



Où et comment désimperméabiliser les sols ?

Cartographie du potentiel de
désimperméabilisation des sols à
l'échelle territoriale et locale
Guide méthodologique



CLÉS POUR AGIR

Avril
2024

REMERCIEMENTS

Membres du consortium de recherche.

Blandine Clozel (BRGM)
Alix Cornu-Lachamp (BRGM)
Pierre Chrétien (BRGM)
Cécile Le Guern (BRGM-IRSTV)
Flora Lucassou (BRGM)
Xavier Rachez (BRGM)
Auline Rodler (CEREMA-IRSTV)
Marjorie Musy (CEREMA-IRSTV)
Thomas Leduc (AAU)
Ziang Cui (AAU-IRSTV)

Annie Flécher (IRSTV)
Fabien Prézeau (IRSTV-BRGM puis OTEIS)
Emmanuel Dufresnes (OTEIS)
Clément Bruhat (OTEIS)
Leticia Cordeira (OTEIS)
Alexandre Merville (OTEIS-CEREMA)
Amaury Monnot (Nantes Métropole)
Armel Caillon (Nantes Métropole)
Alexis Talhouet (Nantes Métropole)

CITATION DE CE RAPPORT

F. Prézeau, B. Clozel, F. Lucassou, C. Le Guern avec la collaboration de P. Chrétien, C. Bruhat, T. Leduc, M. Musy, A. Rodler, E. Dufresnes, A. Monnot. 2024. DésiVille : où et comment désimpermeabiliser les sols ? Cartographie du potentiel de désimpermeabilisation des sols à l'échelle territoriale et locale. Guide méthodologique

Si le rapport est en ligne ajouter :

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 21DAD0029

Étude réalisée par F. Prézeau, C. Le Guern, B. Clozel, T. Leduc, A. Rodler, M. Musy, C. Bruhat et al. pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : LE GUERN Cécile (IRSTV-BRGM)

Appel à projet de recherche : ModevalUrba 2019

Coordination technique - ADEME : LEFRANC Anne ingénieur

Direction/Service : Direction Adaptation, Aménagement et Trajectoires bas carbone/ Pôle Aménagement des Villes et des Territoires



SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCTION	8
2. CONTEXTE ET CONCEPTS.....	9
2.1. Le projet DésiVille	9
2.2. La désimpermeabilisation	9
3. INTERET D'UNE STRATEGIE TERRITORIALE DE DESIMPERMEABILISATION	12
4. L'ANALYSE MULTICRITERE ASSOCIEE AU SIG COMME BASE METHODOLOGIQUE	13
4.1. Généralités sur l'analyse multicritère associée à l'analyse spatiale	13
4.2. Description de la méthode retenue.....	14
4.3. Outils SIG et fonctions utilisées.....	14
5. APPROCHE TERRITORIALE : METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE DESIMPERMEABILISATION	15
5.1. Les thématiques et critères sélectionnés	15
5.2. Arbre de décision	18
5.3. Les données mobilisées	19
5.4. Les données thématiques à construire : méthodologies associées	25
5.4.2.1. Le type d'occupation du sol	27
5.4.2.1.1. Selon l'OCS GE (méthode générique)	27
5.4.2.1.2. Selon des données locales (méthode spécifique : exemple avec la BD MOS 44)	28
5.4.2.2. La propriété foncière	29
5.4.2.3. La taille des surfaces imperméables	29
5.4.2.4. Les zones bâties et non bâties	30
5.4.2.5. Pondération des critères relatifs aux caractéristiques des surfaces imperméabilisées	30
5.4.4. Contraintes environnementales.....	33
5.4.4.1. Les roches solubles	33
5.4.4.2. Aléa pollution des sols	34
5.4.4.3. Aléa inondation par remontée de nappe.....	34
5.4.4.4. Aires d'alimentation de captages d'eau potable	34
5.4.4.5. Aléa géotechnique	35
5.4.4.6. Pondération des critères des contraintes environnementales	35
5.4.5. Atouts et bénéfices de la désimpermeabilisation	37
5.4.5.1. Lutte contre l'aléa îlot de chaleur urbain.....	37
5.4.5.2. Cycle de l'eau : lutte contre l'aléa inondation par ruissellement	38
5.4.5.3. Biodiversité	38
5.4.5.4. Aménité.....	38
5.4.5.5. Multifonctionnalité des sols.....	39



5.4.5.6.	Aléa inondation par débordement de cours d'eau	39
5.4.5.7.	Pondération des critères reliés aux atouts et bénéfices	39
6.	APPROCHE TERRITORIALE : EXEMPLE D'APPLICATION	41
6.1.	Présentation du territoire d'étude : Nantes Métropole	41
6.2.	Résultats cartographiques sur Nantes Métropole	46
6.2.1.	Caractéristiques des surfaces imperméables.....	46
6.2.2.	Infiltrabilité intrinsèque du sol	49
6.2.3.	Contraintes environnementales.....	50
6.2.4.	Atouts et bénéfices de la désimperméabilisation	53
6.2.5.	Faisabilité de la désimperméabilisation	56
6.2.6.	Potentiel de désimperméabilisation	60
7.	A L'ECHELLE DU QUARTIER	64
7.1.	Critères complémentaires et/ou à affiner	64
7.2.	Exemple d'application.....	66
7.2.3.	Faisabilité et potentiel de désimperméabilisation	70
7.3.	Développements complémentaires à prévoir	73
8.	CONCLUSION / PERSPECTIVES.....	74
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74
9.	ANNEXES.....	78
9.1.	Modèles locaux d'occupation du sol par région ou département.....	78
9.2.	Utilisation de la couche CORINE LAND COVER HAUTE RESOLUTION IMPERVIOUSNESS pour identifier les surfaces imperméables	80
9.3.	Présentation de l'OCS GE	81
9.4.	Intégration du bâti (BD PARCELLAIRE de l'IGN) dans les surfaces imperméables définies à partir de l'OCS GE	82
9.5.	Système de notation selon le type d'usage du sol de CORINE Land Cover	82
9.6.	Identification du régime de propriété (privé, public) des parcelles de la BD PARCELLAIRE	84
9.7.	Notation des différents critères utilisés dans la méthode PHOEBUS d'évaluation de l'infiltrabilité des sols et du proche sous-sol	85
9.7.1.	Epaisseur de la ZNS	85
9.7.2.	Perméabilité des sols	85
9.7.3.	Indice de susceptibilité de présence d'argiles.....	87
9.7.4.	IDPR - Indice de Développement et de Persistance des Réseaux	88
9.7.5.	Hydromorphie des sols	88
9.7.6.	Pentes.....	88
9.7.7.	Zones endoréiques.....	89
9.7.8.	Bibliographie	89
9.8.	Critère des roches solubles	90
9.9.	Méthodologie de l'aléa pollution des sols.....	91
9.9.1.	Données disponibles	91
9.9.2.	Détails des sources et spatialisation des emprises	91



