l'analyse. Les deux couches sont en format raster avec une résolution spatiale de 10m.

3.1.2. DONNÉES MICROGIS (DÉCOUPAGE TERRITORIAL ET INDICATEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES)

L'un des enjeux de ce travail géomatique consiste à affiner l'échelle d'analyse au niveau le plus fin et pertinent possible. Pour ce faire, il a fallu trouver un découpage du territoire plus fin que les découpages administratifs officiels (sous-secteurs GIREC). MicroGIS propose des découpages d'analyses complémentaires aux découpages administratifs. Ainsi, le découpage le plus fin proposé par la société est le découpage en îlots (*NB Neighborhoods*). Ces derniers représentent des blocs urbains. C'est donc ce découpage qui a été retenu. La donnée est en

format vectoriel (1 bloc urbain = 1 polygone). La taille de ces polygones ainsi que leur composition peut varier.

L'intérêt de travailler avec les données MicroGIS réside dans le fait que les « *jeux de données géographiques assurent une correspondance parfaite avec les jeux de données statistiques* » (MicroGIS, n.d.). Ainsi, les données statistiques sont disponibles pour chaque bloc urbain.

Pour l'analyse, les données statistiques proviennent de MicroGIS. Sur la base du catalogue de données, trois variables ont été retenues. Ces variables sont des indicateurs socio-économiques permettant de mesurer la précarité. Il s'agit du revenu médian, du niveau d'éducation et l'activité professionnelle. La variable démographique a également été considérée. Les données MicroGIS sont issues de recensements de l'Office fédéral de la statistique (OFS). Celles-ci sont ensuite retravaillées pour les faire correspondre à différentes échelles spatiales. Les données utilisées dans ce travail proviennent de l'édition 2018 de MicroGIS, basée sur des chiffres de recensements fédéraux datant de 2014 et 2016. Les variables sont décrites dans le tableau suivant (Figure 3).

Figure 3 – Tableau descriptif des données MicroGIS

Variable	Code	Description
Découpage géographique	NBID	Identifiant îlot
Démographie	PTOT	Nombre total de personnes résidentes
	P0014	Population de 0-14ans
	P1539	Population de 15-39ans
	P4064	Population de 40-64ans
	P65M	Population de +65ans
Revenu	HIQMD	Revenu médian
Education	PFNONE	Pas d'éducation (pas de formation terminée)
Activité professionnelle	AD	Population active (personne en âge de travailler)
	ADO	Actifs occupés (en âge de travailler)
	ADUNE	Chômeurs

3.2. ACQUISITION DES DONNÉES

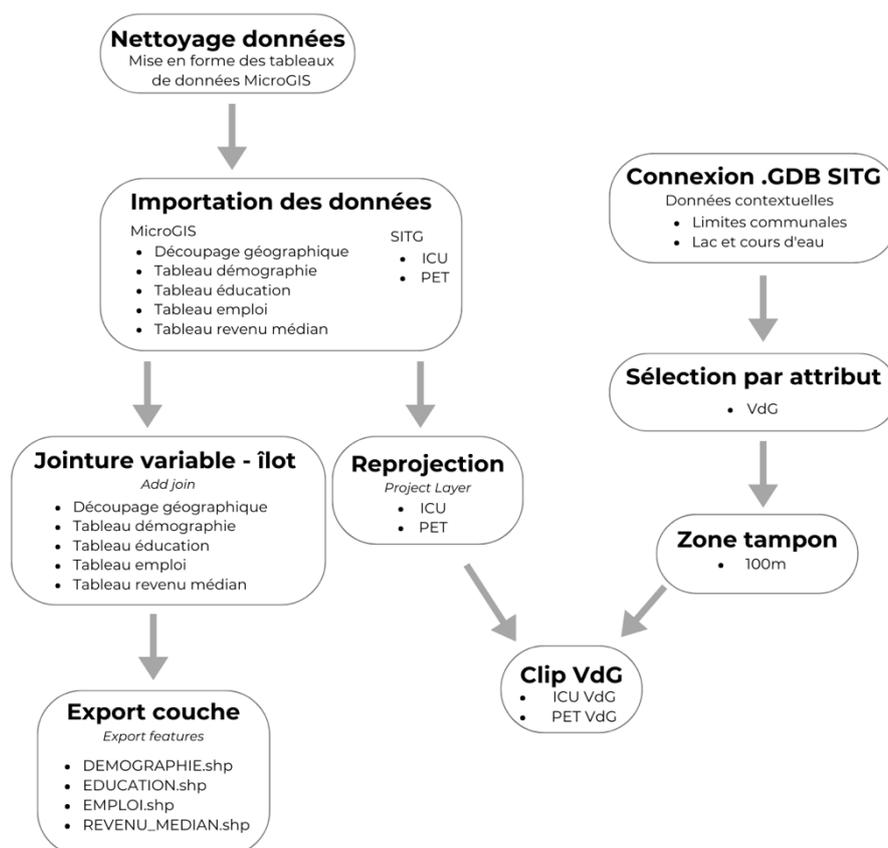
L'acquisition des données a été relativement simple pour les données climatiques disponibles en *open data*. Il a suffi de les commander via le site du SITG et d'attendre le transfert. Concernant les données socio-économiques et le découpage territorial, l'acquisition a été plus chronophage. En effet, il a fallu contacter MicroGIS pour demander des renseignements. Puis, clarifier la demande sur la base de leur catalogue de données (2018) et attendre leur offre. Toutefois, les données MicroGIS présentent l'avantage d'avoir été travaillées statistiquement. Les données sont recalculées selon les différents découpages territoriaux de

l'entreprise, notamment les blocs urbains ce qui en fait leur particularité. Le format des couches est propre et les données ne nécessitent pas d'être recalculées pour la constitution de la base de données. Ainsi, même si l'acquisition des données a pris du temps et avait un coût, il semblait pertinent d'attendre pour pouvoir travailler à l'échelle du bloc urbain. De manière générale, l'acquisition des données a été plutôt simple du fait de l'existence des données utilisées.

4. MÉTHODOLOGIE

4.1. SÉLECTION DES DONNÉES ET PRÉPARATION DES FICHIERS

Figure 4 – Schéma des étapes de préparation des données dans



La première étape consiste à préparer les données pour pouvoir les analyser. Dans un premier temps, les données statistiques MicroGIS ont été nettoyées sur Excel. Puis, les différentes couches et tableaux ont été importés dans le logiciel SIG (ArcGIS Pro 3.1). Les données statistiques ont été attribuées aux blocs urbains (NBID) correspondants à l'aide d'une jointure. Une nouvelle couche a été exportée pour chacun des indicateurs afin d'avoir des données propres sur lesquelles travailler.

Concernant les rasters climatiques, ceux-ci ne possédaient pas la projection habituelle utilisée pour les couches SITG (CH1903+ LV95). Ainsi, un système de projection a été défini grâce à

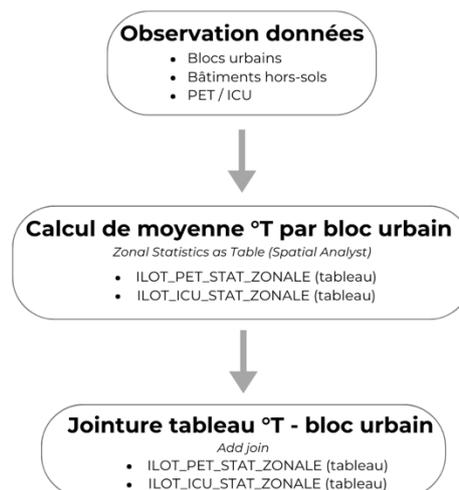
l'outil *Project Raster*. Le système de coordonnées choisi est celui des autres couches, à savoir CH1903+ LV95. Ceci permet de « *placer le jeu de données raster à l'emplacement correct sur la sphère terrestre* » (ArcGIS, n.d.). Cet outil utilise des techniques d'interpolation pour reprojeter dans un système de coordonnées le jeu de données. Ainsi, dans notre cas, c'est la technique *Nearest Neighbor* qui a été choisie. Cette méthode estime la valeur de chaque pixel en calculant la moyenne des valeurs des pixels environnants (4 pixels) pour des données continues (ArcGIS, n.d.).

De plus, une connexion à la géodatabase SITG a été faite afin d'accéder aux données contextuelles nécessaires, comme les limites communales de la Ville de Genève ainsi que le lac et les cours d'eau. Ensuite, une zone tampon de 100m a été créée autour des limites communales. Ceci a permis de clipper les rasters climatiques, qui s'étendent sur tout le canton, à la zone d'étude, c'est-à-dire la commune de Genève. La zone tampon, plus étendue que les limites communales, sert à garder les valeurs à proximité de la limite communale pour les étapes suivantes. Cela permet de considérer les voisins au-delà de la commune, car le climat est évidemment indépendant des limites administratives.

4.2. ATTRIBUTION DE TEMPÉRATURE AUX BLOCS URBAINS

Cette étape vise à attribuer une valeur de température à chaque bloc urbain. Ces derniers sont plus grands que les cellules de 10x10m composant l'image raster. Ainsi, il faut agréger ces valeurs de température (°C) pour déterminer les valeurs de chaque bloc urbain.

Figure 5 – Schéma des étapes pour attribuer les valeurs de température aux blocs urbains



En observant les données, une première difficulté émerge. Les données climatiques sont mesurées à quelques mètres du sol, en extérieur. Les blocs urbains, eux, peuvent avoir différentes typologies. En observant les couches des blocs urbains, des bâtiments hors sols, des espaces verts, du domaine routier et des voies ferrées, on voit que les blocs urbains

peuvent être composés d'éléments différents. On peut y trouver de grands bâtiments, des barres urbaines, des maisons individuelles. Ainsi, la composition des blocs varie fortement (cf. annexe 1). Ceci impacte les valeurs de température connues pour chaque bloc. En effet, lorsqu'un bloc est composé uniquement d'un grand bâtiment, aucune valeur de température n'est disponible dans ce bloc. On a uniquement les températures dans les espaces extérieurs. Ce constat est valable tant pour les valeurs diurnes (PET) que nocturnes (ICU) (cf. annexes 2 et 3).

Pour contourner ce problème différentes méthodes ont été envisagées. Il s'agissait, soit d'estimer les valeurs manquantes grâce à des techniques d'interpolation. Ceci aurait permis de remplir les valeurs manquantes, puis de calculer la valeur de température moyenne pour chaque bloc urbain. Toutefois, interpoler les données pour remplir les pixels sans données, consisterait à estimer des valeurs qui ne seraient jamais mesurables en réalité. En effet, puisque les températures sont mesurées très proches du sol, on ne peut mesurer une température à cette hauteur si un bâtiment s'y trouve. La deuxième méthode, qui a été retenue, consiste à faire avec les données disponibles. On calcule alors la moyenne de température des pixels présents dans chaque bloc urbain, même si le nombre de pixel possédant une valeur de température varie selon les cas de figure.

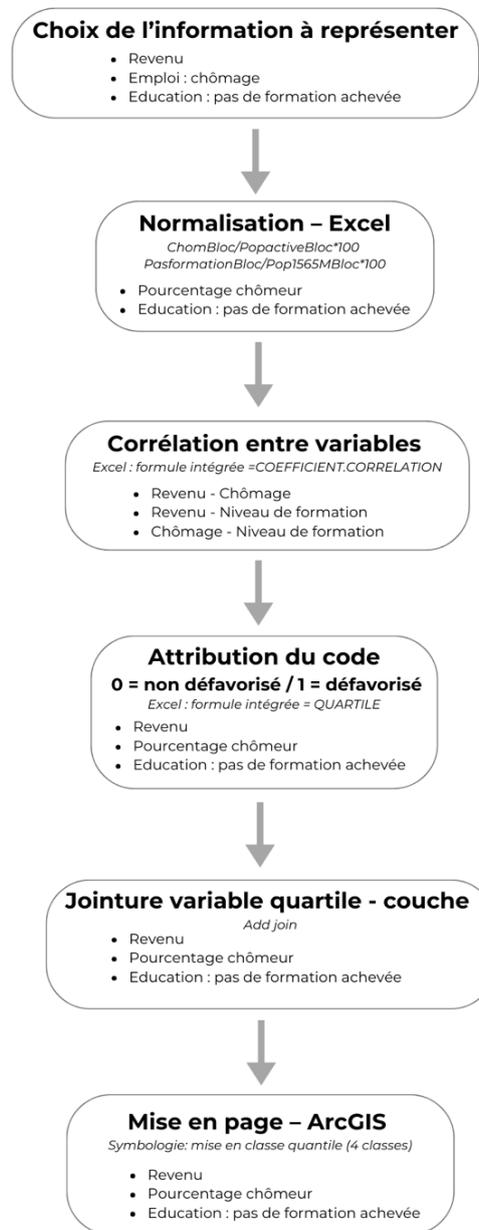
Ainsi, pour donner une valeur de température à chaque bloc urbain, l'outil *Zonal Statistics as Table (Spatial Analyst)* a permis de calculer la moyenne des valeurs des pixels se trouvant dans chaque polygone. La table créée est ensuite jointe à la couche des blocs urbains sur la base d'un champ commun unique (*Add join*). Puis, la symbologie est modifiée pour catégoriser les températures.

4.3. POPULATION

Dans ce travail, le choix a été fait de ne pas considérer les blocs urbains dans lesquels aucune population résidente n'est enregistrée, et donc où personne n'habite. En effet, puisque ce travail se concentre sur l'exposition de la population à la chaleur par rapport à la situation de précarité, il semble cohérent d'écarter les blocs où personne ne vit. Ainsi, pour chaque indicateur, les blocs urbains sans population résidente sont écartés. De plus, certains blocs urbains ont des données manquantes ce qui explique que certains indicateurs ont davantage de blocs urbains non représentés.

4.4. COMBINAISON D'INDICATEURS ILLUSTRANT LA SITUATION DE PRÉCARITÉ

Figure 6 – Schéma des étapes pour combiner les indicateurs mesurant la situation de précarité de chaque bloc urbain



Pour rendre compte de la situation de précarité de chaque bloc urbain, la méthode est inspirée de l'analyse du CATI-GE. Ainsi, comme expliqué dans la partie théorique, on cherche à évaluer le risque que les habitants d'un bloc urbain se trouvent en situation précaire. Ce risque s'étend sur un continuum allant de « faible » à « élevé ». Plus un bloc urbain cumule des indicateurs de précarité, plus on considère que le risque d'être en situation précaire est grand. Toutefois, ce n'est pas parce qu'un bloc urbain est considéré comme ayant un grand risque d'être en situation de précarité, que tous les habitants le sont (OCSTAT, 2012).

Dans un premier temps, il a fallu choisir quels indicateurs retenir. En effet, pour définir la situation précaire, on travaille avec trois indicateurs, soit le revenu médian, l'éducation et l'activité professionnelle. Pour le premier, le revenu, une seule information est donnée dans les données statistiques MicroGIS. Toutefois, pour l'éducation et l'activité professionnelle différentes informations sont données. En effet, les données statistiques liées à l'activité professionnelle regroupent différentes informations (population active, actifs occupés, chômeurs, actifs dans le secteur primaire, actifs dans le secteur secondaire, actifs dans le secteur tertiaire). Pour l'éducation, dix niveaux d'éducation sont différenciés, en incluant les cas sans formation achevée. C'est cette catégorie qui a été retenue.

