

Projet Recherche Innovation 2025-2026

Analyse de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains : Emprunts à la méthodologie des risques naturels

Sous la direction de :
Kamal Serhrini

Arthur Tarroux

Vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains : Emprunts à la méthodologie des risques naturels

Kamal Serhrini

Arthur Tarroux

2026

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur de cette recherche a signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet recherche innovation en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet recherche innovation (PRI) situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à **Monsieur Kamal Serrhini**, directeur de recherche de ce projet, pour son encadrement, ses conseils méthodologiques et la disponibilité qu'il a accordée tout au long de ce travail. Ses remarques et son accompagnement ont été déterminants dans la structuration de la démarche de recherche et dans la conduite de cette étude.

SOMMAIRE

Table des matières

Tables des illustrations	7
Propos introductif.....	8
Note sur l'utilisation de l'intelligence artificielle	8
1. État de l'art.....	9
1.1 Les îlots de chaleur urbains	9
1.2 Les méthodes issues de l'analyse des risques naturels.....	10
1.2.1 Les indicateurs de vulnérabilité.....	10
1.2.2 Les courbes de dommage et leurs limites.....	11
2. Méthodologie de recherche : construction d'un indice de vulnérabilité aux ICU	12
2.1 Site d'étude et échelle d'analyse	13
2.2 Vulnérabilité structurelle.....	14
2.3 Vulnérabilité humaine	17
2.3.1 Vulnérabilité liée aux conditions de logement.....	19
2.3.2 Vulnérabilité structurelle des personnes	21
2.3.3 Vulnérabilité sociale.....	23
2.3.4 Construction de l'indicateur de vulnérabilité humaine	25
2.4 Construction de l'indicateur global de vulnérabilité	27
3. Discussion et perspectives.....	29
3.1 Discussion des résultats.....	29
3.2 Apports et limites méthodologiques.....	29
3.3 Intérêts opérationnels pour l'aménagement et l'action publique	30
3.4 Perspectives de recherche.....	30
Conclusion.....	31
Bibliographie	32
Annexe	33

Tables des illustrations

Figure 1: carte de l'intensité du rayonnement solaire	15
Figure 2: Carte de l'indice de vulnérabilité structurelle	16
Figure 3 : Carte de l'indice de vulnérabilité des personnes	18
Figure 4: Carte de l'indice de vulnérabilité des logements.....	20
Figure 5 : Carte de l'indice de vulnérabilité des personnes	22
Figure 6 : Carte de l'indice de vulnérabilité sociale	24
Figure 7: Carte de l'indice de vulnérabilité humaine.....	26
Figure 8: Carte de l'indice de vulnérabilité global	28

Propos introductif

Le changement climatique entraîne une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, dont les effets sont particulièrement marqués en milieu urbain. La morphologie des villes, la nature des matériaux utilisés, la densité du bâti et les activités humaines contribuent à l'émergence d'îlots de chaleur urbains, considérés comme « la manifestation climatique la plus concrète de la présence et des activités de la ville » (Cantat, 2004). Ces phénomènes constituent aujourd'hui un enjeu majeur pour les territoires, non seulement en raison de leurs impacts climatiques, mais surtout au regard de leurs conséquences sanitaires et sociales. Les épisodes de chaleur extrême mettent en évidence de fortes inégalités face à l'exposition et à la capacité d'adaptation des populations, révélant que tous les habitants ne sont pas affectés de la même manière par la chaleur urbaine.

Dans le champ des risques naturels, de nombreux travaux ont montré que les dommages ne résultent pas uniquement de l'intensité de l'aléa, mais de l'interaction entre cet aléa, l'exposition des territoires et la vulnérabilité des populations. Ces approches ont donné lieu au développement de cadres méthodologiques et d'outils d'analyse de la vulnérabilité, fondés sur des indicateurs structurels, sociaux et humains, permettant d'identifier les secteurs et les groupes les plus susceptibles de subir des impacts. Pourtant, ces méthodes restent encore peu mobilisées pour l'étude des îlots de chaleur urbains, alors même que ceux-ci peuvent être appréhendés comme un risque climatique à part entière. Ce projet de recherche propose ainsi d'emprunter et de transposer les méthodes issues de l'analyse des risques naturels à l'étude des ICU, à travers la construction d'un indice composite de vulnérabilité à l'échelle infra-urbaine. Appliquée à la ville de Tours, cette démarche vise à identifier les secteurs les plus vulnérables à la chaleur en combinant des indicateurs relatifs au bâti, aux caractéristiques humaines et sociales des populations et à leur exposition au rayonnement solaire, dans une perspective à la fois méthodologique et opérationnelle.

Note sur l'utilisation de l'intelligence artificielle

Dans le cadre de ce travail, un outil d'intelligence artificielle a été utilisé à des fins d'assistance linguistique, notamment pour la correction de la langue, la reformulation de phrases et l'amélioration de la clarté rédactionnelle. L'outil n'a pas été utilisé pour produire des données, des résultats ou des analyses scientifiques. L'ensemble des choix méthodologiques, des interprétations et des contenus scientifiques demeure de la responsabilité exclusive de l'auteur.

1. État de l'art

1.1 Les îlots de chaleur urbains

Les îlots de chaleur urbains (ICU) constituent un phénomène climatique urbain largement documenté dans la littérature scientifique (Oke, 1982). Ils correspondent à une élévation locale de la température en milieu urbanisé par rapport aux espaces ruraux environnants, résultant des modifications des bilans énergétiques et radiatifs induites par l'urbanisation (Oke, 1982 ; Oke, 2012). Ce différentiel thermique est observé dans la majorité des contextes urbains et présente une variabilité temporelle marquée, avec des intensités généralement plus élevées lors de situations météorologiques stables, notamment en période estivale, et durant la nuit.

Parmi les mécanismes physiques à l'origine des ICU, le rayonnement solaire joue un rôle central dans le réchauffement des surfaces urbaines. Les matériaux minéraux caractéristiques du milieu urbain présentent des propriétés radiatives favorisant l'absorption du rayonnement solaire et le stockage de l'énergie au cours de la journée, en raison notamment d'une faible réflectivité et d'une forte inertie thermique (Oke, 1987 ; Santamouris, 2015). L'énergie ainsi accumulée est ensuite restituée progressivement à l'atmosphère, contribuant au maintien de températures élevées, en particulier durant la nuit, période au cours de laquelle les contrastes thermiques entre espaces urbanisés et ruraux sont les plus marqués.

La morphologie urbaine conditionne également la distribution spatiale du rayonnement solaire et les processus de stockage thermique. La densité du bâti, la hauteur des constructions et l'orientation des rues influencent les conditions d'ensoleillement, les phénomènes d'ombrage et les réflexions multiples entre les surfaces urbaines, modifiant localement les bilans radiatifs (Oke, 1987). Ces éléments contribuent à une forte hétérogénéité intra-urbaine des ICU, observable à des échelles fines, et expliquent que certains secteurs urbains présentent des intensités d'îlots de chaleur plus marquées que d'autres.

Les travaux de recherche ont ainsi montré que l'intensité et la distribution spatiale des ICU sont étroitement liées à la capacité des surfaces urbaines à absorber et à restituer l'énergie solaire. Cette variabilité s'explique par les contrastes de formes urbaines, d'usages du sol et de couverture végétale, cette dernière jouant un rôle modérateur dans le bilan radiatif urbain (Masson et al., 2002 ; Leconte et al., 2015). L'analyse de ces contrastes constitue un enjeu central pour la compréhension des mécanismes des ICU à l'échelle infra-urbaine.

Enfin, les ICU sont étroitement associés aux vagues de chaleur, dont les impacts sanitaires ont été largement documentés. Les températures nocturnes élevées, résultant en partie de l'énergie solaire accumulée durant la journée, constituent un facteur aggravant des effets de la chaleur sur la santé, en limitant les capacités de récupération physiologique des populations exposées (INVS, 2003 ; Santé publique France, 2023). Ces constats justifient l'intégration des ICU dans l'analyse des risques climatiques urbains et soulignent l'intérêt d'approches permettant de spatialiser l'exposition au rayonnement solaire.

1.2 Les méthodes issues de l'analyse des risques naturels

Il existe des méthodes d'analyse des risques naturels qui reposent sur l'interaction entre un aléa, des éléments exposés et leur vulnérabilité. Cette approche est largement mobilisée dans la littérature scientifique pour analyser et comparer les impacts potentiels des phénomènes naturels, en considérant que les dommages résultent de la combinaison de ces trois composantes plutôt que de l'intensité de l'aléa seul (UNISDR, 2009 ; Birkmann, 2006 ; Fuchs et al., 2012).

Dans ce cadre, deux grandes familles de méthodes sont principalement mobilisées. La première repose sur l'utilisation d'indicateurs de vulnérabilité, permettant de caractériser la sensibilité et la capacité d'adaptation des territoires et des populations à partir de variables structurelles et sociales. La seconde s'appuie sur des courbes de dommage, qui établissent une relation entre l'intensité de l'aléa et les dommages observés ou estimés sur les éléments exposés. Ces deux approches, largement développées dans le champ des risques naturels, présentent des logiques, des objectifs et des conditions d'application distincts, qui sont présentés dans les sections suivantes.

1.2.1 Les indicateurs de vulnérabilité

Les indicateurs de vulnérabilité constituent une approche largement mobilisée dans l'analyse des risques naturels pour caractériser la sensibilité et la capacité d'adaptation des territoires et des populations face à un aléa donné. Ils reposent sur la construction d'indices composites, obtenus par l'agrégation de variables sociales, démographiques, économiques ou structurelles, sélectionnées en fonction du contexte étudié (Cutter et al., 2003 ; Birkmann, 2006). Cette approche permet de représenter la vulnérabilité indépendamment de données directes sur les dommages observés.

Dans la littérature, l'un des cadres de référence est le Social Vulnerability Index (SoVI), développé par Cutter et al. (2003), qui vise à mesurer la vulnérabilité sociale face aux aléas naturels à partir de variables socio-démographiques telles que l'âge, la structure des ménages, le niveau de revenu ou les conditions de logement. Cette approche a été reprise et adaptée dans différents contextes de risque, montrant la pertinence des indicateurs pour comparer la vulnérabilité relative des territoires exposés.