9.9.2.1.	Sites Basias/BDD Casias.....	91
9.9.2.2.	Sites ex-BASOL	93
9.9.2.3.	Secteurs d'information sur les Sols	93
9.9.2.4.	Remblais.....	93
9.9.2.5.	Activités agricoles potentiellement polluantes.....	93
9.9.3.	Attribution d'un niveau d'aléa par source de données.....	94
9.9.3.1.	Sites Basias/BDD Casias.....	94
9.9.3.2.	Sites ex-Basol	94
9.9.3.3.	Secteurs d'information sur les sols (SIS)	95
9.9.3.4.	Remblais.....	95
9.9.3.5.	Activités agricoles	95
9.9.4.	Hierarchisation des différentes sources de pression polluante	95
9.9.5.	Mise en lien avec la vulnérabilité des eaux souterraines.....	96
9.10.	Méthodologie de l'aléa géotechnique	97
9.11.	Présentation des classes de zones climatiques locales (LCZ)	100
9.12.	Cartes par critère sur Nantes Métropole pour la thématique des caractéristiques des surfaces imperméables	101
9.13.	Cartes d'infiltrabilité intrinsèque du sol sur Nantes Métropole	119
9.14.	Cartes par critère sur Nantes métropole pour la thématique des contraintes environnementales	120
9.15.	Cartes par critère pour la thématique des atouts et bénéfices de la désimperméabilisation	142
	INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	169
	SIGLES ET ACRONYMES	171



RÉSUMÉ

Ce guide apporte un cadre méthodologique national pour cartographier le potentiel de désimpermeabilisation des sols, comme socle commun pour élaborer des stratégies territoriales de désimpermeabilisation. Il s'adresse aux gestionnaires de territoires et aux acteurs qui les accompagnent. Il peut s'appliquer à tout type de territoire, même si le développement initial a ciblé les territoires urbanisés. La désimpermeabilisation fait partie des solutions envisageables pour atteindre l'objectif de zéro artificialisation nette (ZAN) fixé par la loi Climat et Résilience (2021), en particulier lorsqu'une renaturation est mise en œuvre en étape ultime du processus. Au-delà de l'amélioration du cycle de l'eau, grâce à la remise en place de la fonction d'infiltration des sols vers le sous-sol, la désimpermeabilisation répond à d'autres enjeux importants des territoires comme l'adaptation au changement climatique, la biodiversité, et le bien-être des habitants. L'intérêt de la cartographie du potentiel de désimpermeabilisation est de pouvoir identifier et hiérarchiser les zones à désimpermeabiliser à l'échelle du territoire ou d'une portion de territoire, mais aussi d'alerter sur les contraintes environnementales à prendre en compte, comme les pollutions des sols.

Le document décrit plus particulièrement des méthodes de cartographie du potentiel de désimpermeabilisation à l'échelle du territoire et à l'échelle du quartier, et illustre leur application sur le territoire test de Nantes Métropole. A l'échelle du territoire, la méthode générique s'appuie sur des données disponibles nationalement, tandis que la méthode spécifique s'appuie sur des données locales plus précises. Les méthodes prennent en compte différents critères organisés en 4 thématiques : i) caractéristiques des sols imperméabilisés, ii) infiltrabilité des sols, iii) contraintes environnementales (risques naturels et anthropiques, ressources et écosystèmes à protéger), iv) atouts d'une désimpermeabilisation. A l'échelle du quartier, la méthode s'appuie sur des données locales, plus précises que les données utilisées à l'échelle territoriale. Le guide identifie également les couches d'information géographiques les plus essentielles à générer (ex. inondations par ruissellement, aléa pollution des sols, encombrement du sol par les réseaux enterrés). Il propose également une synthèse des critères les plus contraignants, en identifiant des critères d'exclusion, comme l'imperméabilité naturelle du (sous)-sol, ou la présence de roches solubles (ex. gypses).

Le traitement cartographique s'appuie sur une analyse multicritère (somme pondérée) couplée à un SIG. La mise en œuvre sur le territoire test de Nantes Métropole a été réalisée à l'aide du logiciel SIG QGIS. D'autres logiciels SIG comme Arcgis peuvent être utilisés. Les traitements cartographiques ne sont pas compliqués, les deux fonctions principalement utilisées étant la jointure spatiale et la calculatrice de champs. D'autres fonctions de géotraitement sont utilisées ponctuellement. Il est donc nécessaire d'avoir une certaine maîtrise des SIG, sans avoir besoin d'une expertise avancée. Les traitements peuvent être longs selon la puissance de calcul de l'ordinateur. Les cartes obtenues peuvent être utilisées comme support de communication ou de décision, en facilitant les débats. Elles permettent également d'alerter sur des risques environnementaux (naturels et anthropiques) potentiels et des ressources à protéger et de vérifier les contraintes et atouts pour des opérations déjà programmées.



ABSTRACT

This guide provides a national methodological framework for mapping the potential for soil desealing, as a common basis for developing territorial desealing strategies. It is aimed at territory managers and the actors who support them. It can be applied to any type of territory, even if the initial development targeted urbanized territories. Desealing is one of the possible solutions to achieve the objective of 'no net land take' by 2050 set by the Climate and Resilience law (2021), in particular when renaturation is implemented as the final stage of the process. Beyond improving the water cycle, thanks to the restoration of the function of soil infiltration towards the subsoil, desealing responds to other important territorial issues such as adaptation to climate change, biodiversity, and the well-being of residents. The benefit of mapping the desealing potential is to be able to prioritize and hierarchize the areas to be desealed at the scale of the territory or a portion of the territory, but also to alert on the environmental constraints to be taken into account, such as the risk of soil pollution.