Concernant l'activité professionnelle, le choix a été fait de se concentrer sur la part de personnes au chômage par bloc urbain. Il faut donc calculer la proportion de chômeurs par rapport à la population active pour chaque bloc ($n_{\text{chomeurs_bloc}}/n_{\text{popactive_bloc}}*100$).

Concernant l'éducation, on considère les proportions de personnes n'ayant aucune formation dans chaque bloc urbain. Toutefois, il faut considérer la population de 15 et plus, car il est clair qu'avant cet âge-là (formation obligatoire), les enfants et adolescents n'ont, par définition, pas de formation achevée. Ainsi, le nombre de population de 15 ans et plus, est calculée en additionnant les différentes classes d'âge (P1539+P4064+P65M). Puis, on calcule la proportion de personnes sans formation achevée chez les 15 ans et plus pour chaque bloc ($n_{\text{pasformation_bloc}}/n_{\text{pop1565M_bloc}}*100$).

Une fois que les indicateurs sont définis, il convient de vérifier s'ils sont statistiquement corrélés, auquel cas, il n'est pas représentatif de travailler avec ces indicateurs. Ainsi, le coefficient de corrélation a été calculé sur Excel grâce à la formule intégrée (formule '=COEFFICIENT.CORRELATION') pour les trois cas de figures :

- Revenu – chômage → coefficient de corrélation = 0.08
- Revenu – niveau de formation → coefficient de corrélation = 0.2
- Chômage – niveau de formation → coefficient de corrélation = 0.2

Les coefficients s'approchent tous trois de 0, indiquant qu'il n'existe pas de corrélations statistiques entre ces jeux de données. Une corrélation linéaire positive existe lorsque le coefficient s'approche de 1 et la corrélation est négative si le coefficient s'approche de -1.

Il s'agit ensuite de définir les quartiles les plus défavorisés pour chaque indicateur. Les quartiles sont calculés sur Excel grâce à la formule intégrée (formule '=QUARTILE'). Une fois le quartile d'intérêt (Q1 ou Q3) déterminé, celui-ci est codé '1' et les autres '0'. Ceci permet de diviser en

quatre (25%/25%/25%/25%) les valeurs de chaque indicateur considéré en fonction de la fréquence. En effet, on obtient dans chaque quartile le même nombre d'observations. Ceci permet de comparer les indicateurs entre-eux et définir le 25% des blocs urbains les plus défavorisés.

Une fois les indicateurs codés (0/1), on additionne le résultat des trois indicateurs revenu médian, activité professionnelle et éducation ensemble afin d'obtenir une valeur allant de 0 à 3. Cette valeur représente le nombre d'indicateurs de précarité rencontrés pour chaque bloc urbain.

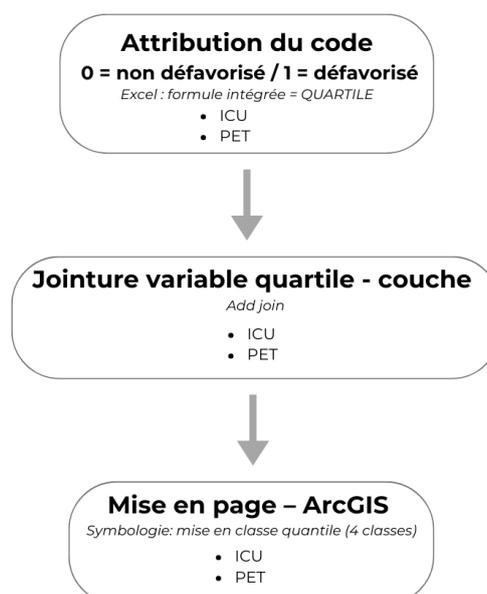
- 0 = les moins défavorisés, ces blocs ne rencontrent aucun des indicateurs illustrant une situation de précarité (≠ pas de signes de précarité)
- 3 = les plus défavorisés, ces blocs rencontrent tous les indicateurs illustrant une situation de précarité (= signes de précarité).

On obtient ainsi notre combinaison d'indicateurs de précarité.

Ensuite, pour le revenu (Q1), la proportion de chômage (Q3) et la proportion de personne n'ayant pas de formation achevée (Q3), les tableaux Excel avec les nouveaux champs concernant les quartiles sont joints à la couche des blocs urbains via le code unique NBID de chaque bloc (*Add Join*). Puis, la mise en classe est faite sur ArcGIS avec la symbologie sur le champ intéressé avec une mise en classe en quantile avec quatre classe.

4.5. DÉFINITION DES QUARTILES LES PLUS CHAUDS POUR LES DONNÉES CLIMATIQUES

Figure 7 – Schéma des étapes pour définir les blocs urbains les plus chauds



Afin de pouvoir comparer la situation de précarité et la situation climatique, il faut également définir les quartiles les plus chauds sur les données climatiques (ICU et PET). Pour ce faire, les quartiles sont calculés sur Excel grâce à la formule intégrée (formule '=QUARTILE'). Une fois le quartile d'intérêt (Q3) déterminé, celui-ci est codé '1' et les autres '0'.

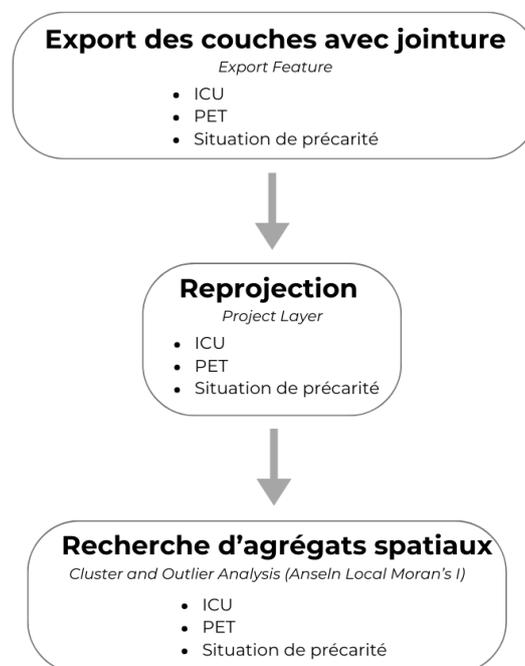
Ensuite, pour l'ICU (Q3) et le PET (Q3), les tableaux Excel avec les nouveaux champs concernant les quartiles sont joints à la couche des blocs urbains via le code unique NBID de chaque bloc (*Add Join*). Puis, la mise en classe est faite sur ArcGIS avec la symbologie sur le champ intéressé avec une mise en classe en quantile avec quatre classe.

4.6. RECHERCHE D'AGRÉGATS SPATIAUX SUR LES DIFFÉRENTES COUCHES - STATISTIQUES DE CONCENTRATION SPATIALE (*I DE MORAN - ANSELIN*)

Une fois que toutes les données ont une étendue spatiale commune (bloc urbain) et que les indicateurs de précarité sont combinés, la recherche d'agrégats spatiaux peut être faite. Ceci permet de comprendre la structure des données dans l'espace. Chaque analyse va être menée de manière indépendante sur chaque dimension.

- Chaleur diurne (PET)
- Chaleur nocturne (ICU)
- Situation de précarité

Figure 8 – Schéma des étapes pour la recherche d'agrégats spatiaux



L'outil *Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)* sur ArcGIS permet d'identifier des agrégats spatiaux d'entités présentant des valeurs élevées ou faibles. Il permet également de définir les points spatiaux aberrants. C'est donc cet outil qui est utilisé.

Toutefois, lors de l'utilisation de l'outil un problème de référencement spatial apparaît. En effet, l'outil ne parvient pas à effectuer sa tâche car il n'arrive pas à trouver une référence spatiale valide pour la couche en sortie : « *Error 000372 : Spatial Reference for output is invalid, Please update to allow output to become valid* ».

Pour contourner ce problème, les couches ont été exportées avec la jointure (*Export Feature*), puis les couches nouvellement créées ont été reprojctées avec l'outil *Project (Data Management Tools)* en spécifiant le système de projection : CH1903+_LV95. À la suite de cette manipulation, l'outil a pu fonctionner. Les paramètres par défaut ont été maintenus, *Conceptualization of Spatial Relationships = Inverse distance / Distance Method = Euclidean / Standardisation = Row / Number of Permutations = 499*.

Cet outil permet d'analyser si les données sont regroupées, dispersées ou aléatoires. L'hypothèse nulle soutient que les données sont aléatoires et qu'il n'existe donc pas d'autocorrélation spatiale dans les données. S'il existe des *clusters*, cela signifie que les valeurs spatialement rapprochées ont des valeurs similaires, au contraire si on est dans un cas de dispersion, cela signifie que les valeurs spatialement proches ont des valeurs dissemblables.

L'utilisation de cet outil permet de venir confirmer l'existence ou non d'une autocorrélation spatiale de façon statistique. En effet, en regardant une carte, on pourrait déjà voir si certains blocs rapprochés ont des valeurs similaires. Toutefois, il est important de vérifier si ce premier constat est statistiquement significatif ou non.

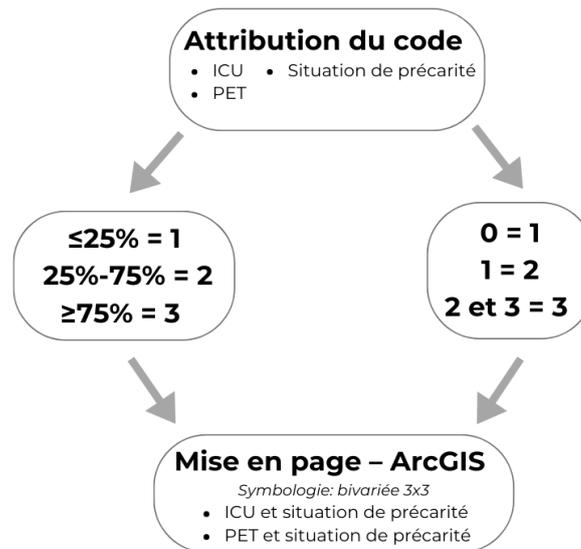
En choisissant la méthode de l'inverse de la distance, une entité proche aura un impact plus grand qu'une entité plus distante pour l'entité cible. Ensuite la distance euclidienne représente une distance à vol d'oiseau entre deux endroits.

4.7. CO-OCCURRENCES ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ

Cette étape consiste à définir les blocs urbains en fonction de la co-occurrences entre chaleur et situation socio-économique. On cherche à représenter les cas de figure suivants, tant pour le jour que pour la nuit :

- Chaleur haute – Précarité faible
- Chaleur haute – Précarité élevée
- Chaleur faible – Précarité faible
- Chaleur faible – Précarité élevée

Figure 9 – Schéma des étapes pour définir les co-occurrences entre chaleur et situation de précarité



L'objectif est de séparer chaque jeu de données (PET, ICU et situation de précarité) en trois pour ensuite créer des combinaisons 3x3 entre chaleur et précarité. Ainsi, dans un premier temps, les données statistiques sont recodées sur Excel. Pour les données de température (ICU et PET) on sépare les jeux de données de la façon suivante :

- $\leq 25\% = 1$
- $25\%-75\% = 2$
- $\geq 75\% = 3$

Ceci permet de mettre en évidence le 25% des observations les plus élevées ainsi que le 25% des observations les plus faibles.

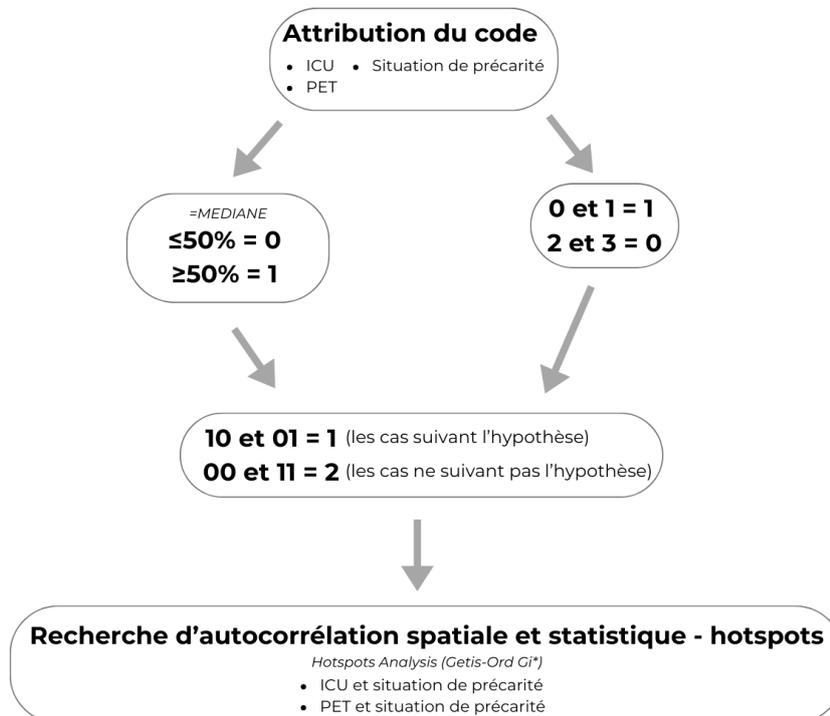
Concernant la situation de précarité, les valeurs possibles sont : 0 ; 1 ; 2 ; 3. Comme expliqué précédemment, ces valeurs représentent le nombre d'indicateurs illustrant la précarité. Ainsi, une valeur '0' représente une précarité faible et '3' une précarité élevée. Toutefois, il faut recoder ces valeurs de sorte à avoir trois valeurs. Le choix a été de considérer les valeurs 2 et 3 comme des situations de précarité élevée. En effet, trois indicateurs ont été combinés pour mesurer la précarité. Ainsi, si un bloc cumule deux indicateurs de précarité il se situe au-dessus de la moyenne car $2/3 \times 100 = 66\%$ et $66\% > 50\%$.

- 0 devient 1
- 1 devient 2
- 2 et 3 deviennent 3

Avec ces informations, on peut appliquer une symbolologie bivariées sur ArcGIS et obtenir une visualisation des neuf cas de figures sur la commune.

4.8. RECHERCHE D'AUTOCORRÉLATION SPATIALE ET STATISTIQUE : RECHERCHE DE POINTS CHAUDS

Figure 10 – Schéma des étapes pour la recherche d'autocorrélation spatiale et statistique



Pour la recherche de points chauds et froids dans un premier temps, les données statistiques sont recodées sur Excel. En effet, les données sont divisées en deux, sur la base de la valeur médiane. On a donc les valeurs en-dessous de la médiane qui représentent les valeurs « faibles » (=0) et les valeurs au-dessus de la médiane qui représentent les valeurs « élevées » (=1). Ainsi, pour la situation de précarité, les valeurs 0 et 1 sont codées 1 car elles représentent le 50% des blocs urbains les moins précaires. Les valeurs 2 et 3 sont codées 0 car elles représentent le 50% des blocs urbains les plus précaires. Concernant les valeurs de température (ICU et PET), les valeurs en-dessous de la médiane sont codées 0 et les valeurs au-dessus de la médiane sont codées 1. Cela donne le codage suivant :

- Chaleur haute (=1) – Précarité faible (=1)
- Chaleur haute (=1) – Précarité élevée (=0)
- Chaleur faible (=0) – Précarité faible (=1)
- Chaleur faible (=0) – Précarité élevée (=0)

Ensuite, pour répondre à l'hypothèse « plus le bloc urbain est précaire, plus il est exposé à la chaleur », il faut recoder ces cas de figures de la manière suivante :

- 10 et 01 = 1 (les cas suivant l'hypothèse)
- 00 et 11 = 2 (les cas ne suivant pas l'hypothèse)

Finalement, l'outil *Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)* a été utilisé sur ce dernier champ créé.

5. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS

5.1. CONTEXTE

Les premières cartes permettent de poser le contexte pour la commune de Genève. En effet, sur la figure 11, on peut voir les différents secteurs de la commune, ceci permet de mieux se repérer dans les cartes suivantes.

Figure 11 – Carte des secteurs de la Ville de Genève

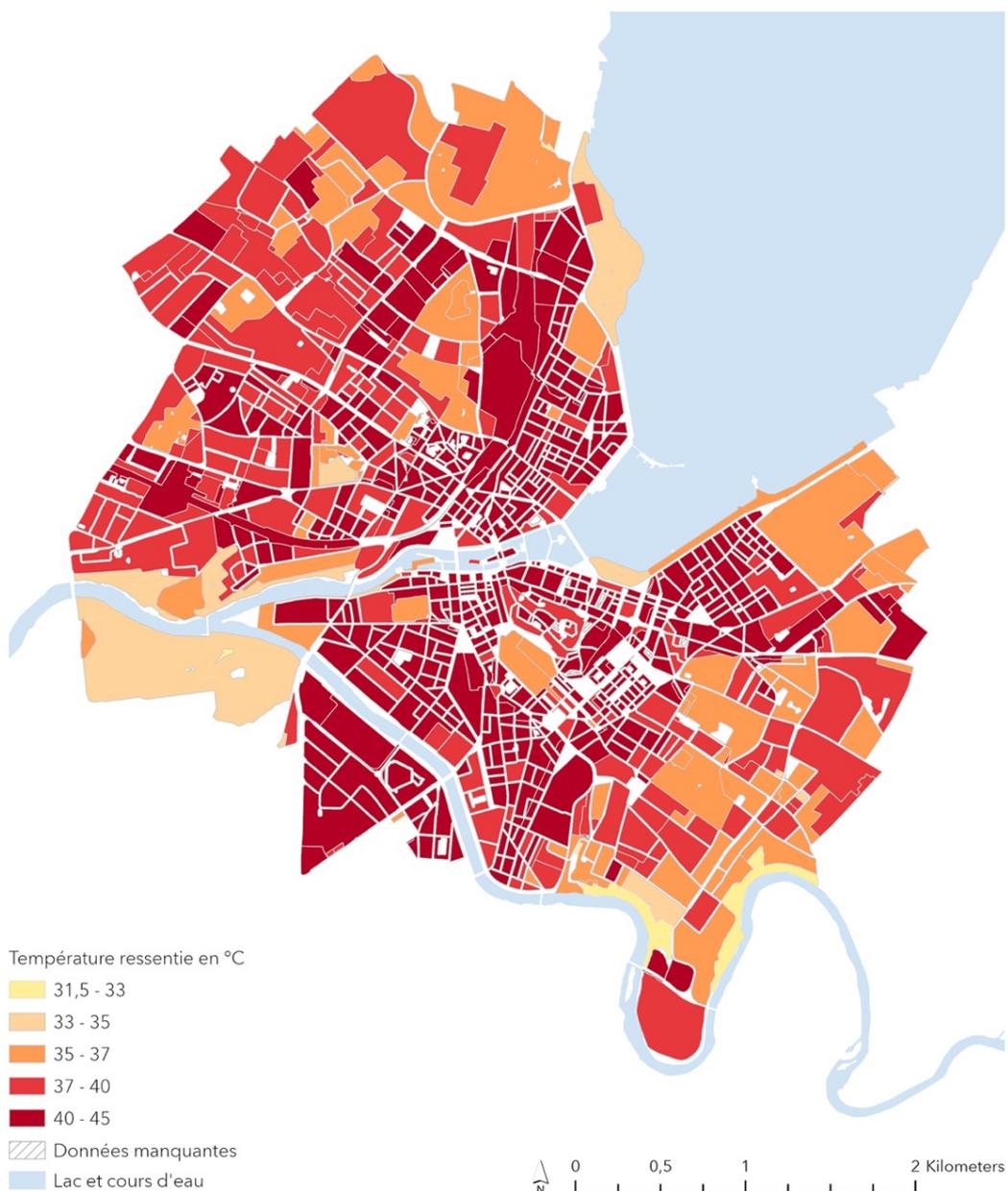
SECTEURS DE LA VILLE DE GENÈVE



La figure 12 représente la température ressentie moyenne en °C pour chacun des blocs urbains. Elle permet de donner un premier aperçu de la réalité climatique du territoire de la Ville de Genève pour une journée autochtone estivale pour la période P1, soit 2020-2049. On constate qu'une grande partie du territoire connaît des températures élevées. En effet, les deux valeurs de rouges représentent les températures entre 37-45°C. Sur le 811 blocs urbains, 667 ont une valeur entre 37 et 45°C, ce qui est très chaud et lourd pour les êtres humains. De nombreux blocs urbains ont des températures très élevées variant entre 40 et 45°C (468/811). Ces blocs urbains se situent au centre de la commune. (18/811 = no data)

Figure 12 – Carte de la température moyenne ressentie en °C (PET)

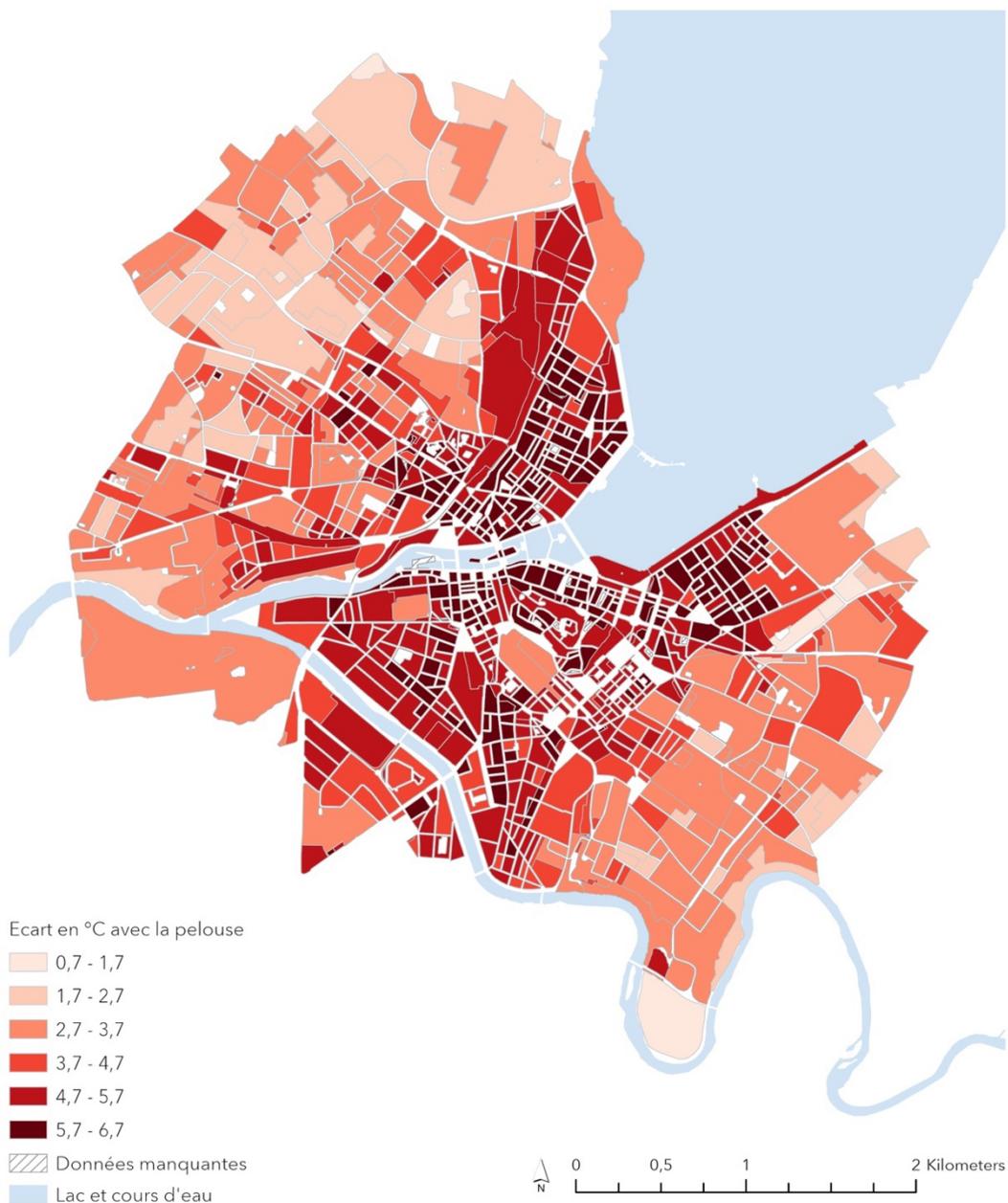
TEMPÉRATURE RESENTIE MOYENNE EN °C (PET) PAR BLOC URBAIN



Cette carte (Figure 13) matérialise l'effet d'îlot de chaleur moyen en °C par bloc urbain. On voit donc l'écart en degré par rapport à la pelouse. En termes de classification, chaque variation de couleur représente un degré en plus. On remarque assez aisément que les blocs urbains situés dans l'hypercentre de la ville sont ceux qui enregistrent l'écart de température le plus grand par rapport à la pelouse. Schématiquement, plus on s'éloigne du centre de la commune, plus l'effet d'îlot de chaleur diminue. 194 blocs sur 811 enregistrent un écart entre 5.7 et 6.7 °C avec la pelouse. (23/811 = no data).

Figure 13 – Carte de l'effet d'îlot de chaleur moyen en °C (ICU)

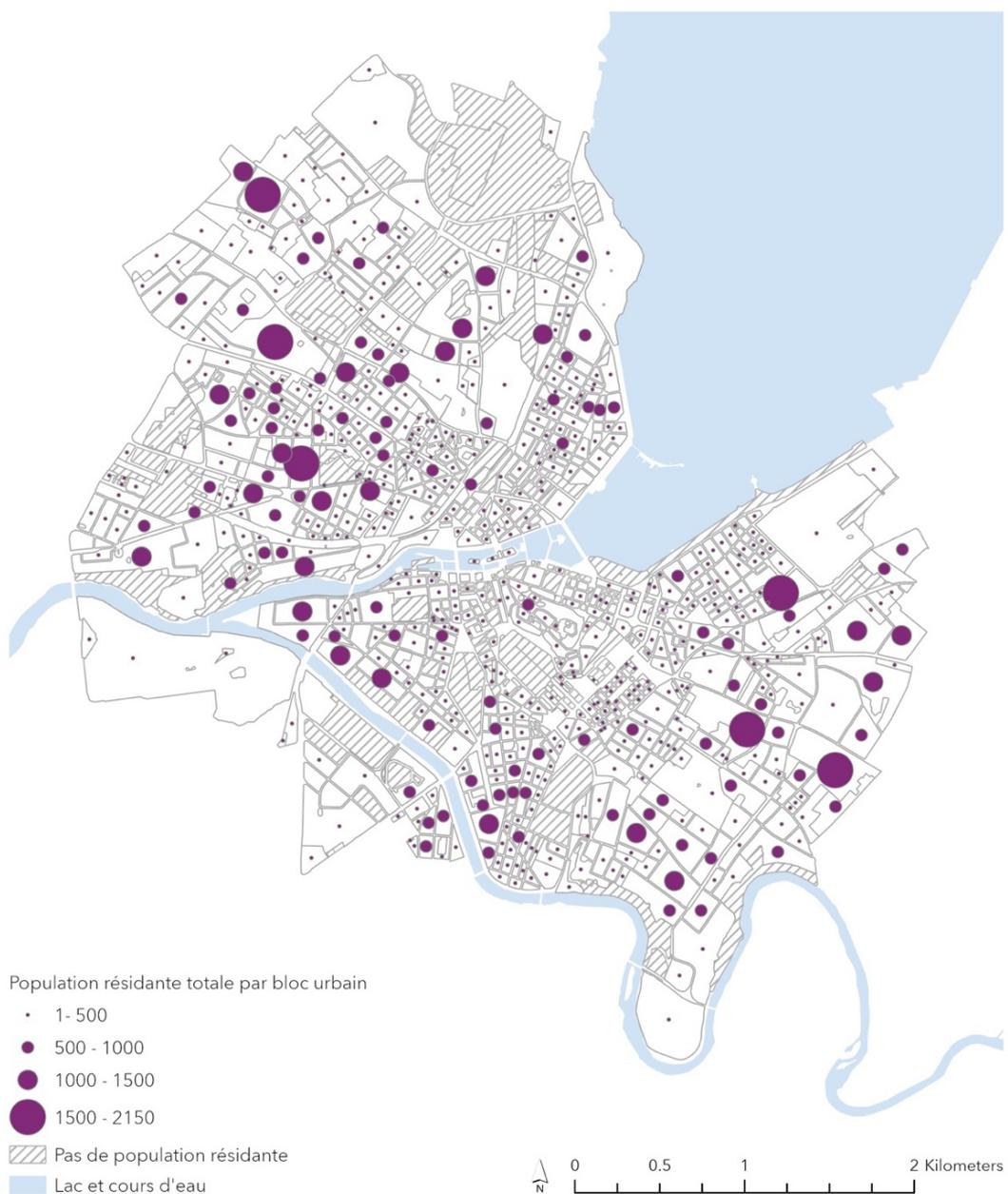
EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR MOYEN EN °C (ICU) PAR BLOC URBAIN



Ce travail se concentre sur la population, il est donc important de comprendre comment celle-ci se répartit sur le territoire communal et, plus spécifiquement, dans chaque bloc urbain. Un premier constat est que 129 blocs urbains ne comptabilisent pas de population résidente. Ensuite, la population semble être répartie de façon équilibrée entre la rive droite et la rive gauche avec des proportions de population plus grandes lorsqu'on s'éloigne de l'hyper-centre (où les blocs urbains sont plus petits).

Figure 14 – Carte de la répartition de la population résidente communale dans les blocs urbains – classification en quartiles

RÉPARTITION DE LA POPULATION RÉSIDANTE



Ces cartes ont pour but de donner un premier aperçu de la commune, avec un découpage spatial en blocs urbains. Les cartes suivantes ont une mise en classe en quartile. Les données sont donc divisées en quatre classes. Chaque classe représente alors 25% des observations pour chaque variable. Cette mise en classe permet une comparaison entre les différentes cartes et différents indicateurs représentés. En effet, on se concentre surtout sur les 25% des blocs urbains les moins avantageés. Pour la lecture des cartes, la couleur la plus foncée représente le quartile le plus défavorisé.

5.2. LA TEMPÉRATURE DANS LES BLOCS URBAINS

Si l'on se concentre en premier lieu sur les cartes climatiques, on remarque que les blocs les plus chauds durant la journée (PET) ne sont pas tout à fait les mêmes que les blocs les plus chauds de nuit (ICU). Ainsi, le 25% blocs urbains les plus chauds durant le jour et la nuit ne sont pas les mêmes bien que certains se recoupent : 124 blocs en commun. Comme vu sur les premières cartes climatiques, les blocs urbains situés dans quartile le plus chaud (Q3) se localisent en grande partie au centre de la commune.