Dans le champ des risques sanitaires, le Social Vulnerability Index (SVI) proposé par le Centers for Disease Control and Prevention (CDC) repose sur une logique comparable. Il vise à identifier les populations les plus vulnérables lors d'événements sanitaires extrêmes, notamment les vagues de chaleur, à partir de variables sociales et démographiques (CDC, 2018). Ces travaux soulignent l'intérêt des indicateurs pour analyser des risques dont les impacts sont diffus et fortement dépendants des caractéristiques sociales des populations.

Les approches par indicateurs sont également mobilisées lorsque les données empiriques sur les dommages sont limitées ou difficiles à établir. La méthode PTVA (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment) illustre cette logique en proposant une évaluation de la vulnérabilité fondée sur un indice composite pondéré, sans recours direct à des données de pertes observées (Papathoma-Köhle et al., 2010). Ce type d'approche met l'accent sur la structure des territoires et des populations comme déterminant des impacts potentiels.

La littérature souligne toutefois certaines limites des indicateurs de vulnérabilité. Les résultats sont sensibles aux choix de variables, aux méthodes de normalisation et aux pondérations retenues, ce qui nécessite une justification méthodologique explicite (Birkmann, 2006 ; Papathoma-Köhle et al., 2019). Par ailleurs, le recours à des indicateurs agrégés comporte un risque de lisser des situations locales fines, en particulier lorsque l'analyse est conduite à des échelles spatiales intermédiaires. Malgré ces limites, les indicateurs constituent des outils opérationnels et reproductibles, particulièrement adaptés à l'analyse spatialisée de risques complexes ou émergents.

1.2.2 Les courbes de dommage et leurs limites

Les courbes de dommage constituent une méthode classique de l'analyse des risques naturels visant à établir une relation fonctionnelle entre l'intensité d'un aléa et le niveau de dommages subis par les éléments exposés, tels que le bâti, les infrastructures ou les activités économiques. Ces relations sont généralement construites à partir de données empiriques issues de retours d'expérience, d'enquêtes post-événement ou de modélisations, et permettent d'estimer les pertes potentielles associées à différents niveaux d'intensité de l'aléa (Fuchs et al., 2012 ; Birkmann, 2006).

Dans la littérature, les courbes de dommage sont principalement mobilisées pour l'analyse de risques naturels à impacts matériels bien identifiés. Le programme HAZUS, développé par la Federal Emergency Management Agency (FEMA), constitue un exemple de référence. Il s'agit d'un outil de modélisation des pertes potentielles liées aux séismes, aux inondations et aux ouragans, fondé sur des courbes de dommage reliant l'intensité de l'aléa aux dommages attendus sur le bâti, les infrastructures et les populations (FEMA, 2012). Ces courbes sont calibrées à partir de données empiriques et de typologies de bâtiments, permettant des estimations pertes.

À l'échelle européenne, le projet Risk-UE propose une approche comparable pour l'évaluation du risque sismique en milieu urbain. Il repose sur la construction de courbes de vulnérabilité et de dommage associant différents niveaux d'intensité sismique à des degrés de dommages sur le bâti, en fonction de typologies constructives et de contextes urbains spécifiques (Risk-UE, 2004). Cette méthode vise à produire des scénarios de dommages spatialisés afin d'appuyer la gestion du risque et la planification urbaine.

Toutefois, l'utilisation des courbes de dommage repose sur plusieurs hypothèses fortes. Elle suppose l'existence de données détaillées et homogènes sur les dommages observés, ainsi qu'une relation relativement stable entre l'intensité de l'aléa et les pertes subies. La construction de ces courbes nécessite également des typologies précises des éléments exposés et un nombre suffisant de retours d'expérience pour assurer leur robustesse (Birkmann, 2006 ; Fuchs et al., 2012). Ces contraintes méthodologiques peuvent limiter leur applicabilité à certains contextes de risque ou à certaines échelles spatiales.

2. Méthodologie de recherche : construction d'un indice de vulnérabilité aux ICU

Les îlots de chaleur urbains (ICU) constituent un phénomène climatique urbain aux impacts multiples, dont les enjeux humains occupent une place centrale. Comme montré dans l'état de l'art, les ICU peuvent être appréhendés comme un risque environnemental urbain, résultant de l'interaction entre un aléa climatique, une exposition spatiale et la vulnérabilité des populations concernées. Cette lecture, issue du champ de l'analyse des risques naturels, permet de dépasser une approche strictement physique du phénomène pour intégrer les dimensions humaines et territoriales qui conditionnent ses impacts.

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, l'aléa thermique associé aux ICU est appelé à s'intensifier. Les moyens d'action sur l'aléa thermique étant limités, il apparaît pertinent de s'interroger sur les facteurs qui influencent les impacts des îlots de chaleur urbains sur les populations. L'analyse se concentre ainsi sur les éléments qui conditionnent la sensibilité des territoires et des populations face aux fortes chaleurs.

Objectif du travail : transposer une méthode issue de l'analyse des risques naturels à l'étude des îlots de chaleur urbains.

L'objectif de ce travail est de mettre en œuvre cette transposition à travers la construction d'un indice composite de vulnérabilité aux ICU. Cette démarche vise à déplacer l'analyse des seuls espaces les plus exposés vers les espaces et les populations les plus vulnérables, afin de mieux prendre en compte les enjeux humains dans une perspective d'aménagement et d'adaptation des territoires.

La vulnérabilité aux ICU est appréhendée en distinguant plusieurs composantes, correspondant aux caractéristiques du bâti, aux profils des populations et aux facteurs sociaux, afin de structurer l'analyse et la construction de l'indice. Ces différentes composantes sont ensuite combinées au sein d'un indicateur synthétique, construit à partir de données statistiques et spatialisées à l'échelle infra-urbaine.

Cette démarche méthodologique est appliquée à la ville de Tours, retenue comme étude de cas. Le choix de ce territoire permet de mobiliser des données disponibles à des échelles fines et d'illustrer la capacité de l'indice à révéler des contrastes spatiaux de vulnérabilité au sein d'un espace urbain. L'objectif n'est pas de produire une mesure exhaustive des impacts des ICU, mais de proposer un outil méthodologique reproductible, susceptible d'alimenter la réflexion en matière de gestion du risque thermique et de politiques d'adaptation en milieu urbain.

Cette démarche vise à proposer un cadre méthodologique permettant de caractériser et de comparer la vulnérabilité aux ICU à l'échelle infra-urbaine.

2.1 Site d'étude et échelle d'analyse

La ville de Tours se situe dans le département de l'Indre-et-Loire, en région Centre-Val de Loire. Commune centre de son aire urbaine, elle constitue un pôle urbain structurant à l'échelle départementale et régionale. En 2022, la commune compte 152 953 habitants et 98 947 logements, selon les données de l'INSEE.

Ce territoire présente une diversité de formes urbaines, de caractéristiques du bâti et de profils socio-démographiques, associée à une concentration importante d'enjeux humains. Ces éléments en font un terrain d'étude pertinent pour l'analyse de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains, dans une perspective méthodologique fondée sur la transposition des approches issues de l'analyse des risques naturels.

Le choix de la ville de Tours s'inscrit ainsi dans une logique d'étude de cas permettant d'appliquer et de tester la construction d'un indice de vulnérabilité aux ICU sur un territoire urbain de taille intermédiaire, disposant de données statistiques et spatialisées adaptées à une analyse infra-urbaine

2.2 Vulnérabilité structurelle

La première étape de la construction de l'indice consiste à évaluer la vulnérabilité structurelle, entendue comme un degré d'exposition au rayonnement solaire à la surface du territoire. Cette composante vise à caractériser l'exposition physique au phénomène thermique, indépendamment des caractéristiques des populations, dans une logique issue de l'analyse des risques naturels distinguant l'exposition à l'aléa et la vulnérabilité humaine.

Afin de modéliser cette exposition, le logiciel de géomatique ArcGIS a été mobilisé pour produire une carte du rayonnement solaire à l'échelle du territoire étudié. Le calcul du rayonnement solaire repose sur la modélisation de l'énergie reçue par les surfaces, laquelle dépend notamment de leur orientation, de leur inclinaison et des ombrages induits par les éléments présents à la surface.

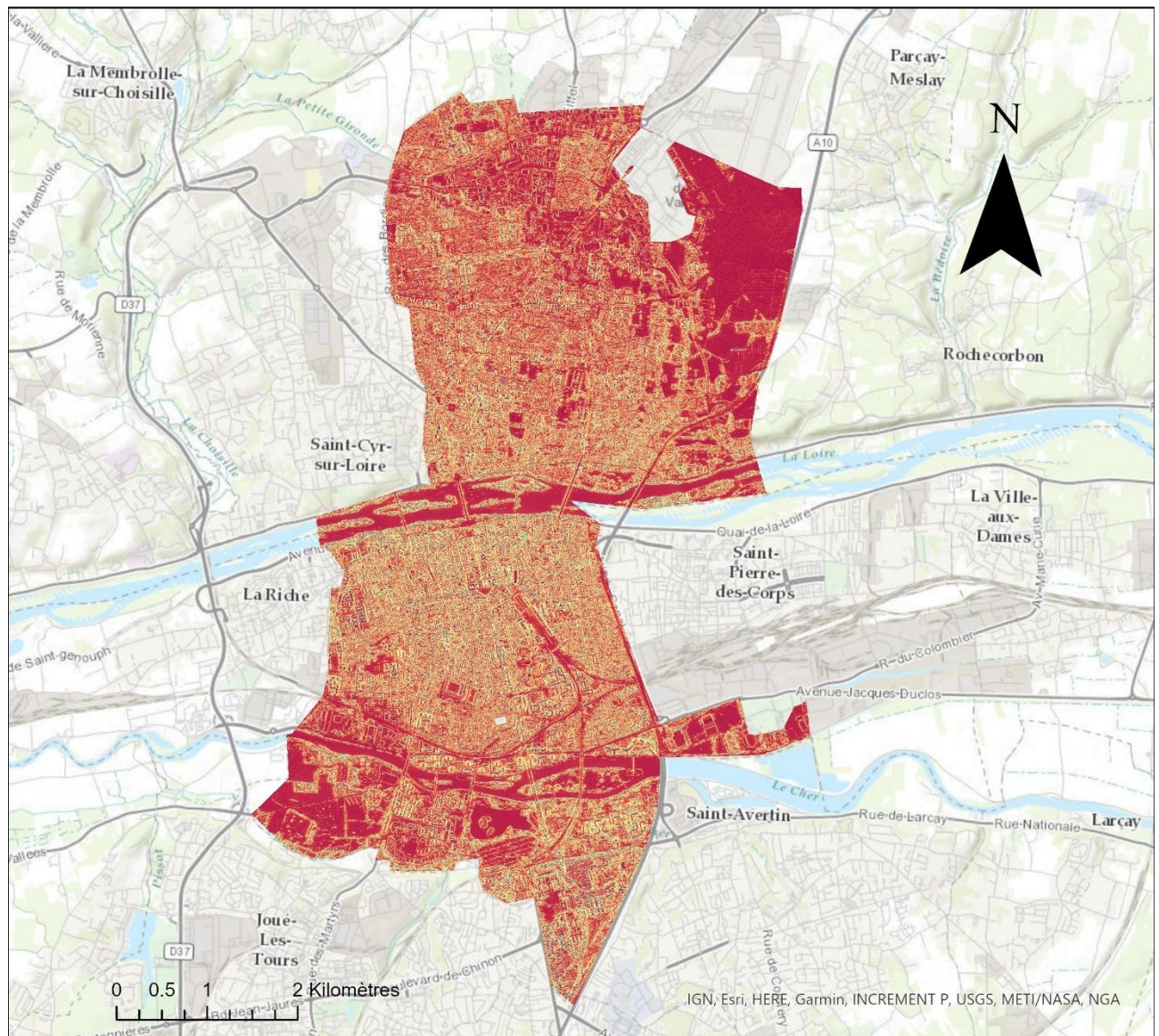
Ces éléments sont pris en compte à partir d'un Modèle Numérique de Surface (MNS) produit par l'IGN et publié en 2025, permettant d'intégrer la géométrie du terrain ainsi que l'ensemble des éléments surfaciques susceptibles d'influencer l'ensoleillement. À partir de ce MNS, une modélisation du rayonnement solaire a été réalisée afin de quantifier l'énergie solaire reçue à la surface du territoire le 15 juillet, sur une période de 0 h à 24 h. Les résultats sont exprimés en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²).