The document more particularly describes methods for mapping the desealing potential at the territorial scale and at the neighborhood scale, and illustrates their application to the test territory of Nantes Métropole. At the territorial scale, the generic method is based on nationally available data, while the specific method is based on more precise local data. The methods take into account different criteria organized into 4 themes: i) characteristics of waterproofed soils, ii) infiltrability of soils, iii) environmental constraints (natural and anthropogenic risks, resources and ecosystems to be protected), iv) advantages of desealing. At the neighborhood scale, the method is based on local data, more precise than those used at the territorial scale. The guide also identifies the most essential geographic information layers to generate (e.g. flooding by runoff, soil pollution hazards, soil congestion by buried networks). It also offers a summary of the most restrictive criteria, identifying exclusion criteria, such as the natural impermeability of the (sub)soil, or the presence of soluble rocks (e.g. gypsum).

The mapping processing is based on a multi-criteria analysis (weighted sum) coupled with a GIS. The implementation in the test territory of Nantes Métropole was carried out using the GIS software QGIS. Other GIS software such as Arcgis can be used. The mapping processing is not complicated, the two functions mainly used being the spatial join and the field calculator. Other geoprocessing functions are used occasionally. It is therefore necessary to have a certain mastery of GIS, without the need for advanced expertise. Processing can take a long time depending on the computing power of the computer. The obtained maps may be used as a support of communication or decision. The maps obtained can be used as a communication or decision support, facilitating debates. They also make it possible to alert on potential environmental risks (natural and anthropogenic) and resources to be protected and to verify the constraints and assets for already planned operations.



1. Introduction

Le présent guide propose d'apporter un cadre méthodologique national pour répondre aux questions suivantes : Où désimperméabiliser ? Peut-on désimperméabiliser partout ? Quels sont les facteurs d'exclusion ou des contraintes limitant la faisabilité de la désimperméabilisation ? Comment identifier des zones plus propices que d'autres, au regard des différentes contraintes mais aussi des bénéfices de telles opérations ? L'objectif est ainsi d'apporter une méthode permettant une analyse spatiale du territoire ou d'une portion de territoire comme socle commun facilitant l'élaboration d'une stratégie territoriale de désimperméabilisation prenant en compte les atouts et contraintes associés à la désimperméabilisation.

L'élaboration de stratégies de désimperméabilisation s'inscrit pleinement dans les objectifs de zéro artificialisation nette (ZAN) fixés par la loi Climat et Résilience (2021). En effet, une partie des solutions de désimperméabilisation correspond à des solutions fondées sur la nature avec végétalisation (cf. catalogue de solutions de désimperméabilisation) et permet donc de désartificialiser les sols. Désimperméabiliser nourrit également d'autres enjeux comme l'amélioration du cycle de l'eau, l'adaptation au changement climatique, la biodiversité ou le bien-être des habitants.

La désimperméabilisation s'inscrit dans une dynamique d'ensemble du système territorial. Cette dynamique est régie par différents « composants » comme les usages et choix de réaménagement (enjeux sociaux, esthétiques et économiques notamment), l'atmosphère, les revêtements de surface et le sous-sol. Modéliser l'ensemble des flux (énergétiques, hydriques, polluants potentiels, etc.) qui caractérisent le système avant / pendant / après désimperméabilisation permettraient d'étayer les choix. Les connaissances sont cependant insuffisantes à ce stade pour y parvenir. C'est pourquoi la méthodologie DésiVille s'appuie sur des données statiques spatialisées disponibles nationalement, et des données locales qui peuvent venir préciser. L'intérêt de la cartographie du potentiel de désimperméabilisation est de pouvoir prioriser et hiérarchiser les zones à désimperméabiliser à l'échelle du territoire ou d'une portion de territoire, mais aussi d'alerter sur les contraintes environnementales à prendre en compte, comme les pollutions des sols, la présence de roches solubles ou des remontées de nappe.

Ce guide s'adresse aux acteurs impliqués dans l'élaboration de stratégies territoriales de désimperméabilisation (collectivités, urbanistes, aménageurs, etc). Le document décrit plus particulièrement le contexte et les concepts associés à la désimperméabilisation, l'intérêt d'élaborer une stratégie de désimperméabilisation, l'analyse multicritère comme base de la méthodologie, les méthodes de cartographie du potentiel de désimperméabilisation à l'échelle du territoire et à l'échelle du quartier. A l'échelle du territoire, la méthode générique proposée s'appuie sur des données disponibles nationalement, tandis que la méthode spécifique s'appuie sur des données locales plus précises. A l'échelle du quartier, la méthode s'appuie sur des données locales, plus précises que les données utilisées à l'échelle territoriale. Le guide identifie également les données les plus essentielles à acquérir localement. Les illustrations correspondent aux tests cartographiques menés sur le territoire de Nantes Métropole à l'aide du logiciel QGIS. Afin de faciliter la duplication des traitements sur d'autres territoires, le guide propose en Annexe quelques compléments méthodologiques.



2. Contexte et concepts

2.1. Le projet DésiVille

Lauréat de l'Appel à Projets de Recherche MODEVAL-URBA 2019 de l'ADEME, le projet interdisciplinaire DésiVille (2021-2024) associe plusieurs partenaires attachés à l'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville¹ (BRGM, CEREMA et AAU-CRENAU) ainsi qu'un partenaire opérationnel (OTEIS) et une collectivité (Nantes Métropole). Il vise à apporter une réponse intégrée à la thématique de la désimperméabilisation des sols urbains, en apportant des outils et méthodes utiles :

- à la planification urbaine, en proposant une méthodologie de cartographie territoriale du potentiel de désimperméabilisation pour aider à l'élaboration d'une stratégie territoriale de désimperméabilisation prenant en compte différents atouts et contraintes du territoire ;
- à l'aménagement, en fournissant un catalogue étayé de solutions de désimperméabilisation pour aider au choix des techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones sélectionnées. Le catalogue intègre, sur la base des impacts positifs et négatifs identifiés, un ensemble de recommandations.