Figure 15 – Carte de la température ressentie moyenne en °C (PET) – classification en quartiles

TEMPÉRATURE RESENTIE EN °C (PET) PAR BLOC URBAIN - CLASSIFICATION EN QUARTILES

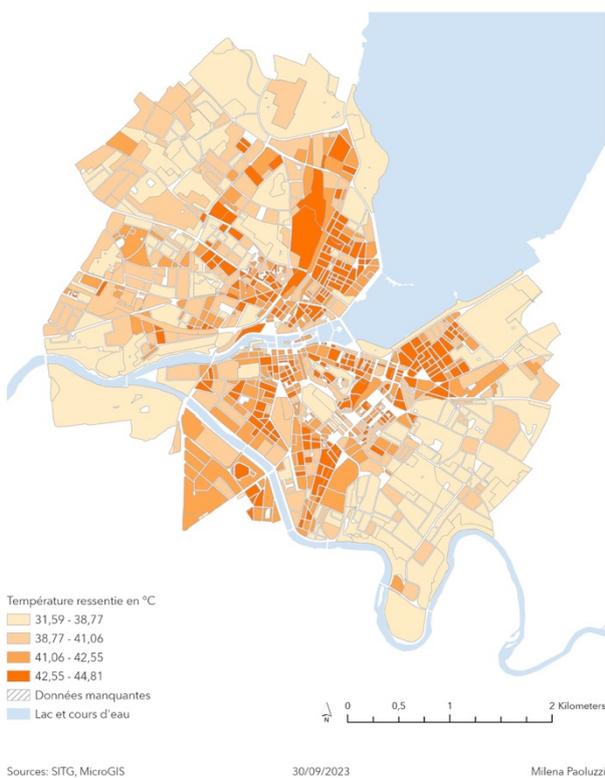
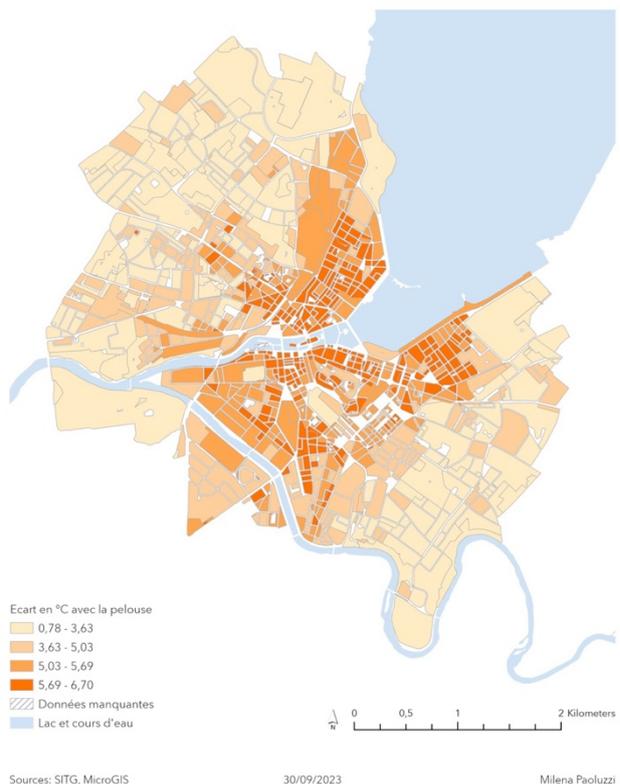


Figure 16 – Carte de l'effet d'îlot de chaleur moyen en °C (ICU) – classification en quartiles

EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR MOYEN EN °C (ICU) PAR BLOC URBAIN - CLASSIFICATION EN QUARTILES



5.3. LA PRÉCARITÉ DANS LES BLOCS URBAINS

Ces trois cartes représentent chacun des indicateurs combinés pour illustrer la situation de précarité. On a donc le revenu médian annuel, la proportion de personnes au chômage par bloc ainsi que la proportion de personne n'ayant pas de formation achevée par bloc. La couleur la plus foncée indique le 25% des blocs les plus défavorisés. D'une manière générale, il est assez difficile de voir une différence marquée sur le territoire communal pour ces indicateurs.

Figure 17 – Carte du revenu médian annuel – classification en quartiles

REVENU MÉDIAN ANNUEL PAR BLOC URBAIN - CLASSIFICATION PAR QUARTILES

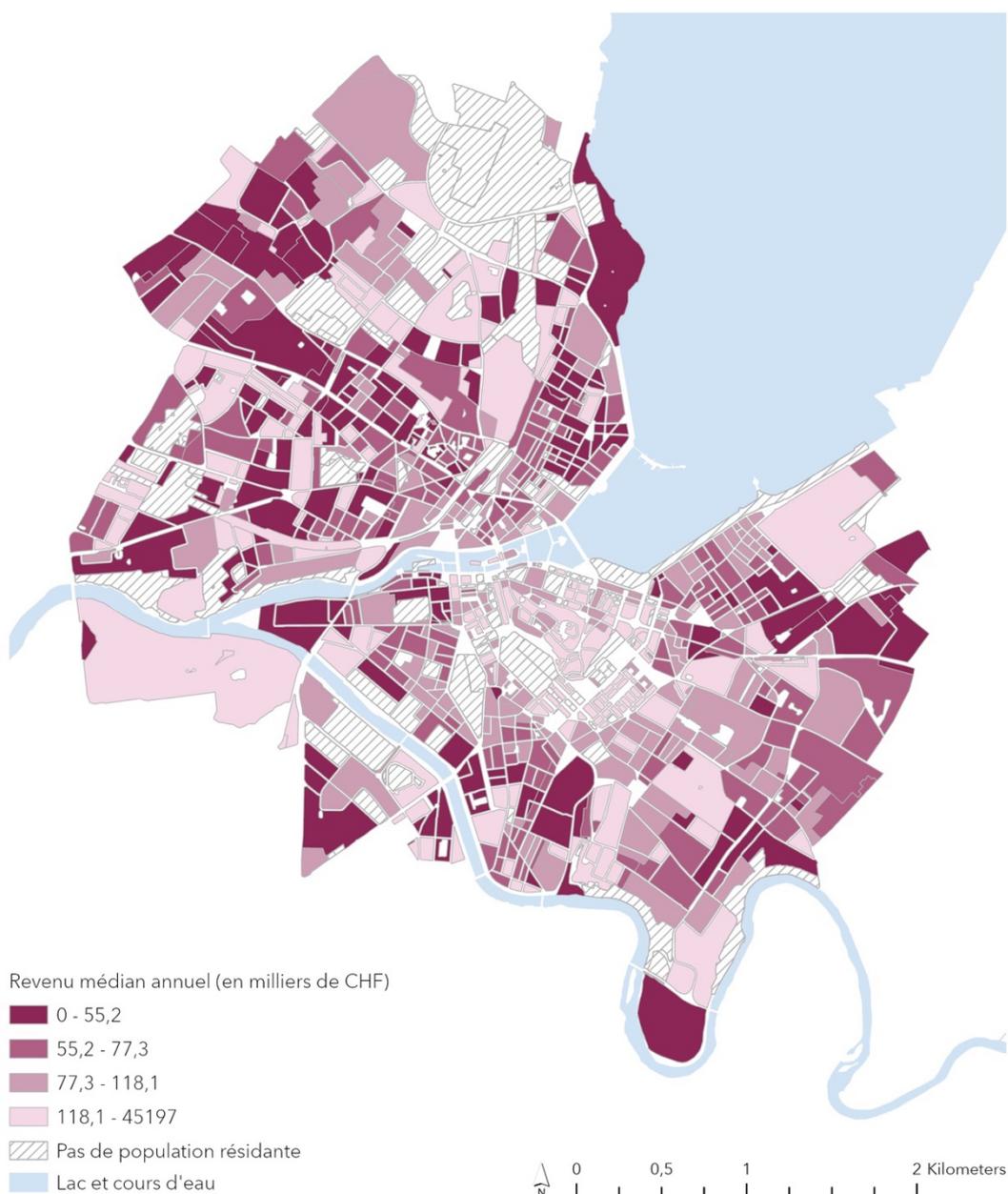


Figure 18 – Carte de la proportion de personnes au chômage – classification en quartiles

PERSONNES AU CHÔMAGE PAR RAPPORT AUX PERSONNES ACTIVES - CLASSIFICATION PAR QUARTILES

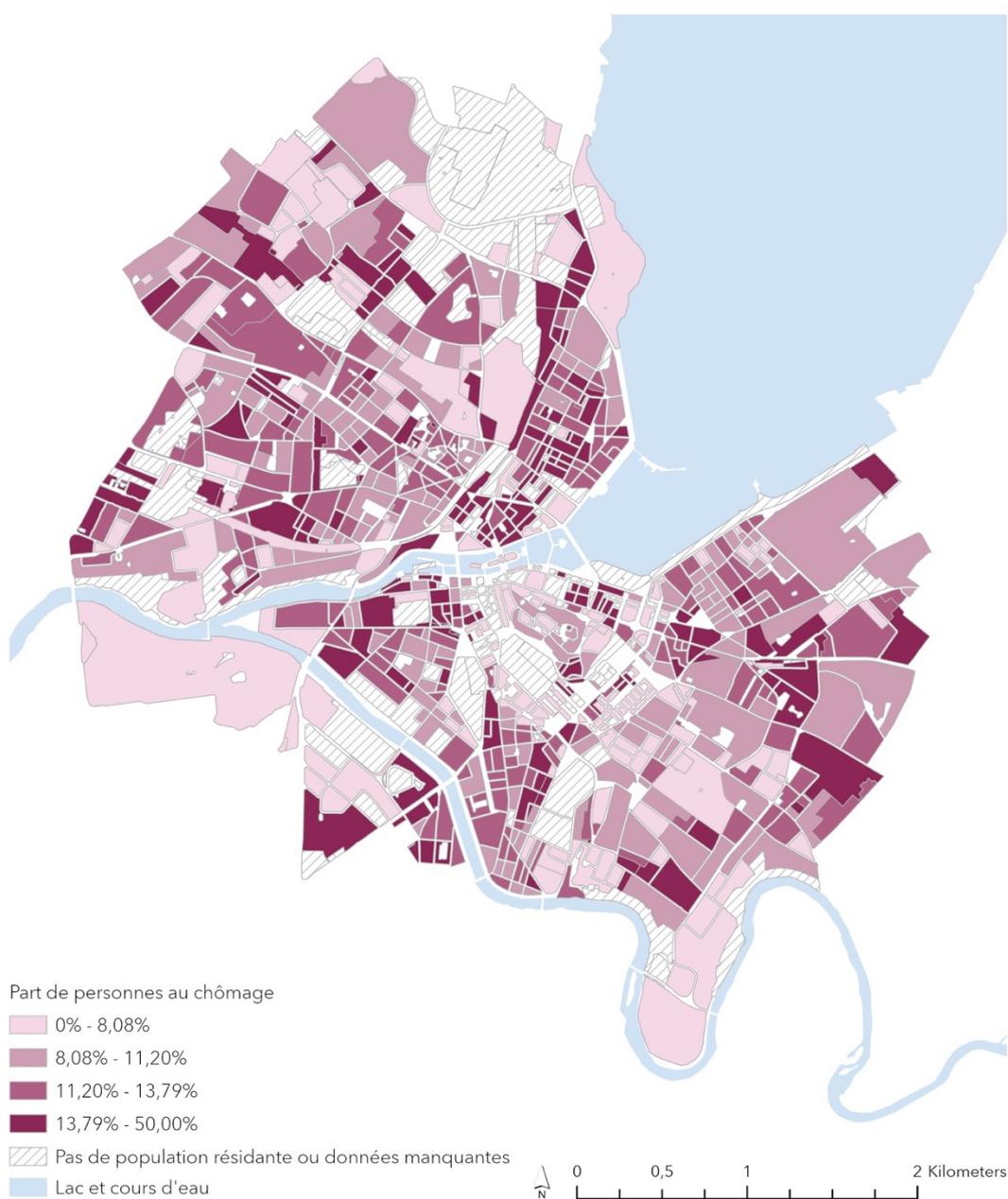
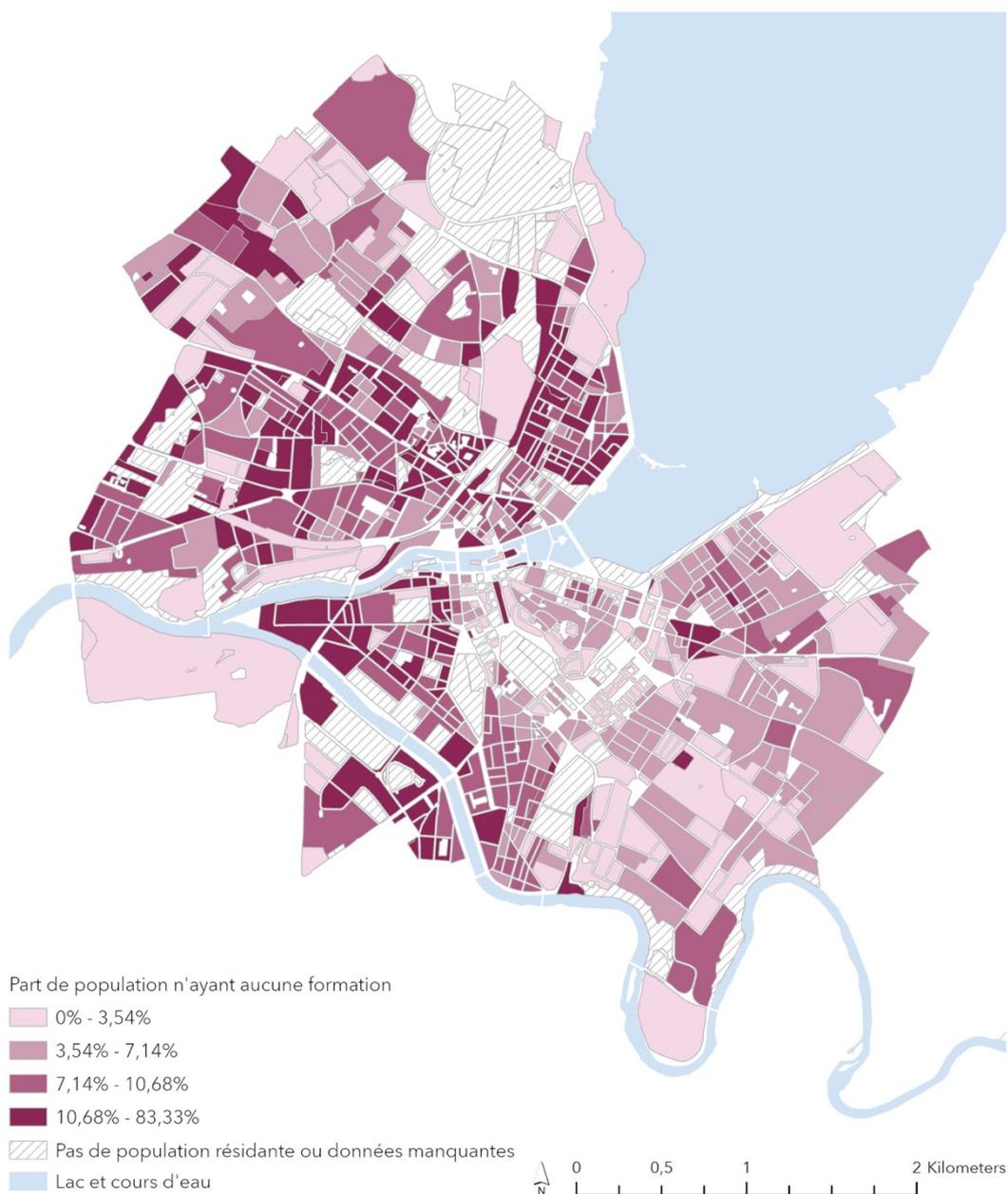