La carte de rayonnement solaire obtenue présente une résolution spatiale fine, avec des unités de surface initiales de 0,5 m × 0,5 m. Afin de rendre cette information exploitable dans le cadre de la construction de l'indice de vulnérabilité et compatible avec les autres données mobilisées, une agrégation spatiale a été réalisée. Les valeurs de rayonnement solaire ont ainsi été agrégées à une maille de 100 m × 100 m, permettant de réduire la variabilité très locale tout en conservant les contrastes spatiaux pertinents à l'échelle de l'analyse.

Afin de rendre cette information comparable avec les autres composantes de la vulnérabilité, les valeurs de rayonnement solaire ont été standardisées sur une échelle discrète de 1 à 5. La classification repose sur la méthode des seuils naturels de Jenks, permettant de regrouper les valeurs en classes homogènes. Cette standardisation facilite l'agrégation de la vulnérabilité structurelle au sein de l'indice global.

La vulnérabilité structurelle, ainsi modélisée, agrégée et standardisée, constitue l'une des composantes de l'indice global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains. Elle est combinée, dans les sections suivantes, avec les dimensions humaines et sociales de la vulnérabilité afin de proposer une approche globale et structurée de la vulnérabilité aux ICU à l'échelle urbaine.

Intensité du rayonnement solaire – Tours



Légende

Intensité solaire

Valeur



Données :

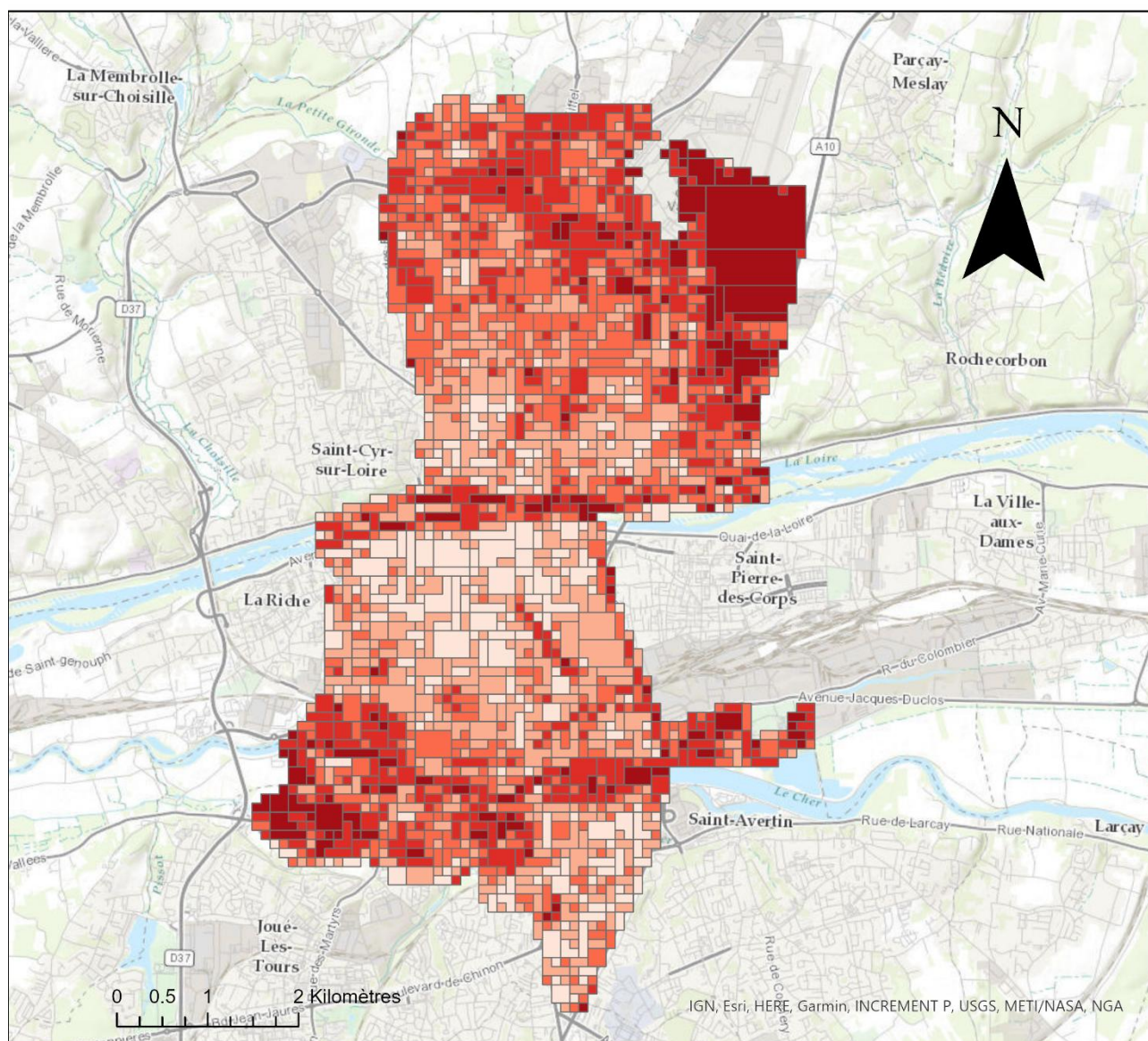
MNS : IGN, 2025

Réalisation :

Arthur Tarrow, janvier 2026

Figure 1: carte de l'intensité du rayonnement solaire

Indice de vulnérabilité structurelle (rayonnement solaire) – Tours



Légende

Vulnérabilité structurelle
gridcode

- 1 (1 - 1,36)
- 2 (1,36 - 1,60)
- 3 (1,60 - 2,07)
- 4 (2,07 - 2,49)
- 5 (2,44 - 5)

Données :
MNS : IGN, 2025

Réalisation :
Arthur Tarroux, janvier 2026

Figure 2: Carte de l'indice de vulnérabilité structurelle

2.3 Vulnérabilité humaine

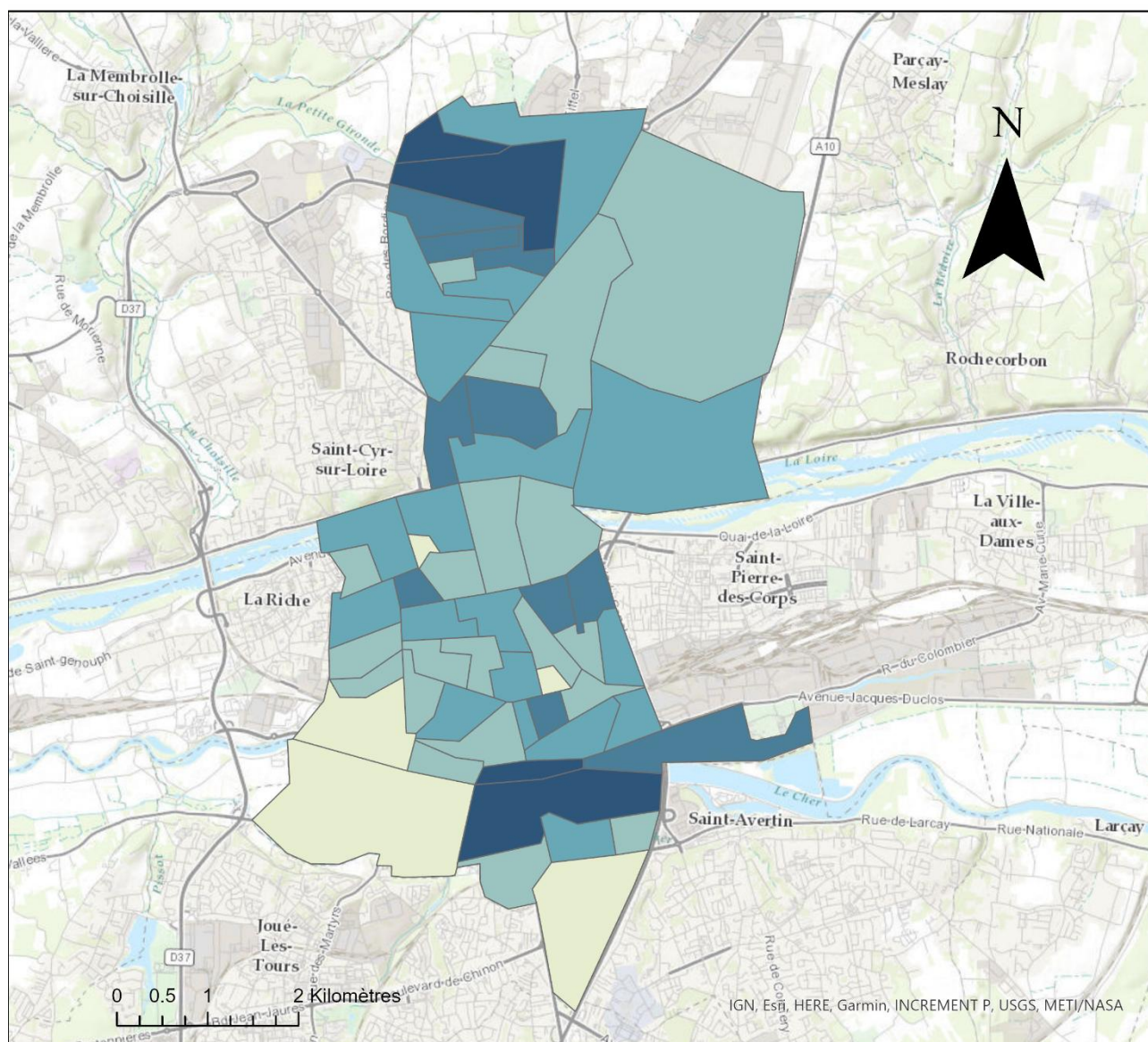
En complément de la vulnérabilité structurelle, l'analyse intègre une vulnérabilité humaine, qui renvoie aux caractéristiques des populations susceptibles d'influencer leur sensibilité aux fortes chaleurs et leur capacité d'adaptation face aux îlots de chaleur urbains. Dans le cadre des approches issues de l'analyse des risques naturels, cette dimension permet de rendre compte du fait que, pour un même niveau d'exposition, les impacts d'un aléa peuvent varier fortement selon les profils des populations concernées.