La cartographie du potentiel de désimperméabilisation, objet du présent guide, consiste en l'évaluation sous SIG des potentialités et vulnérabilités des surfaces imperméables du territoire permettant de sélectionner les surfaces les plus pertinentes à désimperméabiliser. Elle est réalisée à partir de données existantes. Nantes Métropole a servi de territoire test pour le développement et la mise en œuvre de la méthodologie.

2.2. La désimperméabilisation

L'imperméabilisation correspond au recouvrement d'une surface par le biais d'un revêtement imperméable (Tobias et al., 2018). L'imperméabilisation des sols est une des conséquences de l'artificialisation liée aux activités anthropiques. En milieu urbain, les surfaces de sol imperméabilisées correspondent principalement à des zones bâties (immeubles, maisons, bâtiments d'activité secondaire ou tertiaire) et à des infrastructures de transport (trottoirs pour les piétons, voirie pour les véhicules, parkings). Les matériaux utilisés sont par exemple du béton ou de l'asphalte. Si l'imperméabilisation rend des services en facilitant les activités humaines comme les déplacements, le logement ou la production, elle présente cependant des impacts négatifs (Figure 1). Elle impacte ainsi le cycle de l'eau et de fait sa gestion (Roy et Shuster, 2009) en augmentant par exemple les inondations liées au ruissellement des eaux pluviales. Elle génère des îlots de chaleurs urbains (ICU) (Rhee et al, 2014) qui affectent le bien-être des personnes. Elle réduit aussi la biodiversité (Desrousseaux et al., 2019) et modifie le cycle du carbone (Scalenghe et Marsan, 2009).

La désimperméabilisation apparaît comme une option pour réduire certains de ces impacts négatifs que le changement climatique amplifie : réduction des îlots de chaleur urbains, développement de la biodiversité par l'extension des continuités écologiques, amélioration du cycle de l'eau (Figure 1). Nous retenons ici la définition de L'Union Européenne (Commission Européenne, 2012) : la désimperméabilisation est une action ayant pour but de « rétablir en partie l'ancien profil du sol en éliminant les couches imperméables (ex. asphalte ou béton), en ameublissant le sol sous-jacent, en éliminant les matières étrangères et en restructurant le profil ». Le sol peut ainsi retrouver certaines de ses fonctions écologiques, comme le stockage et l'infiltration de l'eau, le stockage et la transformation du carbone, le réservoir de biodiversité, la contribution au cycle des éléments nutritifs qui

¹ IRSTV, Fédération de recherche CNRS 2488, www.irstv.fr



contribuent à son potentiel agronomique. La désimperméabilisation présente toutefois également des inconvénients ou risques, comme la remobilisation de polluants stockés dans les sols, ou les remontées de nappes en lien avec une recharge accrue des nappes d’eau souterraines que permet l’augmentation de l’infiltration de l’eau pluviale.

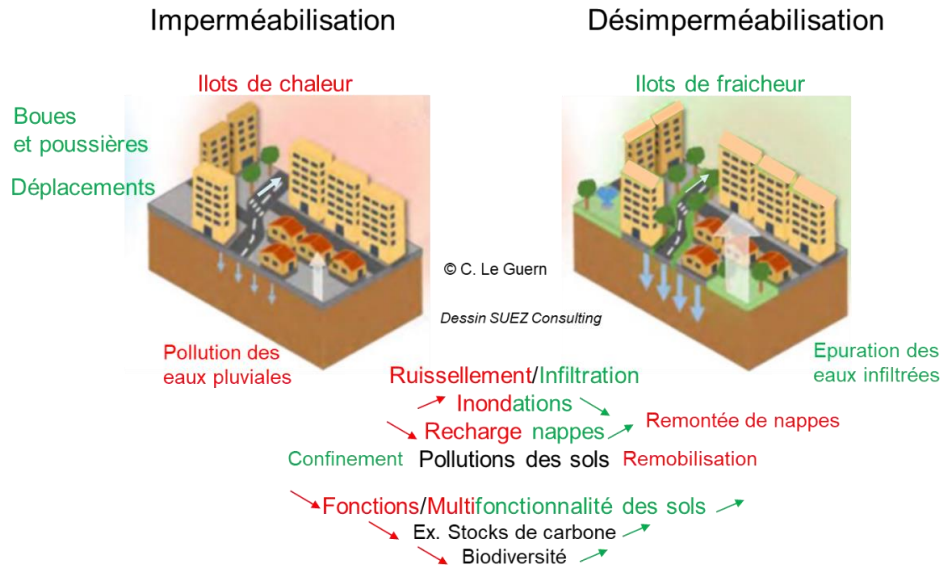


Figure 1 : Analyse comparative des avantages (en vert) et inconvénients (en rouge) de la désimperméabilisation des sols par comparaison avec l'imperméabilisation.

Les principales étapes de la désimperméabilisation (Figure 2) telles que pratiquées actuellement sont le descellement, la décompaction et la mise en œuvre d’une solution perméable, qu’elle soit dite grise (avec le recours à des revêtements de surface poreux et drainants) ou verte fondée sur la nature (induisant généralement une végétalisation). Le descellement peut être précédé par une opération de démolition dans le cadre de la désimperméabilisation d’une surface bâtie. La désimperméabilisation peut être menée seule ou avec une dépollution des sols, et/ou avec une réhabilitation écologique, et/ou avec une reconstitution de sol (Limasset et al., 2021).