Figure 19 – Carte de la proportion des personnes sans formation achevée – classification en quartiles

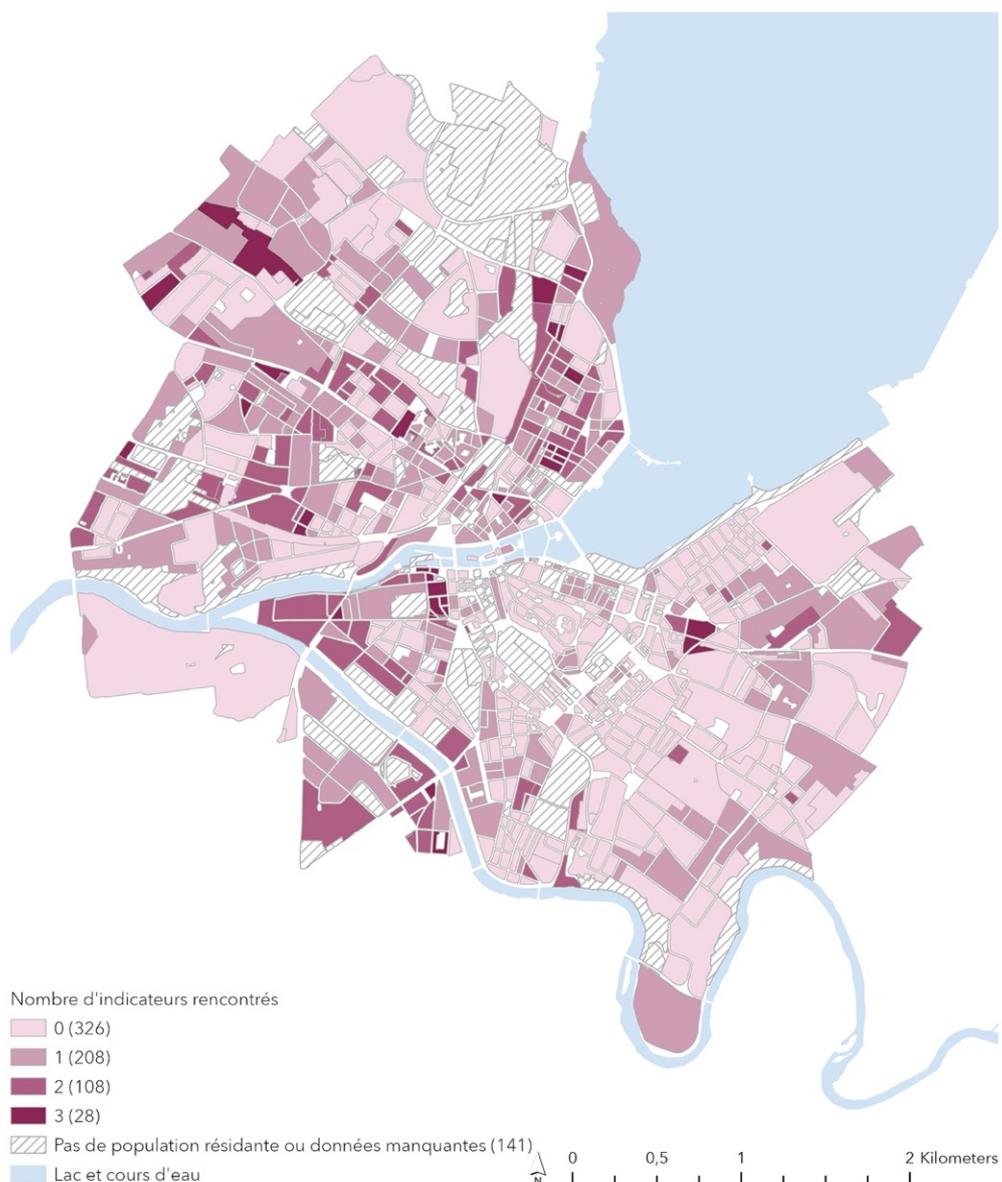
POPULATION N'AYANT PAS DE FORMATION PAR RAPPORT À LA POPULATION RÉSIDENTE 15 ANS ET +
CLASSIFICATION PAR QUARTILES



La figure 20 illustre le résultat de la combinaison des signes de précarité. Sur la base des trois indicateurs retenus pour représenter une situation précaire, (part de chômeurs, revenu médian annuel et nombre de personne n'ayant pas de formation achevée) on peut montrer les situations les plus défavorisées. De cette manière, lorsque les trois indicateurs sont présents pour un bloc, on considère le bloc comme étant en situation de précarité. Au contraire, si un bloc ne présente aucun indicateur, on considère qu'il n'est pas en situation de précarité. 28 blocs regroupent trois indicateurs et 108 blocs regroupent deux indicateurs. Ces blocs défavorisés, qui représentent 20% de l'ensemble des blocs habités par la population résidente, se localisent en grande partie sur la rive droite, bien qu'on puisse en retrouver au centre de la commune.

Figure 20 – Carte de la situation de précarité (combinaison d'indicateurs) – classification en quartiles

SITUATION DE PRÉCARITÉ (COMBINAISON D'INDICATEURS) PAR BLOC URBAIN



5.4. LES AGRÉGATS SPATIAUX POUR LES INDICATEURS

Il existe des agrégats spatiaux sur la commune. En effet, sur les cartes on voit des *clusters*. On est donc en présence d'une structure spatiale agrégée et non dispersée. Dans les trois cas de figures, soit la température moyenne ressentie, l'effet d'îlot de chaleur moyen et la situation de précarité, on remarque aisément que les données significatives ne sont pas dispersées, elles sont agrégées. On voit de grands clusters HH ou LL. Cela signifie que la variable étudiée présente une valeur forte (HH) ou faible (LL) dans un voisinage qui lui ressemble. On remarque également la présence de valeurs aberrantes, soit des valeurs H entourées de L et des valeurs L entourées de H. Dans ces cas, la variable étudiée présente une valeur forte (H) ou faible (L) dans un voisinage qui ne lui ressemble pas. Finalement, les valeurs non significatives comprennent les blocs urbains pour lesquels leur valeur et les valeurs de leurs voisins sont proches de la moyenne de l'échantillon total. Les cartes obtenues ressemblent grandement aux cartes présentées en amont, avec la mise en classe en quartile. Toutefois, les trois cartes ci-dessous permettent de tester la significativité statistique des valeurs, rendant le résultat plus robuste. De manière générale, on observe encore une fois pour les cartes de température que le centre-ville regroupe des valeurs plus élevées alors que les extrémités de la commune regroupent des valeurs plus faibles. Concernant la situation de précarité on voit que les valeurs élevées, indiquant une situation défavorisée sont présentes majoritairement sur la rive droite alors que les valeurs faibles, indiquant une situation plus favorisée, s'agrègent sur la rive gauche.

Figure 21 – Carte des agrégats spatiaux pour la température ressentie moyenne

AGRÉGATS SPATIAUX POUR LA TEMPÉRATURE MOYENNE RESENTIE EN °C PAR BLOC URBAIN
(I DE MORAN LOCAL - ANSELIN)

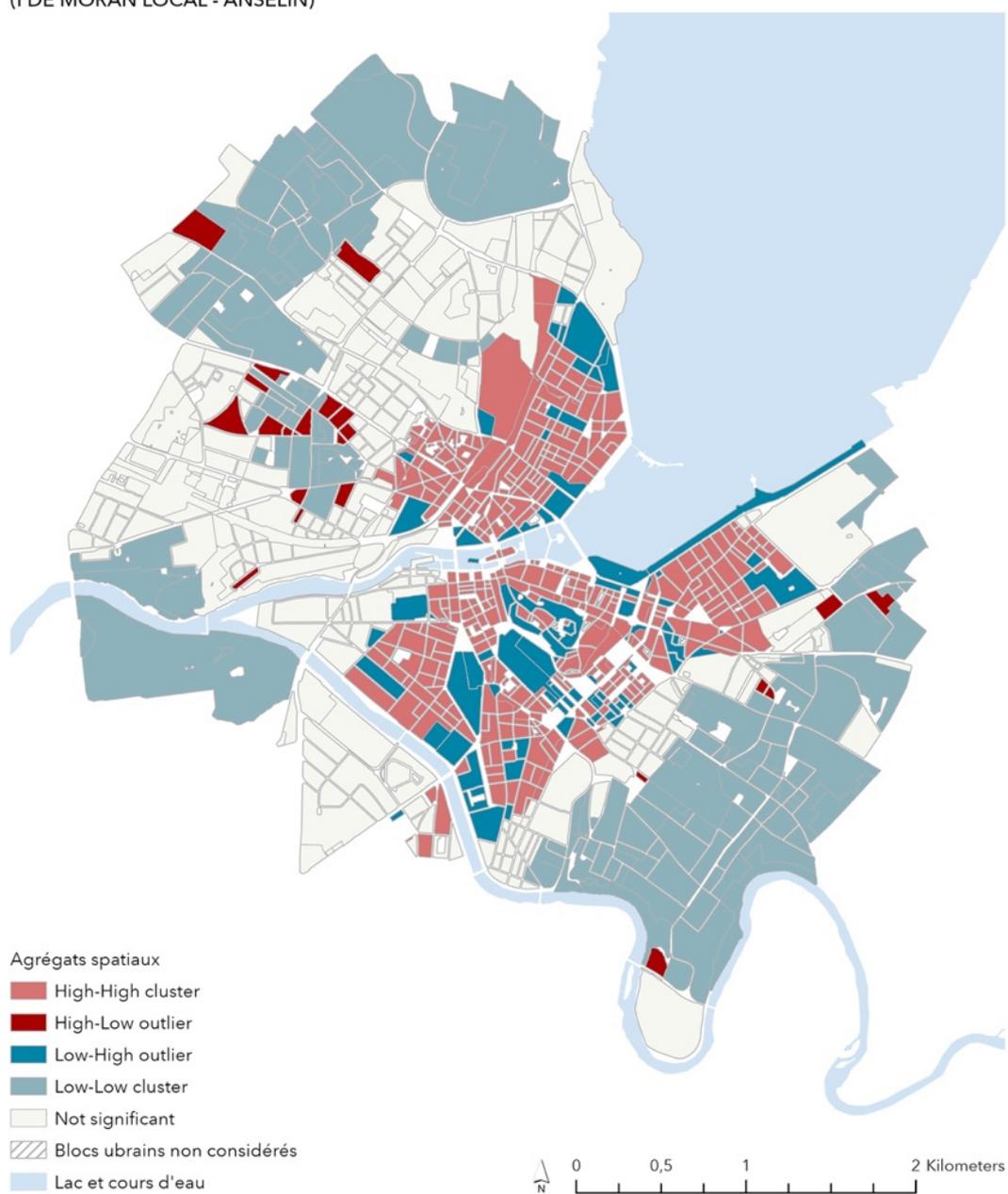


Figure 22 – Carte des agrégats spatiaux pour l'effet d'îlot de chaleur

AGRÉGATS SPATIAUX L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR MOYEN (EN °C)
(I DE MORAN LOCAL - ANSELIN)

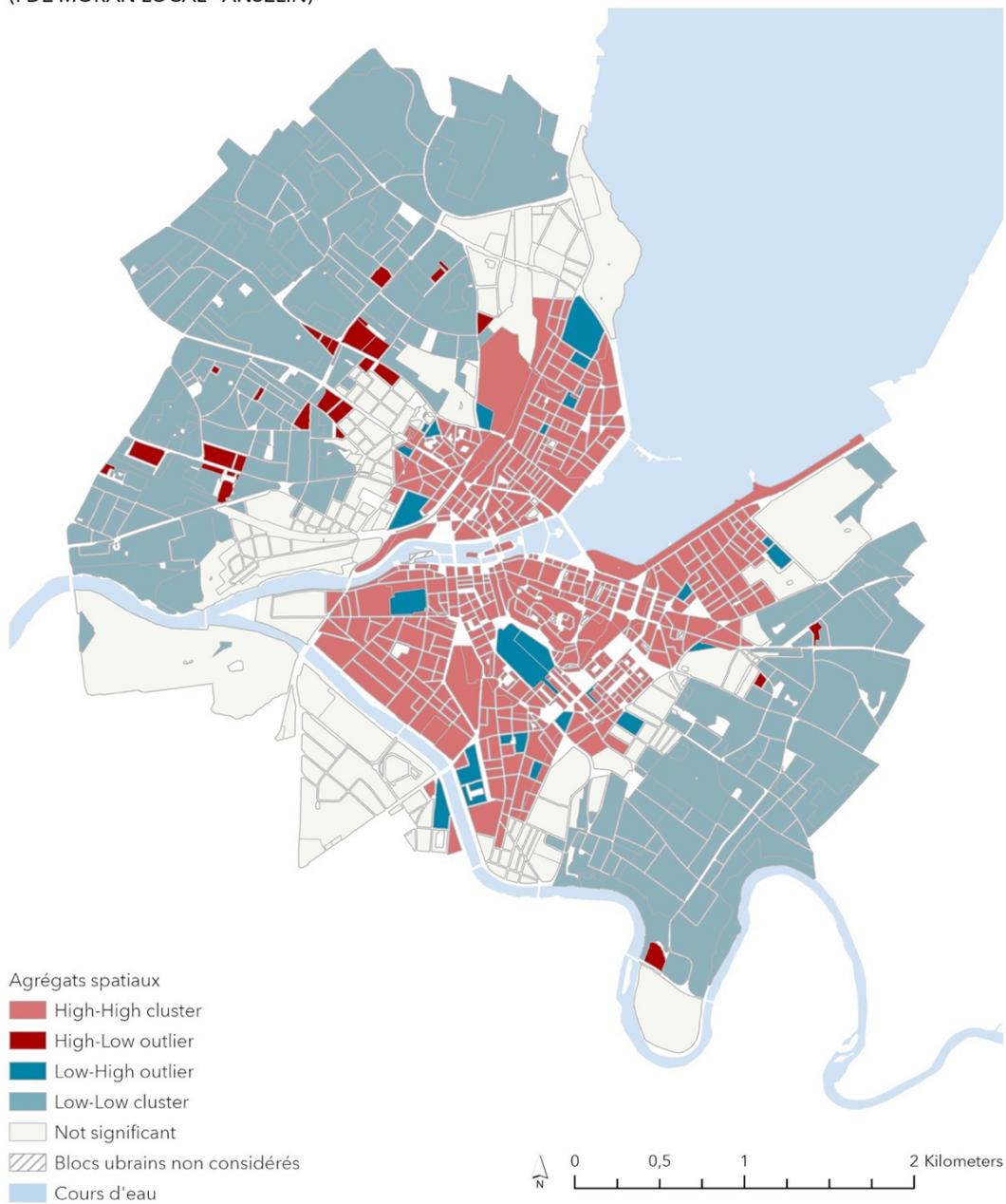
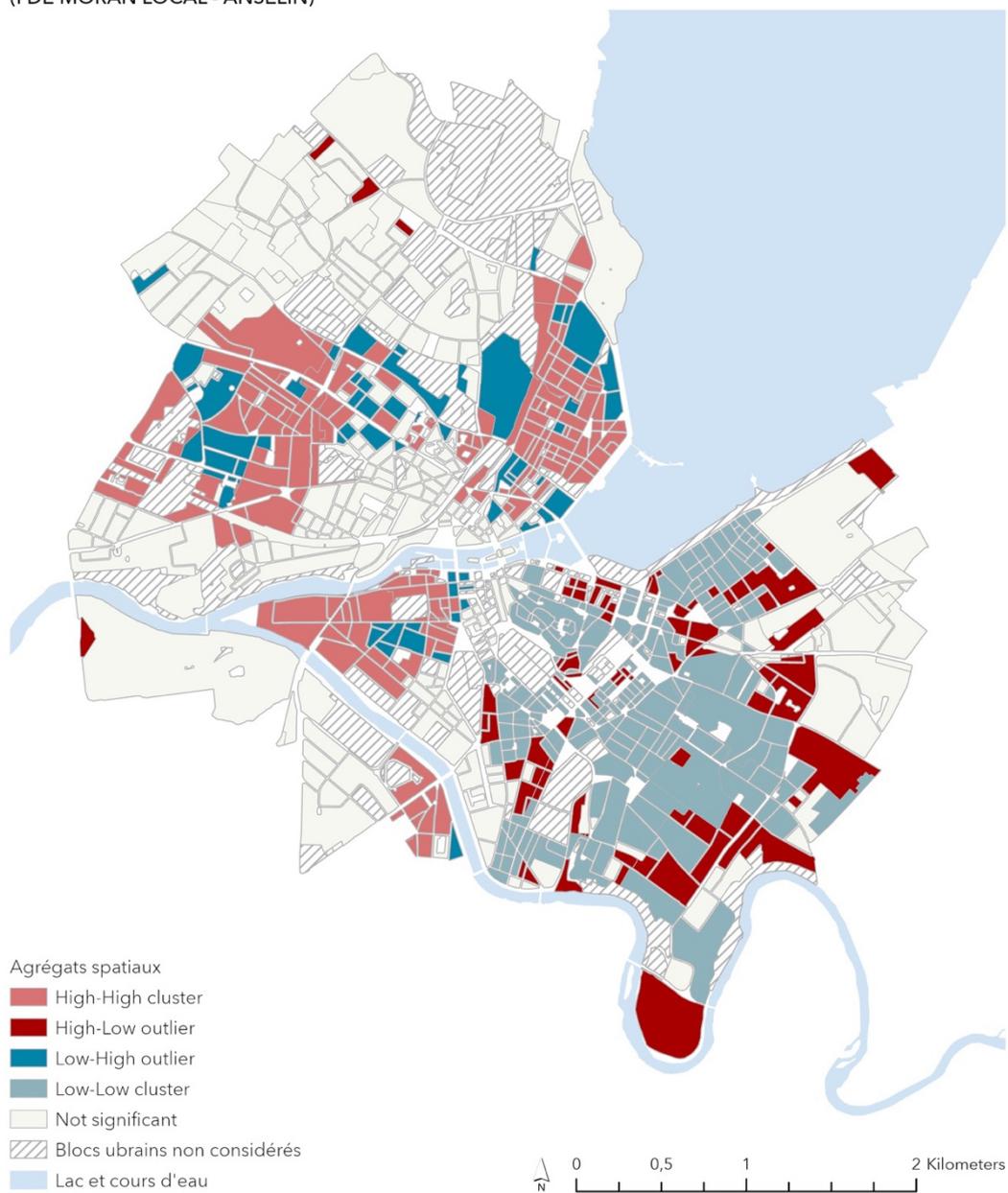