La vulnérabilité humaine est appréhendée à travers plusieurs composantes complémentaires, permettant de distinguer différents mécanismes contribuant aux impacts des ICU. Elle repose sur l'exploitation des données statistiques de l'INSEE (2022), mobilisées à l'échelle des IRIS, afin de caractériser les populations résidant dans les secteurs étudiés. Ce niveau d'analyse permet de mettre en évidence des contrastes intra-urbains tout en s'appuyant sur des données homogènes et comparables.

Trois sous-dimensions sont retenues : une vulnérabilité liée aux conditions de logement, une vulnérabilité structurelle des personnes, et une vulnérabilité sociale. Cette décomposition permet de structurer l'analyse et de faciliter la construction d'indicateurs comparables et agrégables au sein de l'indice global.

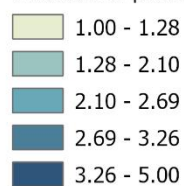
La section **2.3.1** porte sur la vulnérabilité liée aux conditions de logement, en s'intéressant à des éléments susceptibles d'influencer l'exposition et les capacités d'adaptation des ménages face à la chaleur. La section **2.3.2** aborde la vulnérabilité structurelle des personnes, en mobilisant des caractéristiques démographiques associées à une sensibilité accrue aux fortes températures. Enfin, la section **2.3.3** traite de la vulnérabilité sociale, en intégrant des facteurs socio-économiques susceptibles de limiter les capacités d'adaptation des populations face aux épisodes de chaleur.

Indice de vulnérabilité des personnes Tours



Légende

V structurelle personnes



Données :

Age : INSEE, 2022

Réalisation :

Arthur Tarrow, janvier 2026

Figure 3 : Carte de l'indice de vulnérabilité des personnes

2.3.1 Vulnérabilité liée aux conditions de logement

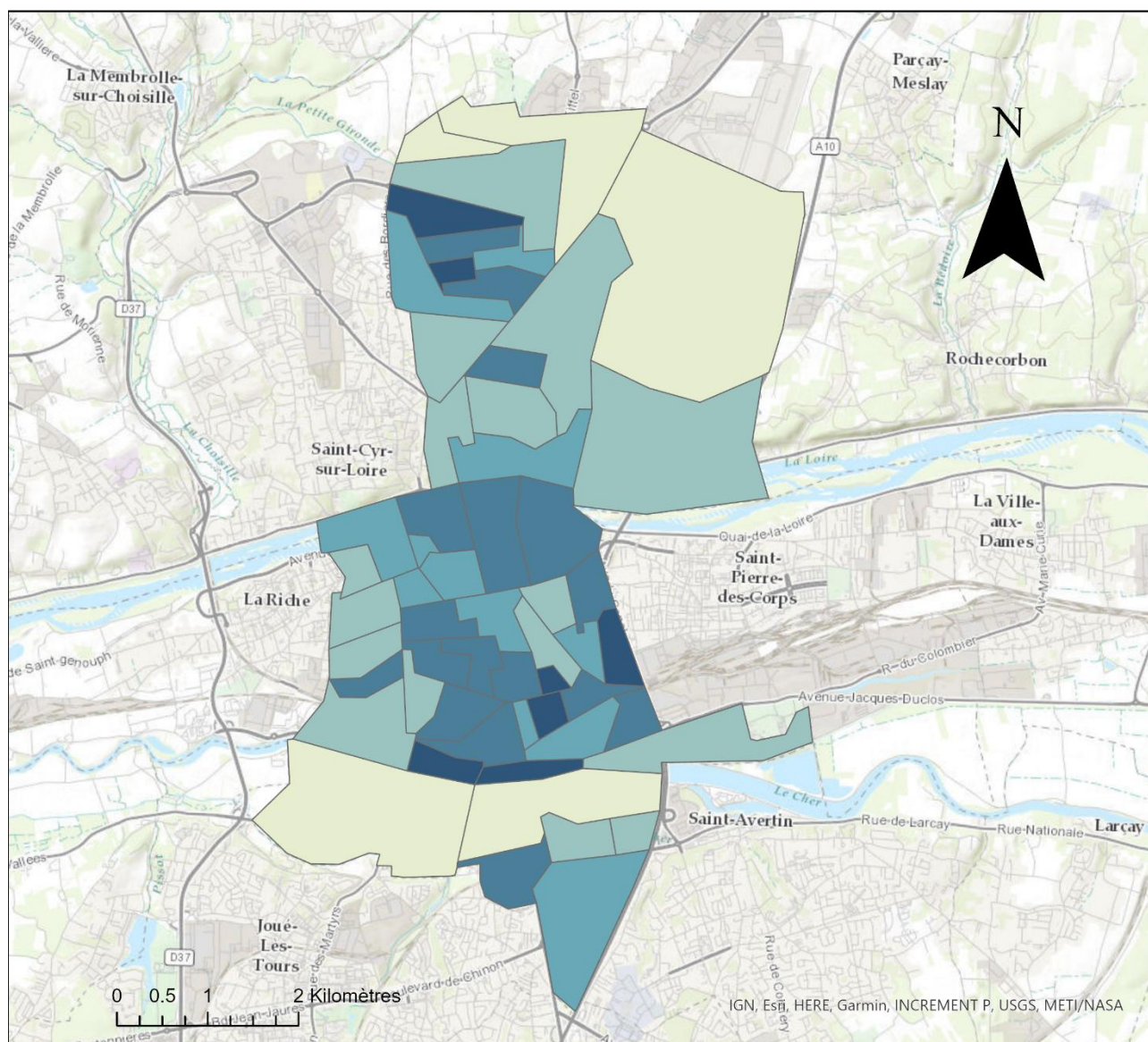
La vulnérabilité liée aux conditions de logement vise à prendre en compte les caractéristiques résidentielles susceptibles d'influencer la sensibilité des ménages face aux épisodes de fortes chaleurs. Cette dimension est ici appréhendée à travers une seule variable, relative à l'ancienneté du parc de logements.

La variable retenue correspond à la part des logements construits avant les années 1970. Ce choix s'appuie sur la littérature et sur les cadres réglementaires français, qui identifient cette période comme antérieure aux premières réglementations thermiques nationales, notamment la réglementation thermique de 1974. Les logements construits avant cette date présentent, en moyenne, des performances thermiques estivales plus faibles, en raison de caractéristiques constructives peu adaptées à la limitation des gains de chaleur, ce qui peut favoriser l'accumulation de chaleur en période estivale (ADEME, 2018 ; Santamouris, 2015).

Les données relatives à l'ancienneté du parc de logements sont issues des statistiques de l'INSEE (2022) et exploitées à l'échelle des IRIS. Pour chaque unité spatiale, la part de logements construits avant les années 1970 est calculée et utilisée comme indicateur de vulnérabilité liée aux conditions de logement.

Cette variable est continue et a été normalisée selon une méthode min-max, puis projetée sur une échelle continue de 1 à 5, où 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus faible et 5 au niveau de vulnérabilité le plus élevé. Cette standardisation permet de conserver la continuité de l'information tout en facilitant l'agrégation de la vulnérabilité liée aux conditions de logement au sein de l'indice global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains.

Indice de vulnérabilité logement – Tours



Légende

V logement

1.00 - 1.86
1.86 - 2.72
2.72 - 3.54
3.54 - 4.27
4.27 - 5.00

Données :

Logement : INSEE, 2022

Réalisation :