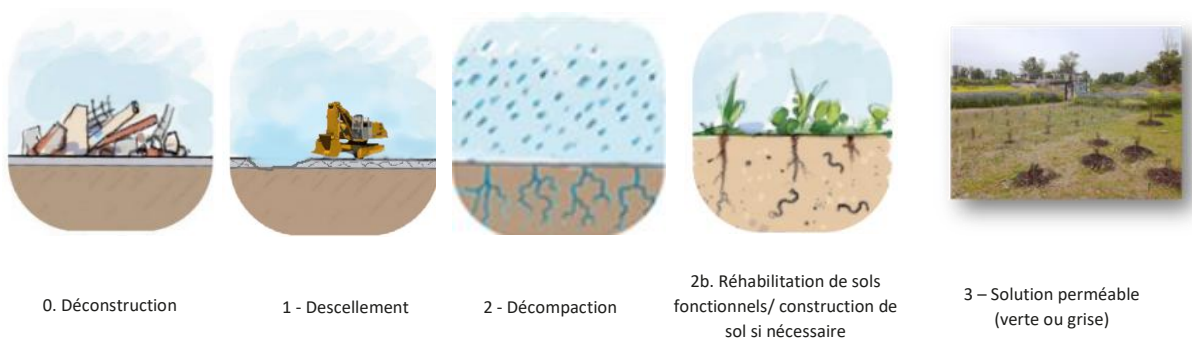


Figure 2 : Etapes d'une opération de désimperméabilisation (adapté de CDC Biodiversité et Humanité Biodiversité 2021 et Limasset et al., 2021)



La désimpermeabilisation apparaît comme une option pour réduire la part des sols artificialisés. D'après la loi Climat et Résilience (2021), l'artificialisation des sols est définie comme « l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage ». L'artificialisation désigne un changement d'usage d'un sol agricole, forestier ou naturel vers d'autres activités humaines. Cela correspond à des structures imperméables (immeubles, bâtiments industriels, routes, parkings, ...), mais aussi des espaces perméables comme des chantiers, des carrières et même des espaces verts comme des jardins ou des équipements sportifs (Desrousseaux et al., 2019)

En 2020, l'artificialisation représentait 9 % des surfaces du territoire national (INSEE, 2023) contre 5,2 % en 1982. Le CEREMA estime, qu'en 2017, 23 907 hectares ont été transformés au profit de l'étalement urbain, ce qui correspond à la ville de Marseille. Entre 2009 et 2017, l'artificialisation des espaces naturels s'est faite principalement vers le secteur de l'habitat (67 %) et l'activité (25 %). Afin de limiter l'artificialisation, l'Etat a promu en 2021 la loi Climat et Résilience qui précise l'objectif « Zéro artificialisation Nette » (ZAN), déjà annoncé dans la loi Biodiversité de 2018. Les territoires doivent dans un premier temps baisser de 50 %, d'ici 2031, le rythme d'artificialisation et de consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers. L'objectif d'atteinte du ZAN des territoires est fixé pour l'horizon 2050. La désimpermeabilisation permet de répondre aux objectifs de ZAN lorsque les sols désimpermeabilisés sont végétalisés et considérés comme non artificialisés.



3. Intérêt d'une stratégie territoriale de désimperméabilisation

De nombreuses opérations de désimperméabilisation sont déjà conduites. Les zones à désimperméabiliser sont le plus souvent choisies en fonction d'opportunités liées par exemple à des projets de réaménagements (ex : ZAC) ou à des cibles précises (ex. cours d'école), en lien avec des choix politiques voire des initiatives citoyennes. Il existe en fait peu de cartographies de potentiel de désimperméabilisation pour appuyer une stratégie territoriale. On peut citer par exemple Berlin en Allemagne (Haag et Coenradie, 2016), Grand Narbonne (Cerema, 2019) en France ou Renens en Suisse (Poyat, 2022). Les critères choisis sont variables d'une approche à l'autre et plus ou moins nombreux (une quinzaine pour le Grand Narbonne, principalement l'infiltrabilité des sols dans le cas de Renens).

Elaborer une stratégie de désimperméabilisation présente un intérêt marqué dans le cadre de :

- la gestion des eaux pluviales et plus largement du cycle de l'eau,
- l'adaptation au changement climatique, en luttant contre les îlots de chaleur urbain,
- le développement de la biodiversité, dans le sol et sur le sol,
- la refunctionalisation des sols,
- l'atteinte de l'objectif ZAN.

La mise en place d'une stratégie de désimperméabilisation doit prendre en compte de nombreux enjeux du territoire (environnementaux, sociaux, économiques, juridiques). La cartographie du potentiel de désimperméabilisation apparaît comme un support d'aide à la décision pour poser les bases d'une telle stratégie. Elle permet en effet de :

- repérer les zones d'intérêt ;
- hiérarchiser les différentes zones du territoire selon des critères de faisabilité et d'atouts ;
- alimenter les débats ;
- alerter sur des risques environnementaux (naturels et anthropiques) potentiels et des ressources à protéger ;
- vérifier les contraintes et atouts pour des opérations déjà programmées.

La méthodologie DésiVille s'appuie ainsi sur plus de 20 critères issus de données existantes à l'échelle nationale ou locale, classés dans 4 thématiques relatives i) aux caractéristiques des surfaces imperméabilisées, ii) au potentiel d'infiltration des sols et proche sous-sol, iii) aux contraintes environnementales et iv) aux bénéfices d'une désimperméabilisation. Co-construite avec les services techniques de l'agglomération nantaise, elle apparaît plus complète sur certains points que les méthodes de cartographie du potentiel de renaturation des sols (Deboeuf De Los Rios et al., 2022 ; Cerema (2021) qui se développent et nécessiteront également un cadre méthodologique national, qui pourra s'appuyer sur le présent guide.



4. L'analyse multicritère associée au SIG comme base méthodologique

4.1. Généralités sur l'analyse multicritère associée à l'analyse spatiale

Associée à l'analyse spatiale (SIG), l'analyse multicritère permet de sélectionner et de mettre en relation un nombre important de critères dans le but d'orienter un choix ou une décision afin de résoudre un problème (Capacity4dev, 2014). Elle permet ainsi par exemple de construire et/ou de comparer des scénarios d'aménagement en tenant compte de multiples enjeux dans des systèmes hétérogènes (Fisher et Nijkamp, 1993; Hickey et Jankowski, 1997, Papajorgii et al, 2012, Capacity4dev, 2014). La mise en place d'une analyse multicritère comporte plusieurs étapes : le choix des critères, le système de notation, la pondération puis l'agrégation (Malczewski et Rinner, 2015, Tahri et al., 2017 ; Haidara et al., 2019).