Figure 23 – Carte des agrégats spatiaux pour la situation de précarité

AGRÉGATS SPATIAUX POUR LA SITUATION DE PRÉCARITÉ
(I DE MORAN LOCAL - ANSELIN)



Sources: SITG, MicroGIS

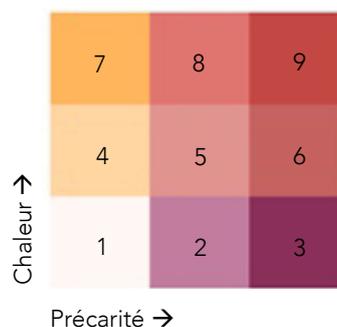
30/09/2023

Milena Paoluzzi

5.5. CO-OCCURRENCES SPATIALES ENTRE CHALEUR ET PRÉCARITÉ

Dans ce travail, on cherche à comprendre s'il existe une correspondance spatiale entre la chaleur urbaine et la précarité de la population résidant en Ville de Genève. Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'analyser les différentes co-occurrences possibles sur le territoire. Ces co-occurrences sont les suivantes :

- 1) Chaleur faible – Précarité faible
- 2) Chaleur faible – Précarité moyenne
- 3) Chaleur faible – Précarité élevée
- 4) Chaleur moyenne – Précarité faible
- 5) Chaleur moyenne – Précarité moyenne
- 6) Chaleur moyenne – Précarité élevée
- 7) Chaleur haute – Précarité faible
- 8) Chaleur haute – Précarité moyenne
- 9) Chaleur haute – Précarité élevée



La figure 26 illustre le résultat pour le jour et la figure 27 illustre le résultat pour la nuit. De jour comme de nuit, que les différents possibilités sont plutôt réparties de façon hétérogènes. Il est difficile de distinguer clairement une couleur à un endroit. La situation la plus critique est représentée en rouge. Elle représente les blocs urbains avec une température élevée et une situation de précarité élevée. Ces blocs se situent plutôt au centre du territoire communal, comme vu sur les cartes précédentes. Ce ne sont pas les blocs les plus représentés comme le montrent les figures 24 et 25.

Figure 24 – Nombre d'observations par cas de figure – situation diurne

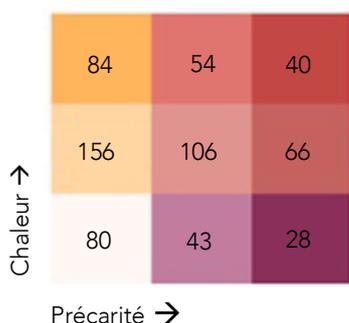
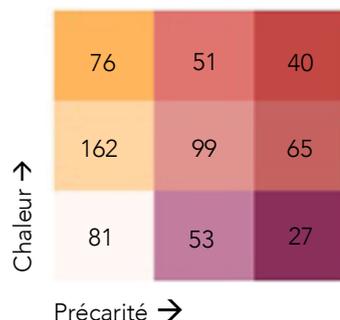


Figure 25 – Nombre d'observations par cas de figure – situation nocturne



Les blocs urbains qui nous intéressent le plus au vu de notre questionnement sont les blocs en rouge. En effet, ceux-ci cumulent une température élevée et une situation de précarité élevée. On a donc pu définir les blocs les plus vulnérables au regard de la problématique du travail. Les secteurs Pâquis-Navigation et Jonction Plainpalais sont les secteurs dans lesquels se localisent le plus de blocs urbains vulnérables.

Figure 26 – Carte des co-occurrences entre chaleur et situation de précarité de jour

CO-OCCURRENCES DIURNES ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ

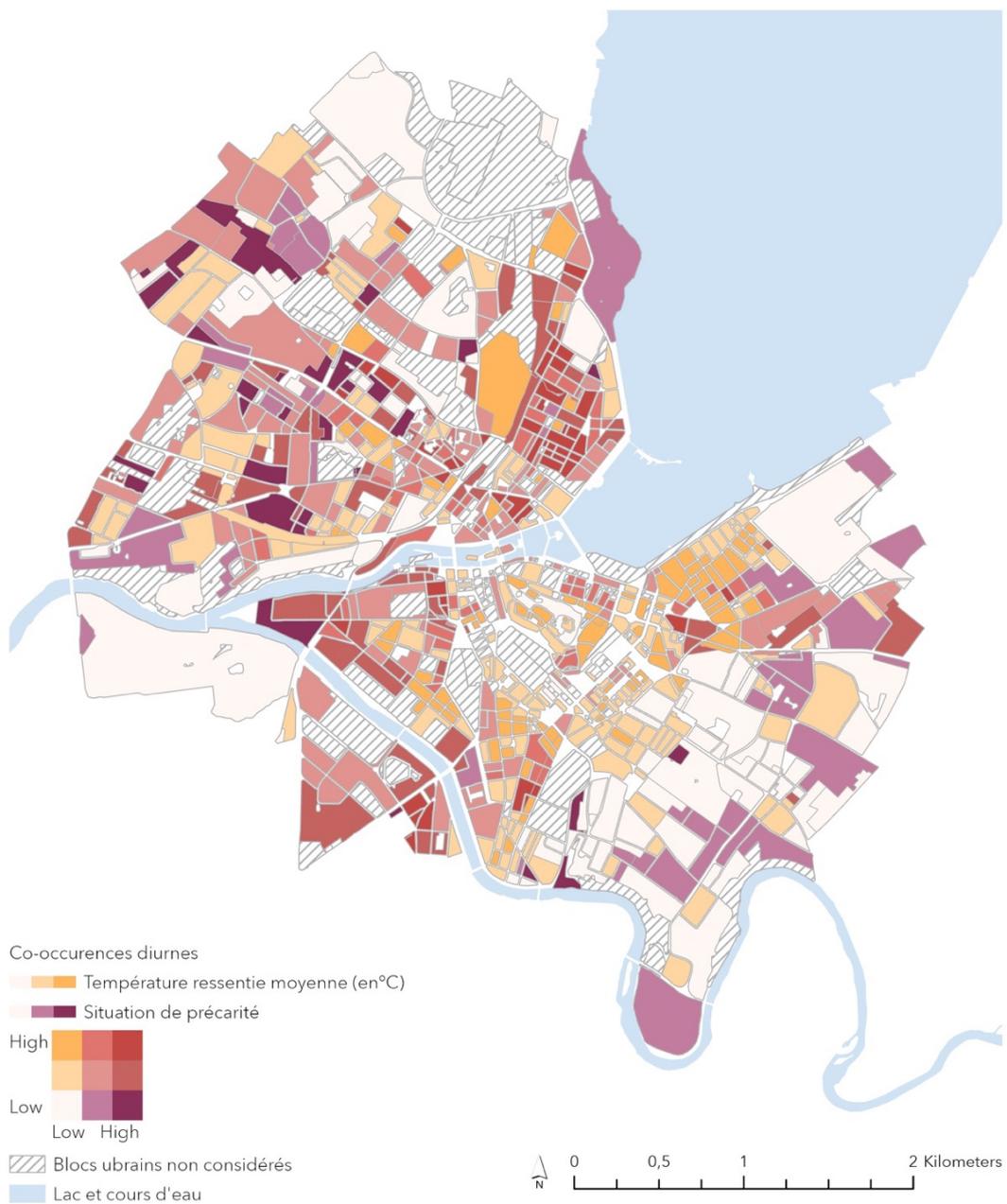
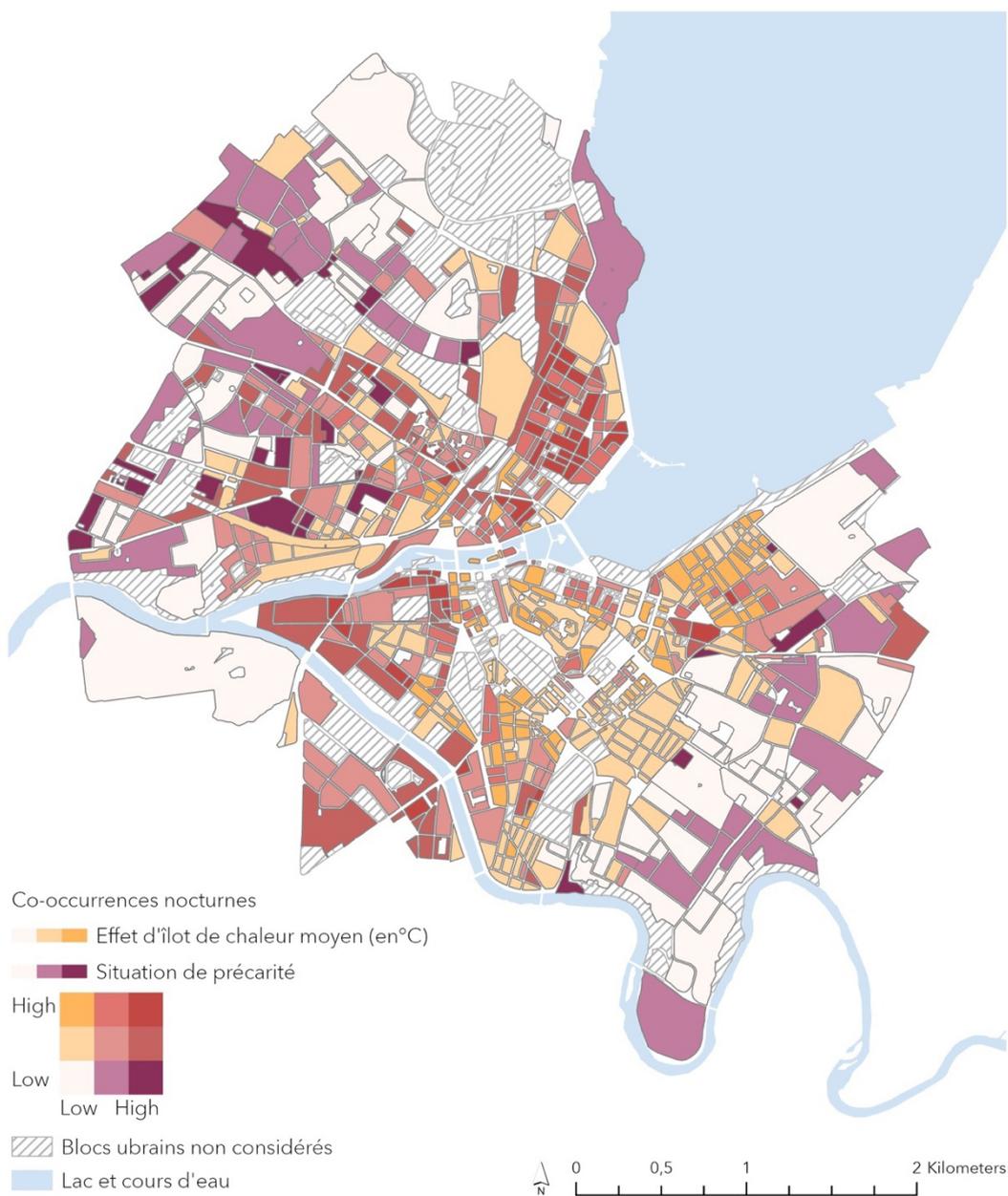


Figure 27 – Carte des co-occurrences entre chaleur et situation de précarité de nuit

CO-OCCURRENCES NOCTURNES ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ



Finalement, pour mieux se repérer, les blocs urbains définis comme étant les plus critiques en termes de chaleur et de précarité ont été représentés sur la carte contextuelle présentée en amont. De jour comme de nuit, on remarque assez aisément que la rive droite cumule davantage de blocs urbains critiques. Le quartier le plus touché est celui de Pâquis-Navigation. 13'592 personnes habitent dans les blocs urbains identifiés comme les plus critiques de jour. De nuit, ce chiffre est de 12'978 personnes. Si l'on combine les situations diurnes et nocturnes, on obtient un total 16'662 personnes habitants vivant dans les blocs urbains les plus critiques ce qui représente 8% de la population totale de la commune. (pop totale communale : 203'410 personnes)

Figure 28 – Carte de la localisation des blocs urbains critiques de jour en Ville de Genève