Arthur Tarrow, janvier 2026

Figure 4: Carte de l'indice de vulnérabilité des logements

2.3.2 Vulnérabilité structurelle des personnes

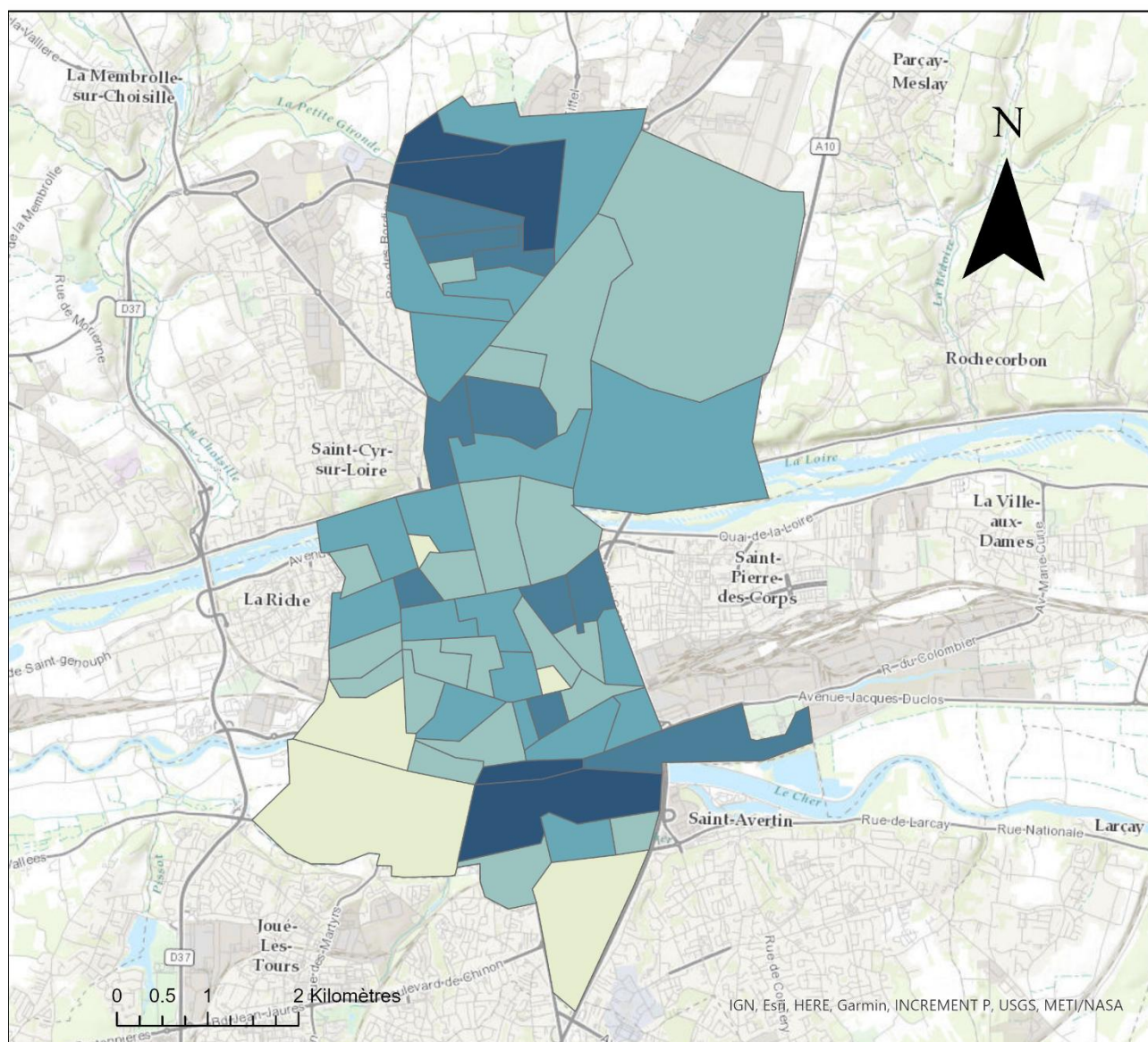
La vulnérabilité structurelle des personnes renvoie aux caractéristiques physiologiques susceptibles d'influencer la sensibilité individuelle aux fortes chaleurs. Dans le cadre des îlots de chaleur urbains, l'âge constitue un facteur de vulnérabilité face aux fortes chaleurs, comme l'ont montré des rapports institutionnels, notamment à l'occasion de la canicule de 2003 en France (INVS, 2004).

Les personnes âgées présentent une sensibilité accrue aux températures élevées, liée à des mécanismes physiologiques associés au vieillissement, tels qu'une diminution des capacités de thermorégulation. Par ailleurs, le vieillissement s'accompagne d'une prévalence plus élevée de maladies chroniques, susceptible de limiter les capacités d'adaptation face aux épisodes de chaleur. Ces éléments sont documentés par l'Organisation mondiale de la santé, tant dans ses travaux sur les impacts sanitaires de la chaleur que dans ses analyses plus générales du vieillissement et de la santé (OMS, 2015 ; OMS, 2018).

La variable retenue pour appréhender cette dimension correspond à la part de la population âgée de 65 ans et plus. Les données relatives à la structure par âge de la population sont issues des statistiques de l'INSEE (2022) et exploitées à l'échelle des IRIS. Pour chaque unité spatiale, la part des personnes âgées de 65 ans et plus est calculée et mobilisée comme indicateur de vulnérabilité structurelle des personnes face aux îlots de chaleur urbains.

Cette variable est continue et a été normalisée selon une méthode min-max, puis projetée sur une échelle continue de 1 à 5, où 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus faible et 5 au niveau de vulnérabilité le plus élevé. Cette standardisation permet de conserver la continuité de l'information tout en facilitant l'agrégation de la vulnérabilité structurelle des personnes au sein de l'indice global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains.

Indice de vulnérabilité des personnes Tours



Légende

V strcturelle personnes

1.00 - 1.28
1.28 - 2.10
2.10 - 2.69
2.69 - 3.26
3.26 - 5.00

Données :

Age : INSEE, 2022

Réalisation :

Arthur Tarrow, janvier 2026

Figure 5 : Carte de l'indice de vulnérabilité des personnes

2.3.3 Vulnérabilité sociale

La vulnérabilité sociale renvoie aux facteurs socio-économiques susceptibles d'influencer la capacité des individus et des ménages à faire face aux épisodes de fortes chaleurs. Dans le cadre des îlots de chaleur urbains, cette dimension permet d'appréhender les inégalités sociales face au risque thermique, liées notamment aux ressources disponibles, aux situations d'isolement et aux conditions de vie.

Dans cette étude, la vulnérabilité sociale est appréhendée à partir de trois variables issues des statistiques de l'INSEE (2022) et mobilisées à l'échelle des IRIS :

- la part des ménages composés d'une seule personne,
- la part des personnes sans emploi,
- la part des logements occupés par des locataires.

Ces variables sont classiquement mobilisées dans l'analyse de la vulnérabilité sociale, car elles permettent d'approcher des situations susceptibles de limiter les capacités d'adaptation face aux fortes chaleurs. Les ménages d'une seule personne peuvent être plus exposés à l'isolement social, réduisant l'accès à une aide en cas de difficulté. Les personnes sans emploi peuvent disposer de ressources économiques plus limitées, restreignant l'accès à des solutions d'adaptation. Enfin, le statut de locataire peut traduire une moindre maîtrise des conditions de logement et des possibilités d'aménagement face à la chaleur (Cutter et al., 2003 ; Birkmann, 2006).

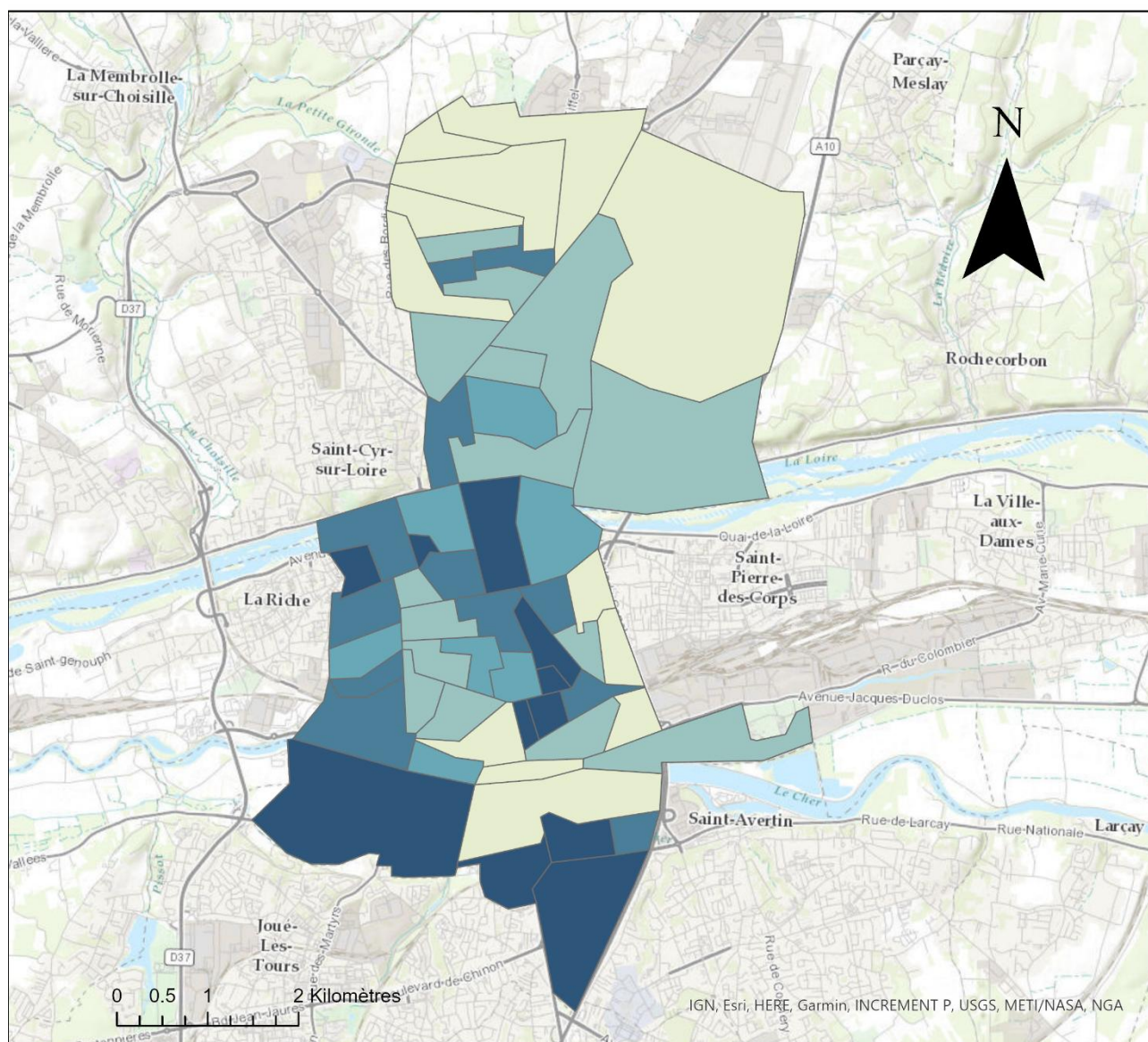
Pour chaque unité spatiale, les trois variables sont calculées séparément et considérées comme variables continues. Elles sont ensuite normalisées selon une méthode min-max, puis projetées sur une échelle continue de 1 à 5, où 1 correspond au niveau de vulnérabilité sociale le plus faible et 5 au niveau le plus élevé. Ces composantes sont ensuite agrégées afin de produire un indicateur synthétique de vulnérabilité sociale.

À l'issue d'échanges exploratoires menés avec différents acteurs, notamment un élu local (maire d'une commune) et plusieurs étudiants, il ressort qu'aucune des trois composantes de la vulnérabilité sociale ne s'impose clairement comme prépondérante par rapport aux autres. Ces discussions ont conduit à considérer que les différentes variables sociales retenues contribuent de manière comparable à la vulnérabilité sociale face aux îlots de chaleur urbains.