Les critères sélectionnés doivent être formalisés et harmonisés sous forme de note d'évaluation (Malczewski et Rinner, 2015). Pour transformer la donnée brute en unité exploitable et cohérente entre chaque critère, l'une des méthodes les plus utilisées est celle de la plage de score (Malczewski, 2006). Pour un critère, une note est attribuée pour chaque paramètre qui le compose (Exemple une note de 1 à 10). Certaines notations peuvent être de type booléen (Oui/Non) (Malczewski, 1999). Suite à la mise en place du système de notation de chaque critère, la pondération consiste à affecter un poids à chaque critère. Le poids permet de donner plus d'importance à certains critères pour les faire ressortir dans l'analyse. Les coefficients par matière en milieu scolaire sont un exemple courant de système de pondération. L'attribution d'un poids se peut se faire d'autres façons : par classement, par évaluation, par comparaison par paires, par entropie (Malczewski et Rinner, 2015). De nombreuses façons d'agréger les critères existent : sommes pondérées, Analytical Hierarchy Process (AHP), ELECTRE, Prométhée (Tableau 1).

Malczewski (2006) distingue 2 grandes familles d'analyse multicritère associées aux SIG : les Multiattribute decision analysis (MADA) et les Multiobjective decision analysis (MODA) (Figure 3). Les méthodes MADA sont définies par les attributs (ou critères) alors que les méthodes MODA sont définies par les objectifs. Ainsi les objectifs sont implicites dans les méthodes MADA et explicites dans les méthodes MODA. Les techniques d'analyses multicritères de type MADA sont les plus utilisées. La méthode simple des sommes pondérées est la technique la plus utilisées. Les méthodes AHP (processus analytique hiérarchique), ELECTRE et PROMETHEE (méthodes de surclassement) font partie également des techniques MADA.

Combination rules		# of articles*	%
MADA	Weighted summation/Boolean overlay	143	39.3
	Ideal/reference point (TOPSIS, MOLA)	35	9.6
	Analytical Hierarchy Process (AHP)	34	9.4
	Outranking methods (ELECTRE, PROMETHEE)	17	4.7
	Other	30	8.3
	<i>Total (GIS-MADA)</i>	<i>259</i>	<i>71.3</i>
MODA	Multi-objectives programming algorithms (linear-integer programming)	57	15.7
	Heuristic search/evolutionary/genetic algorithms	29	8.0
	Goal programming/reference point algorithms	9	2.5
	Other	9	2.5
	<i>Total (GIS-MODA)</i>	<i>104</i>	<i>28.7</i>
Total		363	100.0

Note: *some articles presented more than one combination rule.

Figure 3 : Recensement des analyses multicritères appliquées aux SIG dans la littérature (Malczewski, 2006)



Comme tout outil, l'analyse multicritère présente des avantages et des limites. Parmi les avantages, les analyses multicritères permettent de résoudre des situations complexes avec des « méthodes compréhensibles » et « rationnelles » (Capcity4dev, 2014, Tahri et al., 2022). Elles permettent de créer des interactions avec les acteurs locaux, ce qui peut parfois cependant entraîner des complexifications dans les débats. La disponibilité des données revêt une importance forte dans les analyses. Enfin, les analyses multicritères entraînent une part de subjectivité dans les analyses des données (Capcity4dev, 2014).

4.2. Description de la méthode retenue

La somme pondérée est l'une des méthodes les plus faciles à mettre en place et l'une des plus utilisées en SIG. Malgré une facilité d'application, cette méthode doit standardiser les données pour qu'elles soient comparables entre elles. Les poids sont souvent attribués de façon empirique. L'addition pondérée des différents critères se résume avec la formule suivante :

$$Score (A_j) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot V_{ij} \text{ pour } i \in [1, n]$$

A_j correspond à une alternative. L'alternative est la localisation d'un lieu. Sur un logiciel de SIG, l'alternative correspond à un polygone ; n correspond au nombre de critères, V_{ij} est la valeur du critère C_i selon l'alternative A_j ; W_i est la valeur de poids pour le critère C_i .

Cette méthode est assez intuitive dans sa façon de faire avec un système d'agrégation des critères assez simple. En attribuant une note pour chaque critère, l'utilisateur comprend facilement les manipulations faites et n'a pas à reproduire de calculs complexes. L'attribution d'un poids rend certains critères plus importants selon le choix des décideurs.

4.3. Outils SIG et fonctions utilisés

Le traitement cartographique a été mis en œuvre sur le territoire test de Nantes Métropole à l'aide du logiciel SIG QGIS. Il peut aussi être effectué sur d'autres logiciels SIG comme Arcgis. Les traitements cartographiques ne sont pas compliqués, les deux fonctions principalement utilisées étant la jointure spatiale et la calculatrice de champs. D'autres fonctions de géotraitement sont utilisées ponctuellement. Il est donc nécessaire d'avoir une certaine maîtrise des SIG, sans avoir besoin d'une expertise avancée. Les traitements peuvent être longs selon la puissance de calcul de l'ordinateur.



5. Approche territoriale : méthodologie de cartographie du potentiel de désimperméabilisation

5.1. Les thématiques et critères sélectionnés

Les critères retenus sont classés dans quatre thématiques (Figure 4) : 1/ les caractéristiques des surfaces imperméabilisées, 2/ l'infiltrabilité intrinsèque des sols, 3/ les contraintes environnementales, 4/ les atouts et bénéfices de la désimperméabilisation. Le croisement des trois premières thématiques permet d'apprécier la faisabilité intrinsèque de la désimperméabilisation. Le croisement de la faisabilité avec les atouts de la désimperméabilisation renseigne sur le potentiel de désimperméabilisation. Les opportunités intègrent des critères supplémentaires qui viendront en surcouche et seront susceptibles d'influencer le processus de décision.