LOCALISATION DES BLOCS URBAINS LES PLUS CHAUDS ET DÉFAVORISÉS DANS LA VILLE DE GENÈVE
SITUATION DIURNE

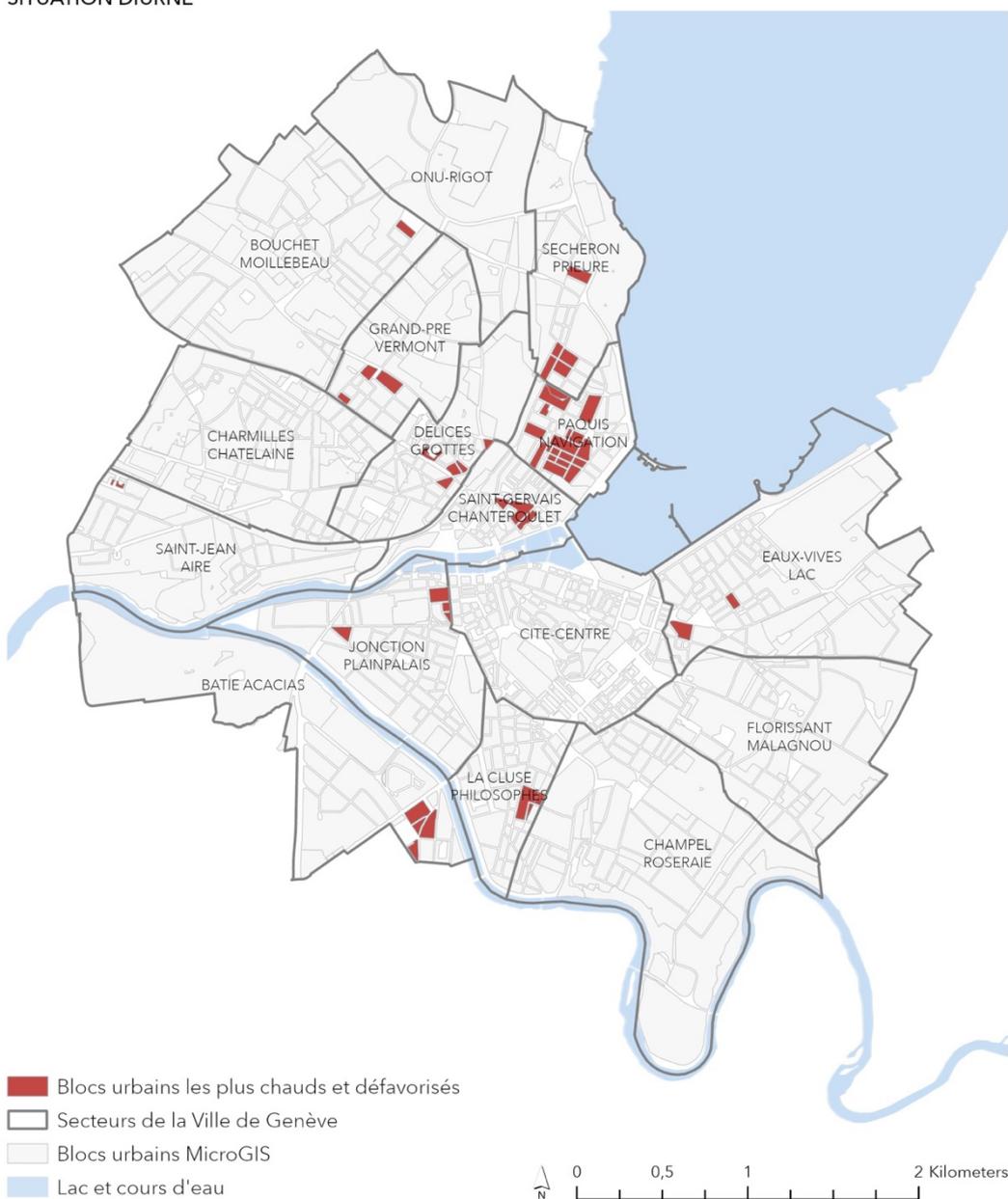


Figure 29 – Carte de la localisation des blocs urbains critiques de nuit en Ville de Genève

LOCALISATION DES BLOCS URBAINS LES PLUS CHAUDS ET DÉFAVORISÉS DANS LA VILLE DE GENÈVE
SITUATION NOCTURNE



5.6. AUTOCORRÉLATION SPATIALE ET STATISTIQUE ENTRE CHALEUR ET PRÉCARITÉ

Finalement, une analyse identifiant les points chauds (grappes spatiales de valeurs élevées) et points froids (grappes spatiales de valeurs faibles) significatifs a été faite. L'hypothèse posait que : « plus un bloc est précaire, plus il est chaud ». Ainsi, les cas de blocs urbains avec une chaleur basse et une situation de précarité faible ainsi que les cas avec une chaleur élevée et une situation de précarité élevée étaient codés '1' car compatible avec l'hypothèse. Les cas ne suivant pas l'hypothèse, soit les cas avec chaleur élevée mais précarité faible ainsi que chaleur faible et précarité élevée étaient codés '2'. De cette manière, les *cold spots* représentent les blocs qui suivent l'hypothèse et qui sont regroupés dans l'espace. Au contraire, les *hot spots* représentent les blocs urbains ne respectant pas l'hypothèse étant groupés.

La cartographie met en avant l'autocorrélation spatiale entre blocs respectant ou non l'hypothèse. (*Cold spots* et *Hot spots* ne font pas référence à la température mais à la valeur du bloc et des blocs voisins). Les résultats montrent que l'hypothèse est confirmée aux extrémités de la commune, tant sur la rive droite que sur la rive gauche. Sur la base des cartes précédentes, on peut affirmer que ces *clusters* représentent des blocs avec une chaleur basse et une situation de précarité faible. Les blocs ne suivant pas l'hypothèse sont concentrés au centre de la commune, davantage sur la rive gauche. Cela signifie que des blocs chauds et non précaires ainsi que des blocs moins chauds et précaires sont spatialement et statistiquement concentrés. Les constats sont semblables entre jour et nuit.

Différents facteurs peuvent expliquer cette structure spatiale. Les *clusters* confirmant l'hypothèse situés aux extrémités du territoire communal sont des espaces urbains moins densément construits que le centre. Ceci joue un rôle dans l'absorption de chaleur. Concernant le *cluster* réfutant l'hypothèse, on peut relever les politiques de mixité sociale promues sur la commune, et en Suisse de manière générale. Elles peuvent expliquer la présence de situation de précarité variables à des endroits géographiquement rapprochés.

Figure 30 – Carte de l'autocorrélation spatiale entre chaleur et précarité – situation diurne

AUTOCORRÉLATION ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ:
POINTS CHAUDS (≠HYP.) ET POINTS FROIDS (=HYP.) DIURNES

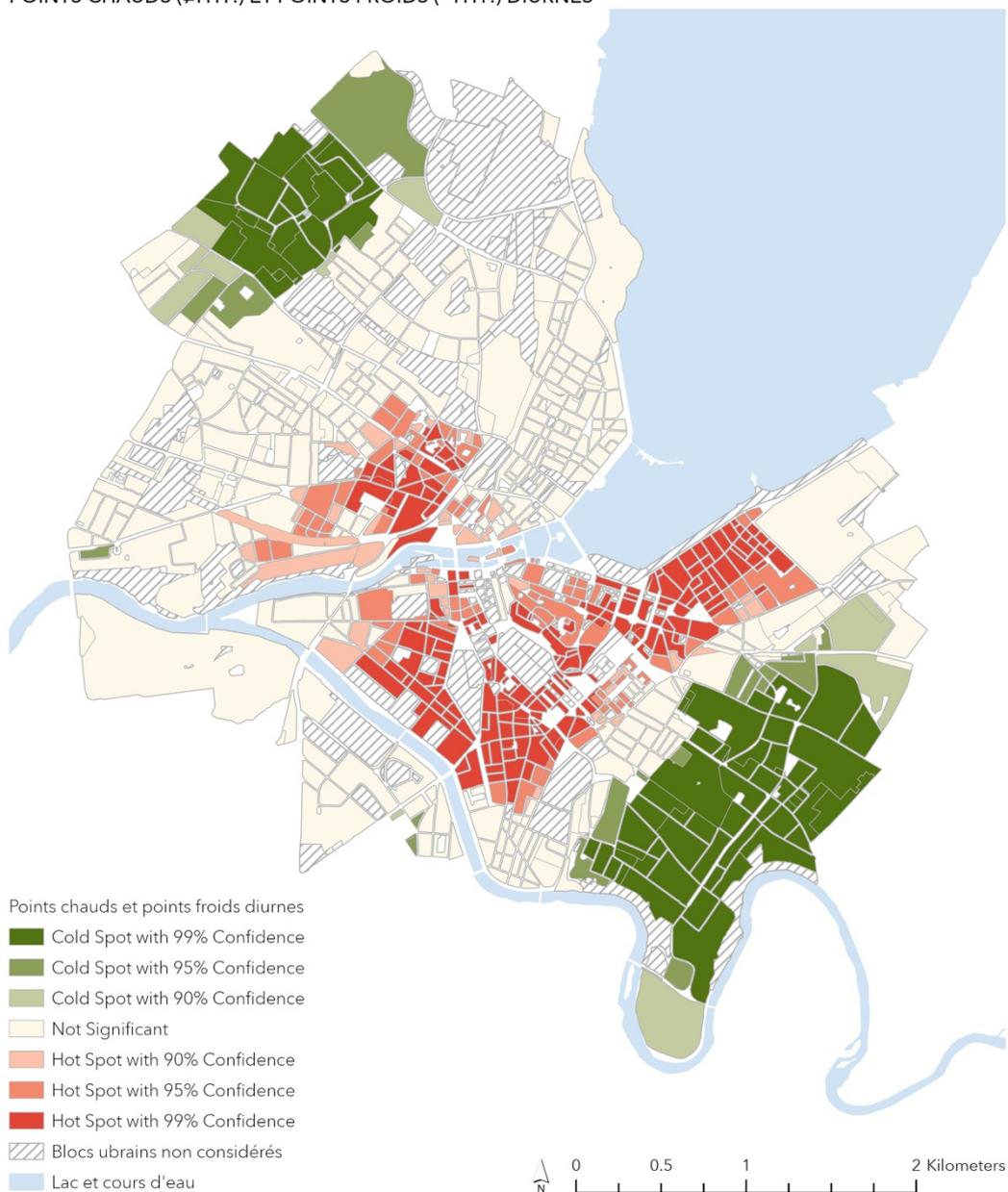
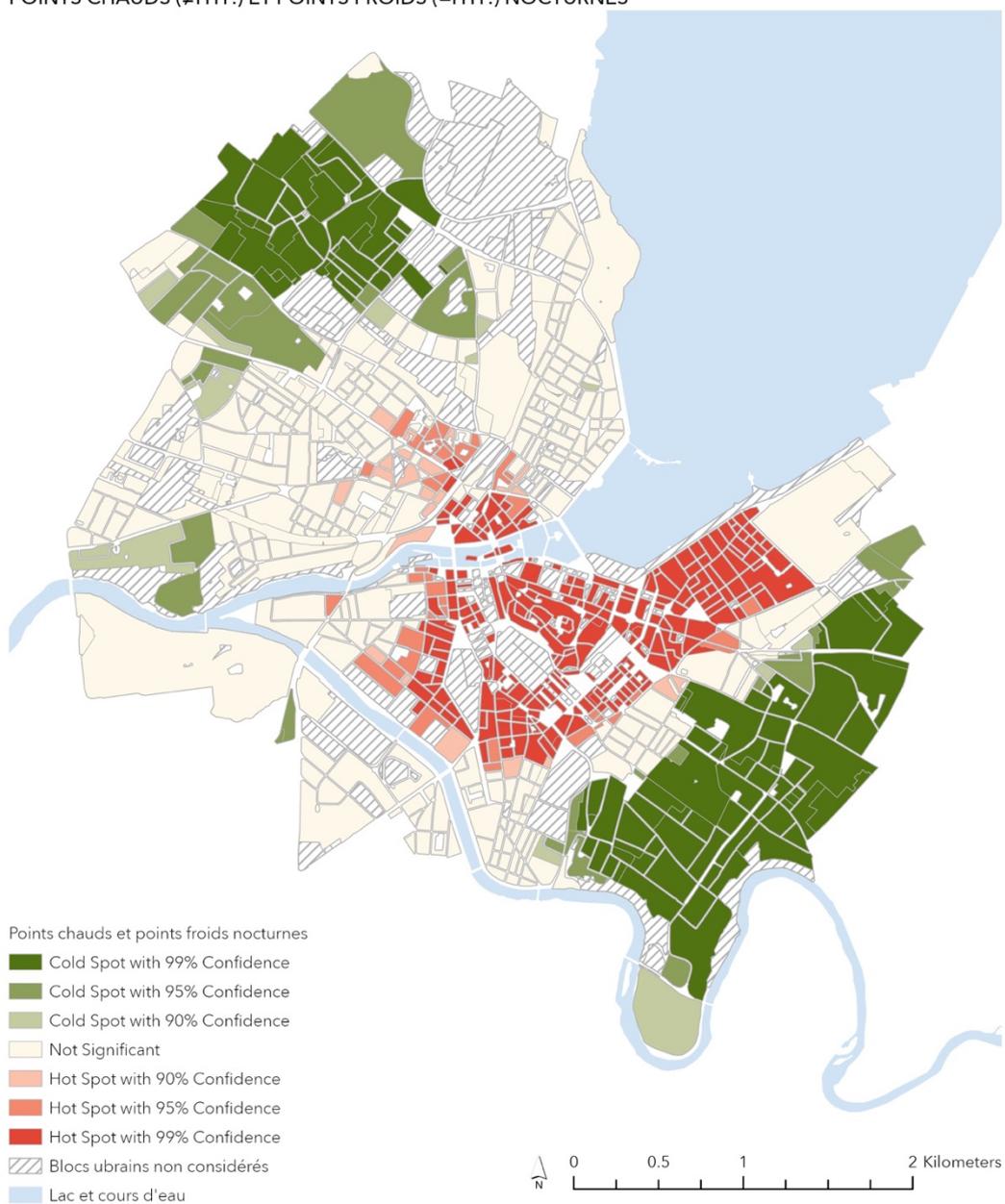


Figure 31 – Carte de l'autocorrélation spatiale entre chaleur et précarité – situation nocturne

**AUTOCORRÉLATION ENTRE CHALEUR ET SITUATION DE PRÉCARITÉ
POINTS CHAUDS (≠HYP.) ET POINTS FROIDS (=HYP.) NOCTURNES**



6. CONCLUSION CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS

Ce travail de mémoire en géomatique avait pour objectif d'analyser le potentiel lien spatial entre chaleur et situation de précarité en Ville de Genève. Différents enjeux géomatiques ont été soulevés. Il s'agissait d'affiner l'analyse en choisissant un découpage du territoire fin et pertinent, à savoir le bloc urbain. Il ensuite été question d'attribuer des valeurs de températures à chacun des blocs urbains composant le découpage territorial tout en combinant différents indicateurs témoignant de la présence (ou non) de signes de précarité dans les blocs. Les blocs urbains les plus défavorisés tant en termes de température qu'en termes de précarité ont été identifiés. Puis, une méthode d'analyse spatiale, l'autocorrélation spatiale a permis d'analyser la structure des données spatiales mobilisées dans cette étude. Finalement, chaleur et précarité ont été combinées afin d'identifier et de localiser les différents cas de figures pouvant exister sur le territoire communal.