Sur la base de ces retours, et dans un souci de simplicité méthodologique et de transparence, il a été fait le choix d'attribuer un poids équivalent à chacune des variables composant la vulnérabilité sociale. Chaque variable sociale est ainsi pondérée de manière identique, avec un poids de 1/3, lors de la construction de l'indicateur de vulnérabilité sociale.

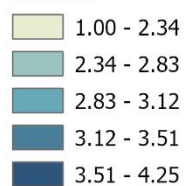
$$V_{\text{sociale}} = \frac{1}{3} * I_{\text{mono ménage}} + \frac{1}{3} * I_{\text{sans emploi}} + \frac{1}{3} * I_{\text{locataire}}$$

Indice de vulnérabilité sociale - Tours



Légende

V sociale



Données :

Activité : INSEE, 2022

Foyer : INSEE, 2022

Logement : INSEE, 2022

Réalisation :

Arthur Tarroux, janvier 2026

Figure 6 : Carte de l'indice de vulnérabilité sociale

2.3.4 Construction de l'indicateur de vulnérabilité humaine

La vulnérabilité humaine est construite à partir des trois sous-composantes présentées précédemment : la vulnérabilité liée aux conditions de logement (2.3.1), la vulnérabilité structurelle des personnes (2.3.2) et la vulnérabilité sociale (2.3.3). Chaque sous-composante est issue de variables continues, normalisées selon une méthode min-max et projetées sur une échelle continue de 1 à 5, où 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus faible et 5 au niveau le plus élevé. Cette standardisation permet de rendre les indicateurs comparables et agréables au sein d'un indicateur synthétique.

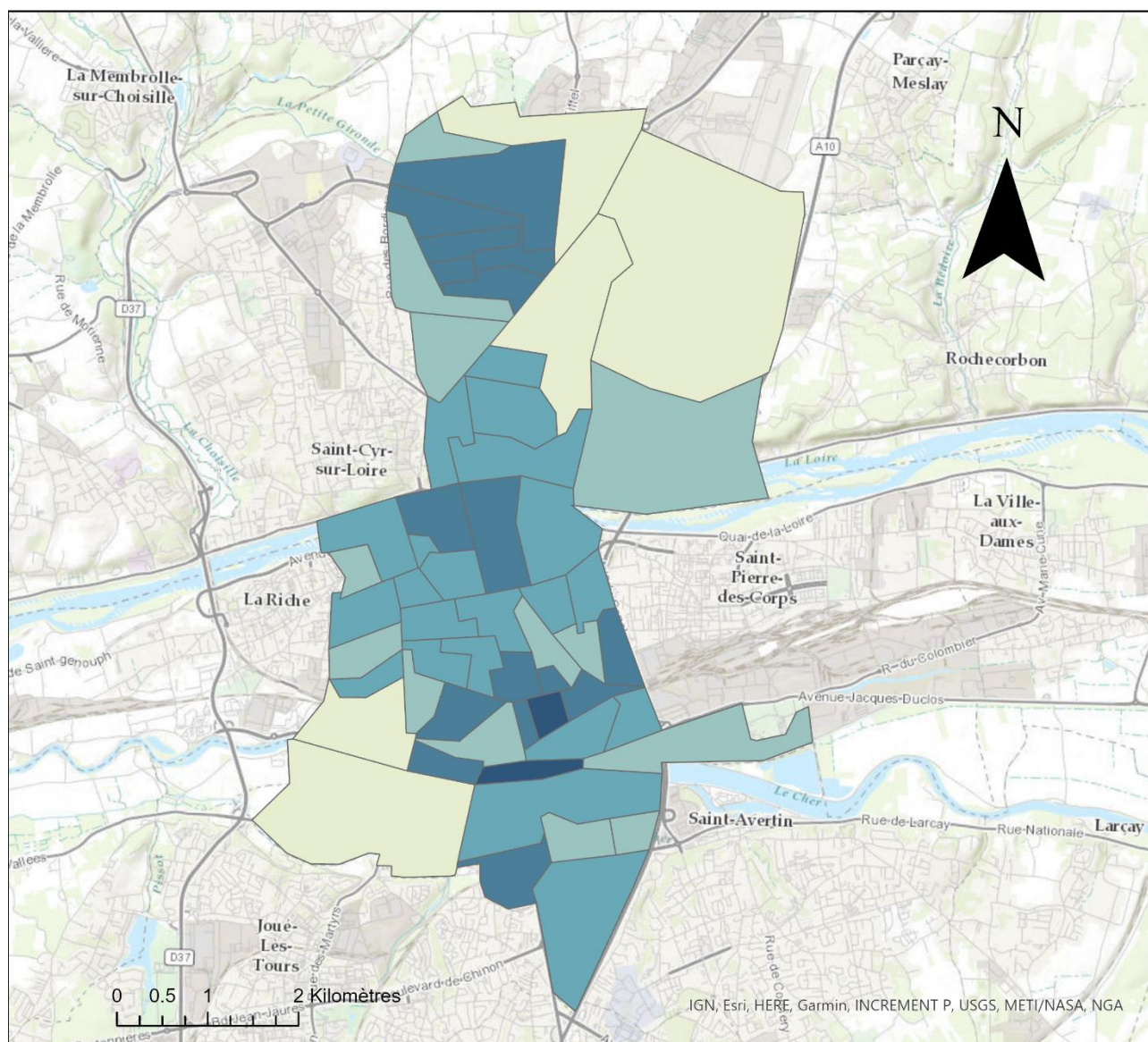
L'indicateur de vulnérabilité humaine est ensuite obtenu par agrégation pondérée des trois sous-composantes. À l'issue d'échanges exploratoires menés avec différents acteurs, notamment un élu local (maire d'une commune) et plusieurs étudiants, il ressort qu'aucune des sous-dimensions de la vulnérabilité humaine identifiées ne s'impose clairement comme prépondérante par rapport aux autres. Ces discussions suggèrent que les différentes composantes de la vulnérabilité humaine pourraient contribuer de manière comparable aux impacts des îlots de chaleur urbains. Dans un souci de simplicité méthodologique et de transparence, il a donc été retenu une pondération équivalente : chaque sous-composante est affectée d'un poids de 1/3 dans la construction de la vulnérabilité humaine.

La vulnérabilité humaine est ainsi calculée comme la moyenne pondérée des trois sous-composantes :

$$V_{humaine} = \frac{1}{3} * V_{logement} + \frac{1}{3} * V_{personnes} + \frac{1}{3} * V_{sociale}$$

Cet indicateur synthétique constitue la composante « vulnérabilité humaine » mobilisée ensuite dans la construction de l'indice global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains (section 2.4).

Indice de vulnérabilité humaine - Tours



Légende

V humaine

1.00- 1.62
1.62 - 2.48
2.48 - 3.05
3.05 - 3.61
3.61 - 5.00

Données :
INSEE, 2022

Réalisation :
Arthur Tarroux, janvier 2026

Figure 7: Carte de l'indice de vulnérabilité humaine

2.4 Construction de l'indicateur global de vulnérabilité

L'indicateur global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains est construit par l'agrégation des différentes composantes de vulnérabilité identifiées dans les sections précédentes. Il vise à produire une mesure synthétique permettant de comparer les niveaux de vulnérabilité entre les unités spatiales étudiées, en combinant la vulnérabilité structurelle liée à l'exposition au phénomène thermique et la vulnérabilité humaine, entendue comme la sensibilité des populations face à cette exposition.

L'indicateur global repose ainsi sur deux grandes dimensions issues de l'analyse des risques naturels :

- la vulnérabilité structurelle, fondée sur le degré d'exposition au rayonnement solaire ;
- la vulnérabilité humaine, intégrant les conditions de logement, la vulnérabilité structurelle des personnes et la vulnérabilité sociale.
- Chaque composante est issue d'indicateurs continus, préalablement normalisés sur une échelle commune de 1 à 5, où 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus faible et 5 au niveau le plus élevé. Cette harmonisation permet l'agrégation cohérente des différentes dimensions au sein d'un indicateur unique.

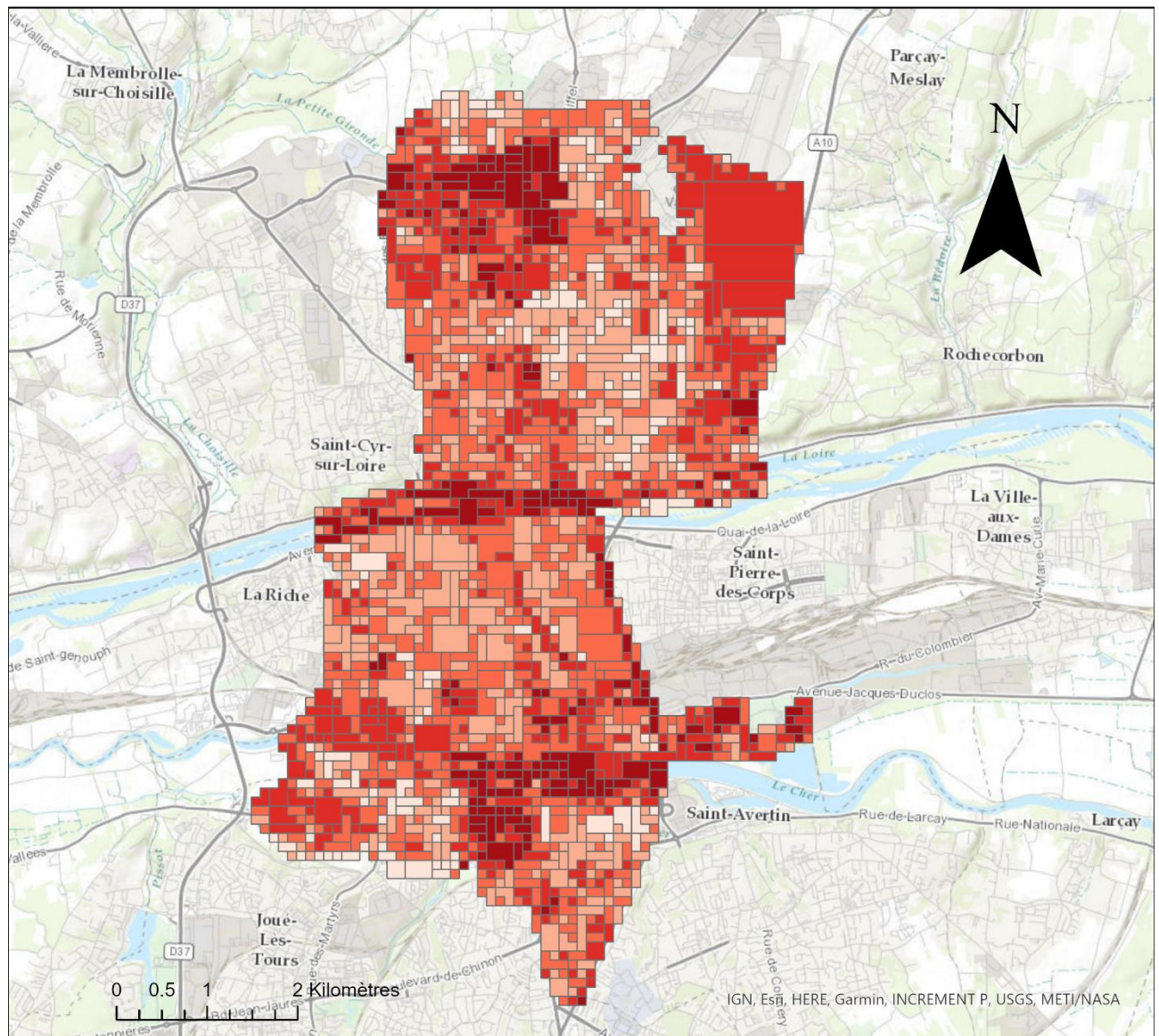
À l'issue d'échanges exploratoires menés avec différents acteurs, notamment un élu local (maire d'une commune) et plusieurs étudiants, il ressort qu'aucune des composantes de la vulnérabilité identifiées ne s'impose clairement comme prépondérante par rapport aux autres. Ces discussions suggèrent que les différentes dimensions de la vulnérabilité pourraient contribuer de manière comparable aux impacts des îlots de chaleur urbains.