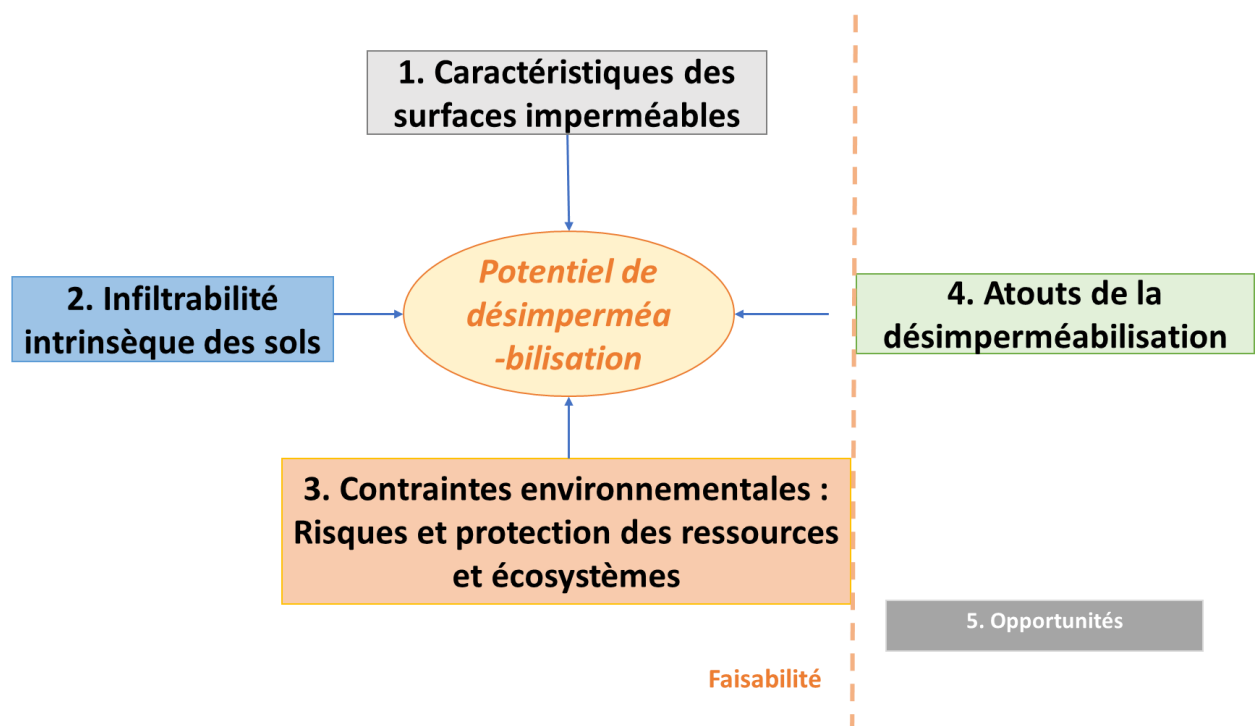


Figure 4 : Thématiques identifiées pour classer les critères retenus pour la cartographie du potentiel de désimperméabilisation

Une partie des critères est liée aux sols en eux-mêmes. L'ensemble de l'analyse est conduite sur les surfaces imperméabilisées dont la méthode de cartographie est expliquée plus loin (Cf.5.4.1)

Pour chaque thématique, une analyse multicritère intermédiaire est effectuée. Elle implique une standardisation de la notation des différents critères. La Figure 5 détaille l'ensemble des critères sélectionnés par thématique.



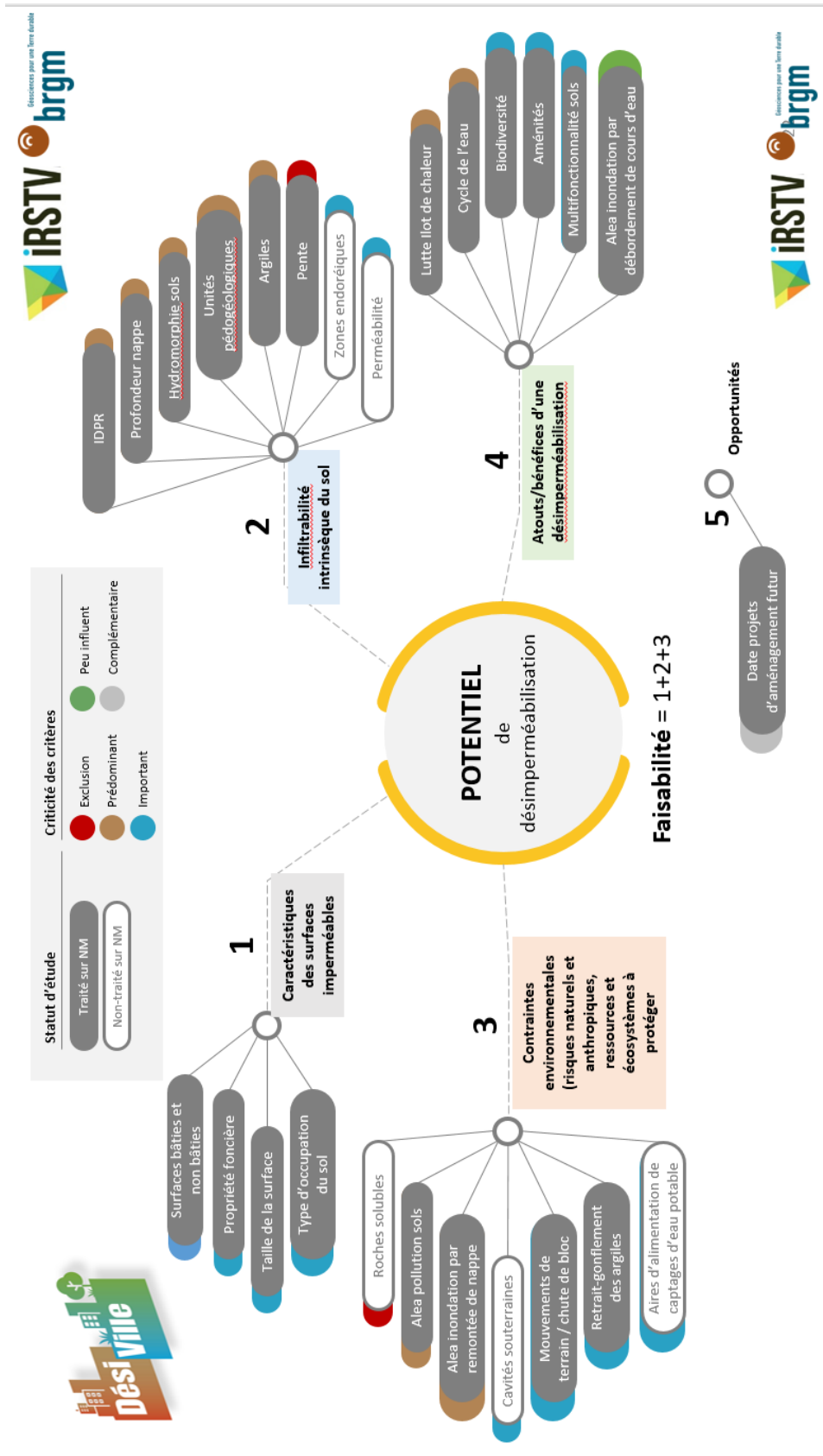


Figure 5 : Critères retenus par thématique en vue de l'analyse multicritère du potentiel de désimpermeabilisation

Certains critères sont considérés comme générant une exclusion telles la présence de roches solubles dans la thématique 3 (contraintes environnementales) ou bien les pentes dans la thématique 2 (infiltrabilité). Les autres critères sont classés selon leur importance estimée. Cette hiérarchisation se répercute sur le poids qui leur est attribué dans l'analyse multicritère.