On peut revenir sur différents points qui pourraient être approfondis. Premièrement, au sujet de l'attribution de valeurs de température moyenne pour chaque bloc urbain, on pourrait éventuellement fixer un nombre minimal de pixel par bloc urbain (en fonction de sa surface peut-être) pour considérer que la moyenne est robuste. Ceci permettrait d'écarter certains blocs urbains pour lesquels le nombre de pixel est relativement bas. Ensuite, les indicateurs (3) utilisés pour définir la situation de précarité sont assez simples et pourraient être complétés en ajoutant d'autres indicateurs afin de mieux saisir la complexité de la précarité. Concernant l'autocorrélation spatiale entre chaleur et précarité, on pourrait approfondir la réflexion et élaborer un codage différent permettant d'inclure différents cas de figures dans le but d'affiner l'étude.

Finalement, il semble important de souligner que les cartes constituent une représentation de la réalité à un moment donné. En effet, les données utilisées sont issues de recensement inscrits dans le temps. L'utilisation de ces données ainsi que les traitements effectués permettent de traduire un phénomène. La réalité, simplifiée, est traduite au moyen d'analyse sur les cartes. Au-delà du choix des analyses, les choix de mise en classe, d'unités, de représentations, de sémiologie ont tous un effet sur les résultats cartographiques. Il faut donc bien garder cela à l'esprit. De plus, la réalité est mouvante alors que la carte, comme une photographie, fige une vision de la réalité en un moment précis. Ainsi, dans notre cas ce sont les données de 2018 qui ont été analysées. Les choses ont sûrement évolué en 2023. Il pourrait être intéressant de reproduire cette analyse avec des données plus récentes. Finalement, on peut affirmer que les cartes produites permettent d'orienter, de donner une idée générale de la réalité sociale et territoriale. Ces dernières lignes visent à rappeler que la carte est donc une représentation de la réalité qui s'inscrit dans un contexte temporel et culturel.

7. BIBLIOGRAPHIE

- ArcGIS. (n.d.) Définition ou modification d'un système de coordonnées de raster. *Desktop.arcgis.com*. <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/defining-or-modifying-a-raster-coordinate-system.htm#:~:text=Définition%20ou%20modification%20d%27un%20système%20de%20coor données%20de%20raster,-ArcMap%2010.8&text=ArcGIS%2010.8.2%20est%20la,de%20migrer%20vers%20ArcGIS%20Pro> (Consulté 11.08.2023).
- Bavoux, J.-J. (2009). Chapitre 8 – Qu'est-ce que l'analyse spatiale ?. Dans J.-J. Bavoux (dir.), *La géographie* (pp.153-167). Paris : Armand Colin. <https://doi.org/10.3917/arco.bavou.2009.01.0153> (Consulté le 07.06.2023).
- Benz, S. A., et Burney, J. A. (2021). "Widespread race and class disparities in surface urban heat extremes across the United States". *Earth's Future* (9), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002016> (Consulté le 20.04.2023).
- Bouayad A. S. et De Bellefon, M.-P. (2018). Chapitre 3 - Indices d'autocorrélation spatiale. Dans V. Loonis (dir.), *MANUEL D'ANALYSE SPATIALE Théorie et mise en œuvre pratique avec R* (pp. 54-72). <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/9462787/INSEE-ESTAT-SPATIAL-ANA-18-FR.pdf> (Consulté le 08.06.2023).
- Bresson, M. (2020). *Sociologie de la précarité*. Paris : Armand Colin.
- Cadot, E. et Spira, A. (2006). « Canicule et surmortalité à Paris en août 2003 ». *Espace populations sociétés* (2-3), 239-249. DOI : <https://doi.org/10.4000/eps.1383> (Consulté le 26.04.2023).
- Centre d'Analyse Territoriale des Inégalités à Genève (CATI-GE). (2020). *Analyse des inégalités dans le canton de Genève dans le cadre de la Politique de cohésion sociale en milieu urbain – Rapport 2020*. <https://www.ge.ch/document/19368/telecharger> Consulté le 04.06.2023).
- Département du territoire (DT) & Direction de la durabilité et du climat (DCC). (2020). Guide utilisateur – Analyse climatique du canton de Genève. *Ge.ch*. <https://www.ge.ch/document/analyse-climatique-guide-utilisateur-resume-etude-complete> (Consulté le 13.07.2023).
- Desarzens, Y. & Eichenberger, V. (2017). «La précarité en Suisse aujourd'hui ». *GREA Dépendances* (57). <https://www.grea.ch/publications/1-la-precarite-en-suisse-aujourd'hui> (Consulté le 04.10. 2023).
- Direction de l'information du territoire (DTI). (2023, 25 mai). Découpage en sous-secteurs statistiques (GIREC). *Opendata.swiss*. <https://opendata.swiss/fr/dataset/decoupage-en-sous-secteurs-statistiques-girec> (Consulté le 07.06.2023).
- Fan, Y. J., et Sengupta, R. (2021). "Montreal's environmental justice problem with respect to the urban heat island phenomenon". *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien* (66-2), 307–321. DOI: <https://doi.org/10.1111/cag.12690> (Consulté le 17.04.2023).
- Géoconfluences (2023, mai). Inégalité, inégalités sociales. *Geoconfluences.ens-lyon.fr*. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/inegalites> (Consulté le 25.09.2023).
- Harlan, S., Brazela, A., Prashada, L., Stefanovb, W. et Larsenc, L. (2006). "Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress". *Social Science & Medicine* (63) 2847–2863.

- Institut d'aménagement et d'urbanisme. (2010). *Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiche connaissance*.
https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_îlots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf (Consulté le 25.09.2023).
- Klinenberg, E. (2002). *Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago*. Chicago : The University of Chicago Press.
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J. et Voogt, J. (2020). "Urban Climates and Climate Change". *Annual reviews* (45), 411-444. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083623> (Consulté le 12.04.2023).
- MicroGIS. (n.d.) Données géographiques – SWISS AREAS. *Microgis.ch*.
<https://microgis.ch/prestations/donnees-geographiques-statistiques/> (Consulté le 11.07.2023).
- National Centre for Climate Services NCCS. (n.d). Scénarios climatiques suisses. *Nccs.admin.ch*.
<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suissees.html> (Consulté le 17.04.2023).
- Office cantonal de la statistique OCSTAT. (2012). La précarité à Genève dans une optique territoriale. Communications statistiques n° 42. *Statistique.ge*.
<https://statistique.ge.ch/tel/publications/2012/analyses/communications/an-cs-2012-42.pdf> (Consulté le 23.09.2023).
- Oliveau, S. (2010). « Autocorrélation spatiale : leçons du changement d'échelle ». *L'espace géographique* (39), pp. 51-54. Paris : Éditions Belin.
- Oxford Reference. (n.d.) Socioeconomic status. *Oxfordreference.com*.
<https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803100515750> (Consulté le 25.09.2023).
- Ville de Genève. (2022). Stratégie climat de la Ville de Genève : Document technique février 2022. *Geneve.ch*. <https://www.geneve.ch/fr/document/strategie-climat-document-technique-ville-geneve> (Consulté le 23 juin 2023).
- Youmatter. (2023, 14 avril). Réchauffement climatique : définition, causes et conséquences. *Youmatter.world*. <https://youmatter.world/fr/definition/definition-rechauffement-climatique/> (Consulté le 17.04.2023).

8. ANNEXES

Annexe 1– Composition morphologique des blocs urbains

COMPOSITION VARIÉE DES BLOCS URBAINS



Sources: SITG, MicroGIS

30/09/2023

Milena Paoluzzi

COMPOSITION VARIÉE DES BLOCS URBAINS - ZOOM



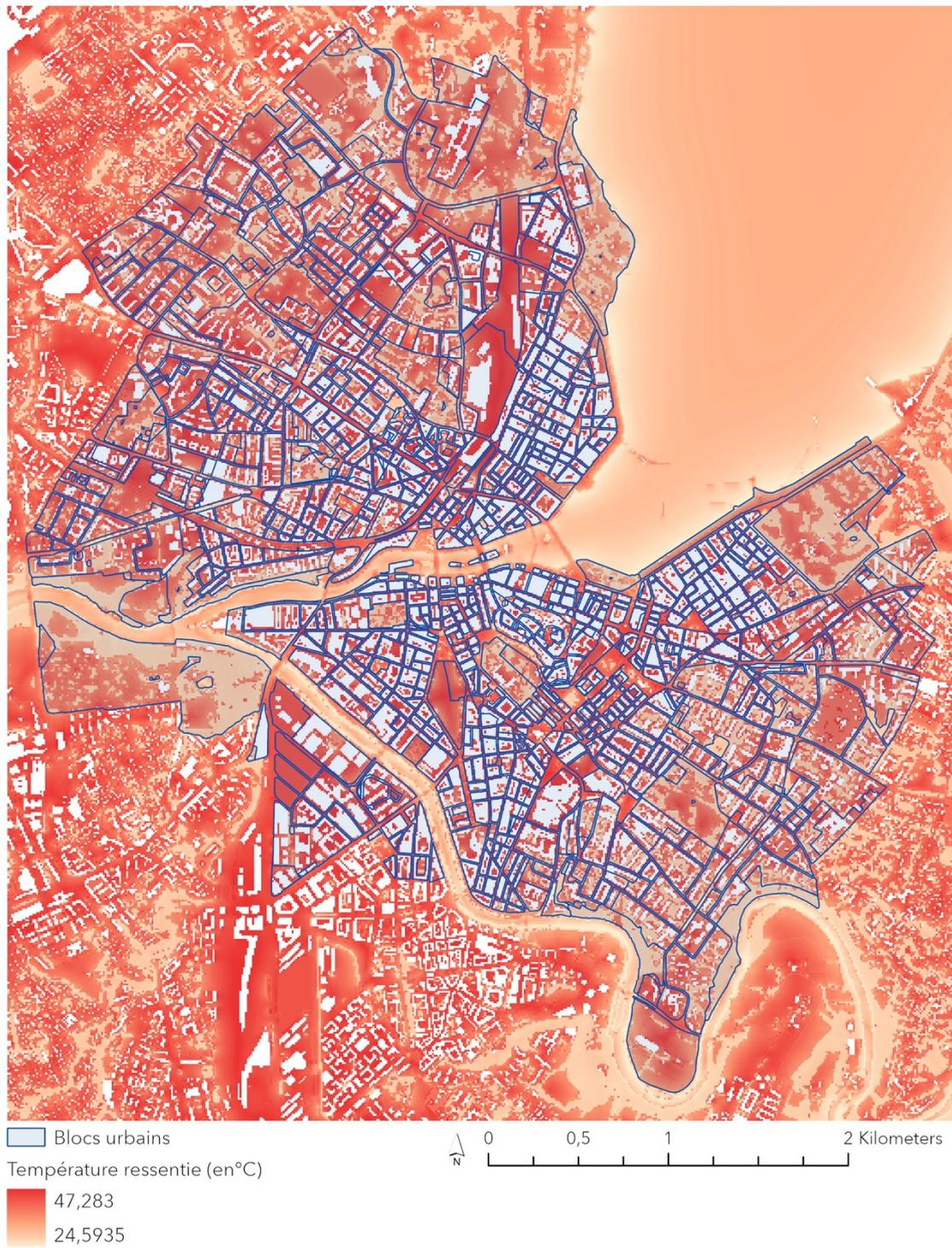
Sources: SITG, MicroGIS

30/09/2023

Milena Paoluzzi

Annexe 2 – Superposition de la couche raster PET et de la couche vecteur des blocs urbains

TEMPÉRATURE RESENTIE (EN °C) ET BLOCS URBAINS



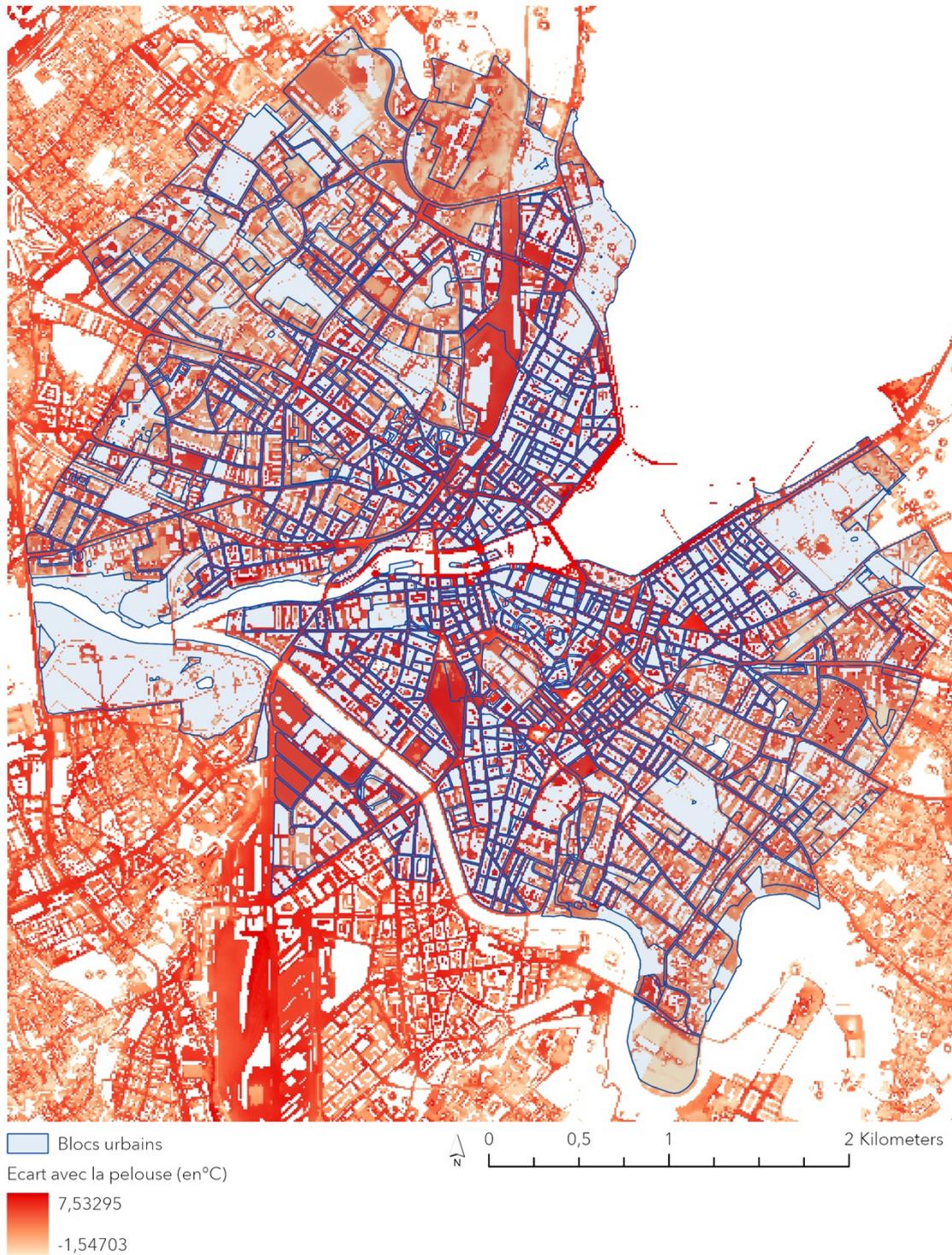
Sources: SITG, MicroGIS

30/09/2023

Milena Paoluzzi

Annexe 3 – Superposition de la couche raster ICU et de la couche vecteur des blocs urbains

EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR (ÉCART AVEC LA PELOUSE EN °C) ET BLOCS URBAINS



Sources: SITG, MicroGIS

30/09/2023

Milena Paoluzzi