Sur la base de ces retours, et dans un souci de simplicité méthodologique, de lisibilité et de transparence, il a été fait le choix d'attribuer un poids équivalent aux deux grandes dimensions de la vulnérabilité. La vulnérabilité structurelle et la vulnérabilité humaine sont ainsi pondérées de manière identique, chacune avec un poids de 1/2, la vulnérabilité humaine résultant elle-même de l'agrégation équilibrée de ses différentes composantes internes.

L'indice global ainsi obtenu permet d'identifier les secteurs présentant les niveaux de vulnérabilité les plus élevés face aux îlots de chaleur urbains et constitue un outil de lecture synthétique des contrastes intra-urbains de vulnérabilité à la chaleur.

$$V_{global} = \frac{1}{2} * V_{structurelle} + \frac{1}{2} * V_{humaine}$$

Indice de vulnérabilité global- Tours



Légende

Vulnérabilité structurelle	
V global	
	2.000000 - 3.481637
	3.48 - 4.48
	4.48 - 5.55
	5.55 - 6.72
	6.72 - 10.00

Données :
INSEE, 2022
IGN, 2025

Réalisation :
Arthur Tarroux, janvier 2026

Figure 8: Carte de l'indice de vulnérabilité global

3. Discussion et perspectives

3.1 Discussion des résultats

La construction de l'indice global de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains appliquée à la ville de Tours permet de mettre en évidence des contrastes spatiaux marqués dans la vulnérabilité face au risque thermique. En combinant une approche par l'exposition au rayonnement solaire et une analyse fine des composantes humaines de la vulnérabilité, cette méthodologie met en lumière des secteurs où les enjeux humains et environnementaux se cumulent.

L'intérêt principal de cette approche réside dans le déplacement du regard, depuis les seules zones les plus exposées au phénomène thermique vers les secteurs où cette exposition se conjugue à une vulnérabilité humaine élevée. Cette lecture croisée permet de mieux identifier les espaces susceptibles de concentrer les impacts des épisodes de fortes chaleurs, et souligne l'importance de prendre en compte les dimensions sociales et démographiques dans l'analyse des îlots de chaleur urbains, au-delà de leurs seules caractéristiques physiques.

Les résultats obtenus confirment également la pertinence de la transposition des méthodes issues de l'analyse des risques naturels au cas des îlots de chaleur urbains. En mobilisant des indicateurs de vulnérabilité structurelle et humaine, l'indice proposé offre un cadre d'analyse cohérent pour appréhender un phénomène climatique urbain de nature diffuse et chronique.

3.2 Apports et limites méthodologiques

L'un des principaux apports de cette recherche réside dans la transposition d'un cadre méthodologique issu de l'analyse des risques naturels à l'étude des îlots de chaleur urbains. En mobilisant la notion de vulnérabilité comme élément central de l'analyse, cette démarche permet de dépasser une lecture strictement physique du phénomène thermique pour intégrer les dimensions humaines et sociales qui conditionnent les impacts des épisodes de fortes chaleurs.

La construction d'un indice composite de vulnérabilité, fondé sur des données accessibles et homogènes, constitue également un apport méthodologique important. Elle permet une lecture synthétique et spatialisée de la vulnérabilité à l'échelle infra-urbaine, facilitant la comparaison entre différents secteurs du territoire étudié. Le recours à des méthodes de normalisation simples et explicites, ainsi qu'à des pondérations transparentes, contribue à la lisibilité et à la reproductibilité de l'approche.

Néanmoins, cette méthodologie présente certaines limites. Le choix des variables retenues, bien que fondé sur la littérature et la disponibilité des données, reste nécessairement réducteur face à la complexité des mécanismes en jeu. Certaines dimensions de la vulnérabilité, telles que l'état de santé individuel, les pratiques quotidiennes ou l'accès effectif à des espaces de fraîcheur, ne peuvent être intégrées faute de données disponibles à des échelles fines. Par ailleurs, l'agrégation d'indicateurs continus au sein d'un indice global peut conduire à lisser des situations locales spécifiques, malgré le recours à une échelle infra-urbaine.

Enfin, les choix de pondération, bien que justifiés par des échanges exploratoires et un souci de simplicité méthodologique, restent discutables et pourraient faire l'objet de tests de sensibilité dans des travaux futurs.

3.3 Intérêts opérationnels pour l'aménagement et l'action publique

Au-delà de son intérêt méthodologique, l'indice de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains présente un potentiel opérationnel pour l'aide à la décision en matière d'aménagement et d'adaptation au changement climatique. En identifiant les secteurs où se cumulent exposition au rayonnement solaire et vulnérabilité humaine, cet outil permet de cibler plus finement les territoires prioritaires pour l'action publique.

Cette approche peut notamment contribuer à orienter des politiques d'adaptation telles que la végétalisation des espaces urbains, la création d'îlots de fraîcheur, l'adaptation du bâti existant ou le déploiement de dispositifs d'accompagnement des populations les plus vulnérables lors des épisodes de fortes chaleurs. Elle offre également un support pertinent pour le dialogue entre acteurs techniques, élus et services de santé publique, en fournissant une lecture partagée des enjeux du risque thermique.

Par ailleurs, la mobilisation de données publiques et de méthodes reproductibles permet d'envisager une répliquabilité de la démarche sur d'autres territoires urbains, favorisant la comparaison entre villes et l'intégration du risque thermique dans des stratégies territoriales plus larges d'adaptation au changement climatique.

3.4 Perspectives de recherche

Plusieurs perspectives d'amélioration et de prolongement de ce travail peuvent être envisagées. Sur le plan méthodologique, l'intégration d'indicateurs complémentaires, notamment relatifs à la santé, aux usages de l'espace ou à la morphologie urbaine, permettrait d'affiner la caractérisation de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains. De même, la réalisation de tests de sensibilité sur les pondérations constituerait une piste intéressante pour évaluer la robustesse de l'indice global.

L'articulation de l'indice de vulnérabilité avec des données d'observation des températures de surface ou de l'air, ainsi qu'avec des données sanitaires, pourrait également renforcer la capacité de validation de la démarche. Enfin, l'inscription de cette approche dans une dynamique temporelle, en analysant l'évolution de la vulnérabilité dans le temps, ouvrirait des perspectives intéressantes pour le suivi des politiques d'adaptation et l'anticipation des effets du changement climatique à l'échelle urbaine.

Conclusion

Dans un contexte de changement climatique marqué par l'intensification des vagues de chaleur, les îlots de chaleur urbains constituent un enjeu majeur pour les territoires urbains. Ce travail a proposé d'aborder ce phénomène à travers le cadre conceptuel des risques naturels, en mobilisant la notion de vulnérabilité afin de dépasser une analyse uniquement centrée sur l'exposition physique à la chaleur.

L'application de cette approche à la ville de Tours a permis de construire un indice composite de vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains, combinant une vulnérabilité structurelle liée à l'exposition au rayonnement solaire et une vulnérabilité humaine intégrant les conditions de logement, les caractéristiques démographiques et les facteurs sociaux. Cette démarche met en évidence des contrastes intra-urbains marqués et souligne l'intérêt d'une lecture croisée entre exposition et vulnérabilité humaine pour identifier les secteurs les plus sensibles au risque thermique.

Au-delà de son apport méthodologique, cet indice constitue un outil d'aide à la décision pour l'aménagement et les politiques d'adaptation au changement climatique. Il ouvre enfin des perspectives de recherche visant à affiner la caractérisation de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains et à renforcer l'intégration de ce risque dans les stratégies urbaines d'adaptation.

Bibliographie

- Basu, R., & Samet, J. M. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24(2), 190–202.
- Birkmann, J. (2006). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*. Tokyo: United Nations University Press.
- Cantat, O. (2004). L’îlot de chaleur urbain. In V. Dubreuil & P. Marchand (dir.), *Climat et sociétés*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261.
- IGN. (2025). *Modèle Numérique de Surface (MNS) – France métropolitaine*. Institut national de l’information géographique et forestière.
- INSEE. (2022). *Données socio-démographiques à l’échelle IRIS*. Institut national de la statistique et des études économiques.
- INVS. (2004). *Impact sanitaire de la canicule d’août 2003 en France*. Institut de veille sanitaire.
- Leone, F., & Vinet, F. (2006). *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles*. Paris: Lavoisier.
- Organisation mondiale de la santé (OMS). (2015). *World report on ageing and health*. Genève.
- Organisation mondiale de la santé (OMS). (2018). *Heat and health*. Genève.
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). London: Routledge.
- Santamouris, M. (2015). Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*, 91, 43–56.

Annexe

Tables des indicateurs humain

IRIS	REG	DEP	UU2020	COM	LIBCOM	TRIRIS	GRD_QU	LIBRIS	TYP_IRIS	LAB_IRIS	Note PES	Note PSE	Note PMEN	Note PMEN	Note PLOGI	Note PLOGI	Logement	Vpers struct	Vpers Social	VSD	VSD Normal
37261010_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726101	Centre 1	H	1	2,070	2,770	4,956	1,151	4,236	3,403	4,236	2,070	3,676	3,327	3,606
37261010_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726101	Centre 2	H	1	2,440	1,770	4,782	1,000	3,760	3,079	4,278	2,440	3,043	3,081	3,147
37261010_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726101	Centre 3	H	1	1,086	3,278	5,000	1,573	3,250	3,911	3,250	1,086	4,063	2,800	2,624
37261010_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726101	Centre 4	H	1	2,782	2,085	3,133	2,065	2,984	3,277	2,984	2,782	2,832	2,866	2,747
37261010_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726102	Centre 5	H	1	1,804	3,049	4,452	1,686	3,237	3,011	3,504	3,237	1,804	2,848	2,715
37261020_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726102	Grammont H	H	1	2,320	2,458	3,053	1,320	3,799	2,800	3,799	2,320	2,770	2,963	2,978
37261020_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726102	Grammont H	H	1	2,406	2,830	4,135	1,519	3,144	3,262	3,144	2,406	3,409	2,986	2,971
37261020_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726102	Grammont H	H	1	2,226	2,707	4,328	1,356	4,211	3,161	4,211	2,226	3,099	3,178	3,329
37261020_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726103	Grammont H	H	1	2,012	2,495	3,168	1,440	4,126	3,114	4,126	2,012	3,296	3,021	3,036
37261030_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726103	Cathédrale H	H	1	1,937	2,664	3,874	1,341	3,851	2,827	3,851	1,937	3,122	2,970	2,941
37261040_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726104	Lamarfite H	H	1	2,685	2,625	4,147	2,322	2,911	3,687	2,911	2,685	3,487	3,028	3,048
37261040_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726105	Rabelais -T H	H	1	1,997	2,922	3,688	2,575	2,341	4,187	2,341	1,997	3,599	2,646	2,677
37261050_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726105	Rabelais -T H	H	1	2,489	2,502	3,981	2,030	2,719	3,350	2,719	2,489	3,278	2,828	2,837
37261050_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726105	Rabelais -T H	H	1	1,624	2,597	3,316	2,161	2,703	3,360	2,703	1,624	3,091	2,473	2,016
37261060_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726106	Graudeau H	H	1	1,737	2,431	3,263	3,743	3,707	4,175	3,707	1,737	3,290	2,911	2,831
37261070_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726107	Graudeau H	H	2	1,178	2,589	3,066	3,115	2,282	4,285	2,282	1,178	3,314	2,258	1,616
37261070_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726107	Lakanah-St H	H	1	2,102	2,128	2,785	1,712	4,043	2,469	4,043	2,102	2,461	2,868	2,752
37261070_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726107	Lakanah-St H	H	1	1,846	1,715	3,380	2,082	2,617	3,225	2,617	1,846	2,773	2,412	1,903
37261080_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726108	Febvotte-M H	H	1	2,484	1,814	3,778	1,773	4,268	2,128	4,268	2,484	2,573	3,108	3,198
37261080_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726108	Febvotte-M H	H	1	1,888	2,541	2,005	1,812	3,873	2,199	3,873	1,888	2,248	2,670	2,382
37261090_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726109	Rives du C H	H	1	4,905	1,980	3,181	2,504	5,000	1,815	5,000	4,905	2,325	4,077	5,000
37261090_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726109	Rives du C H	H	1	1,822	2,992	1,498	3,876	4,744	4,822	4,744	1,822	3,104	3,223	3,412
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726110	La Fuye V6 H	H	1	2,717	2,144	4,559	1,321	2,152	3,465	2,152	2,717	3,389	2,753	2,537
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726110	La Fuye V6 H	H	1	2,717	1,576	3,014	1,190	3,934	2,146	3,934	2,717	2,245	2,966	2,933
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726110	La Fuye V6 H	H	1	2,375	1,422	2,349	2,147	4,254	2,682	4,754	2,375	2,151	3,093	3,170
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	La Fuye V6 H	H	2	2,018	1,370	3,438	2,154	3,540	2,688	3,540	2,018	2,499	2,685	2,411
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	Saintas-Rc H	H	2	1,793	3,176	4,587	1,880	2,550	3,716	2,550	1,793	3,826	2,723	2,482
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	Saintas-Rc H	H	1	1,130	3,810	2,756	5,000	4,605	4,487	4,605	1,130	3,691	3,149	3,273
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	Saintas-Rc H	H	2	2,136	3,198	3,327	3,684	3,511	4,376	3,511	2,136	3,634	3,093	3,171
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	Saintas-Rc H	H	2	3,077	3,179	3,197	3,086	4,491	4,854	4,491	3,077	3,743	3,770	4,430
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726111	Saintas-Rc H	H	2	1,775	2,675	3,291	2,987	4,235	3,718	4,235	1,775	3,328	3,079	3,144
37261100_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726112	Beaulardin H	H	1	2,487	1,900	2,484	2,353	4,072	2,637	4,072	2,487	2,340	2,966	2,934
37261120_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726112	Beaulardin H	H	1	2,213	2,130	3,163	2,069	3,467	3,162	3,467	2,213	2,819	2,833	2,686
37261120_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726113	Rocheplina H	H	1	2,964	2,240	2,840	3,067	2,310	3,023	2,310	2,964	2,767	2,681	2,403
37261130_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726113	Rocheplina H	H	1	1,682	1,904	2,622	2,532	2,416	3,247	2,416	1,682	2,586	2,078	2,039
37261140_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726114	Saint-Sym H	H	1	1,747	1,614	2,925	3,078	4,058	3,863	4,058	1,747	2,801	2,868	2,752
37261140_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726114	Saint-Sym H	H	1	1,682	1,777	2,622	2,527	1,935	3,449	1,935	1,682	2,616	2,078	1,281
37261140_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726114	Saint-Sym H	H	1	3,077	3,179	3,197	3,086	4,491	4,854	4,491	3,077	3,743	3,770	4,430
37261140_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726114	Saint-Sym H	H	1	1,747	1,614	2,925	3,078	4,058	3,863	4,058	1,747	2,801	2,868	2,752
37261140_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726114	Saint-Sym H	H	1	2,454	2,654	3,790	1,303	2,193	3,262	2,193	2,454	2,567	2,774	2,576
37261150_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726115	Sainte-Rac H	H	1	2,985	2,339	3,872	1,320	2,514	3,510	2,514	2,985	3,240	2,913	2,835
37261150_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726115	Sainte-Rac H	H	1	2,445	2,123	2,744	2,208	2,230	3,313	2,230	2,445	2,772	2,334	2,007
37261160_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726116	Paul Bert H	H	1	1,992	1,515	2,567	1,902	1,696	2,920	1,696	1,992	2,334	2,007	1,150
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 1 H	H	1	2,444	2,339	3,245	1,420	3,287	3,332	3,287	2,444	2,789	2,840	2,699
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 1 H	H	1	3,258	1,455	1,948	2,736	4,586	1,914	4,586	3,258	1,770	3,205	3,378
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 3 H	H	1	3,013	3,013	3,677	2,256	3,394	4,511	3,394	3,013	2,649	3,349	3,459
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 3 H	H	1	3,013	1,278	3,054	2,257	4,084	3,616	4,084	3,013	2,649	3,349	3,459
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 5 H	H	1	2,448	2,448	2,962	2,045	2,982	2,621	2,982	2,448	2,257	2,562	2,183
37261170_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726117	Europe 5 H	H	2	2,405	2,014	2,748	3,381	4,275	3,578	4,275	2,405	2,279	3,153	3,381
37261180_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726118	Doues Mli H	H	1	5,000	1,000	1,000	1,255	1,344	1,000	1,344	5,000	1,000	2,448	1,970
37261180_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726118	Doues Mli H	H	1	2,533	1,811	1,763	2,990	1,298	2,998	1,298	2,533	2,191	2,007	1,315
37261180_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726118	Doues Mli A	A	3	5,000	1,000	1,360	1,400	2,339	2,339	1,371	5,000	2,174	3,315	1,449
37261200_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726120	Montjeux H	H	1	1,279	5,000	4,508	1,374	3,022	3,229	3,022	1,279	4,246	2,849	2,716
37261210_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726121	La Bergoe H	H	1	1,822	3,385	3,655	3,168	3,947	4,479	3,947	1,822	3,840	3,203	3,375
37261210_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726121	Les Fontai H	H	1	4,662	1,431	3,192	1,566	1,860	2,123	1,860	4,662	2,924	2,924	2,854
37261210_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726121	Les Fontai H	H	1	2,167	1,951	4,318	1,803	2,093	4,486	2,093	2,167	3,585	2,615	2,280
37261220_24	37	37701	37701	37261	Tours	ZZZZZ	3726122	Deux Lions H	H	1	1,692	2,638	3,154	3,681	2,370	4,737	2,370				



Directeur. de recherche :

Kamal Serhrini

Arthur Tarroux
PRI/DAE5
UIT/RESEAU
2025-2026

**Analyse de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains :
Emprunts à la méthodologie des risques naturels**

Résumé :

L'intensification des vagues de chaleur liée au changement climatique renforce les enjeux associés aux îlots de chaleur urbains (ICU). Ce travail propose d'aborder ce phénomène comme un risque urbain, en mobilisant des emprunts à la méthodologie des risques naturels. L'objectif est de construire un indice composite de vulnérabilité aux ICU, combinant une vulnérabilité structurelle liée à l'exposition au rayonnement solaire et une vulnérabilité humaine intégrant les conditions de logement, les caractéristiques démographiques et les facteurs sociaux. La méthodologie, fondée sur l'exploitation de données publiques et appliquée à la ville de Tours à une échelle infra-urbaine, met en évidence des contrastes spatiaux de vulnérabilité face au risque thermique. L'indice proposé constitue un outil méthodologique utile à l'analyse et à l'aide à la décision en matière d'adaptation urbaine.

Mots Clés : Îlots de chaleur urbains ; Vulnérabilité ; Risques naturels ; Rayonnement solaire ; Indice composite ;