Deux approches de cartographie sont proposées selon la disponibilité des jeux de données SIG identifiés :

- une méthode générique à partir des données disponibles nationalement et en libre accès, reproductible sur l'ensemble des territoires.
- une méthode spécifique intégrant des données disponibles localement, fournissant des connaissances d'échelle plus fine. Les données spécifiques remplacent alors les données génériques, ou les complètent.

Le Tableau 1 synthétise par thématique l'ensemble des critères retenus pour la méthode générique, leur échelle de validité, leur source et les systèmes de notation associés.

		Thématiques	Nb classes	Critères	Echelle générique	Echelle spécifique	Poids	Nb classes	
Potentiel de désimperméabilisation	Faisabilité désimperméabilisation	1. Caractéristiques des surfaces imperméables	5	Propriété foncière	1/5 000	id	1	2	
				Taille selon urbain dense ou pas			1	5	
				Bâti / Non bâti			1	2	
				Occupation du sol			1	5	
		2. Potentiel d'infiltration du sol	5	Pente Méthode BRGM	1/50 000	id	Exclusion	5	
	3. Contraintes environnementales : risques naturels et anthropiques et ressources à protéger	5	Roches solubles	Aléa pollution des sols	1/50 000	id	Exclusion	2	4
				Aléa remontée de nappe	1/25 000			2	2
				Aléa géotechnique	1/100 000			1	4
				Aires d'alimentation des captages AE	1/50 000			1	4
					1/25 000			1	2
4. Atouts/bénéfices d'une désimperméabilisation	5	Ilots de chaleur urbain (zonage climatique) Aléa inondation par ruissellement	Multifonctionnalité des sols (urbain révisé)	1/10 000	Id	2	5		
			Biodiversité	1/50 000	1/500	2	3		
			Aménité (distance espace vert)	1/250 000	1/25 000	1	5		
			Aléa inondation - débordement cours d'eau	1/10 000	1/10 000	1	2		
				1/10 000	1/10 000	1	2		
				1/10 000	1/10 000	1	2		
				1/10 000	1/10 000	0,5	2		

Tableau 1 : Synthèse des critères sélectionnés par thématique précisant les échelles de validité et les systèmes de notation (classes, poids) proposés pour cartographier la faisabilité et le potentiel de désimperméabilisation des sols à l'échelle territoriale



5.2. Arbre de décision

L'arbre de décision (Figure 6) peut s'appliquer en amont dans le cadre d'une stratégie de désimperméabilisation, mais aussi en phase opérationnelle, à l'échelle d'un site dont la désimperméabilisation est envisagée. Comme indiqué sur la Figure 6, les points d'attention sont rattachés aux capacités d'infiltration intrinsèque des sols et aux critères environnementaux. La Figure 7 complète le premier arbre de décision en y intégrant les caractéristiques des surfaces imperméables.

Si l'ensemble des critères indiqués sur la gauche du schéma sont validés alors la faisabilité est forte. A l'inverse, si l'un des trois premiers critères n'est pas validé, la désimperméabilisation des sols n'apparaît pas faisable. Le centre du schéma fait ressortir des points d'attention mineurs ou majeurs. Ils ne sont pas rédhibitoires à la désimperméabilisation, mais cela implique de réaliser des études complémentaires avant de désimperméabiliser.

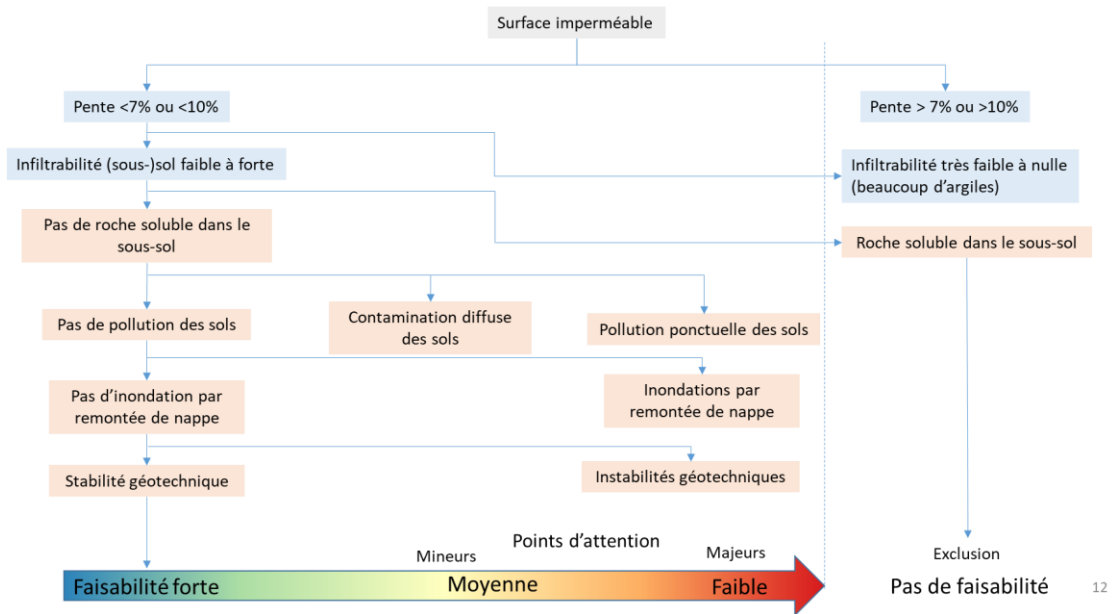


Figure 6 : Arbre de décision afin de faciliter la décision de la désimperméabilisation

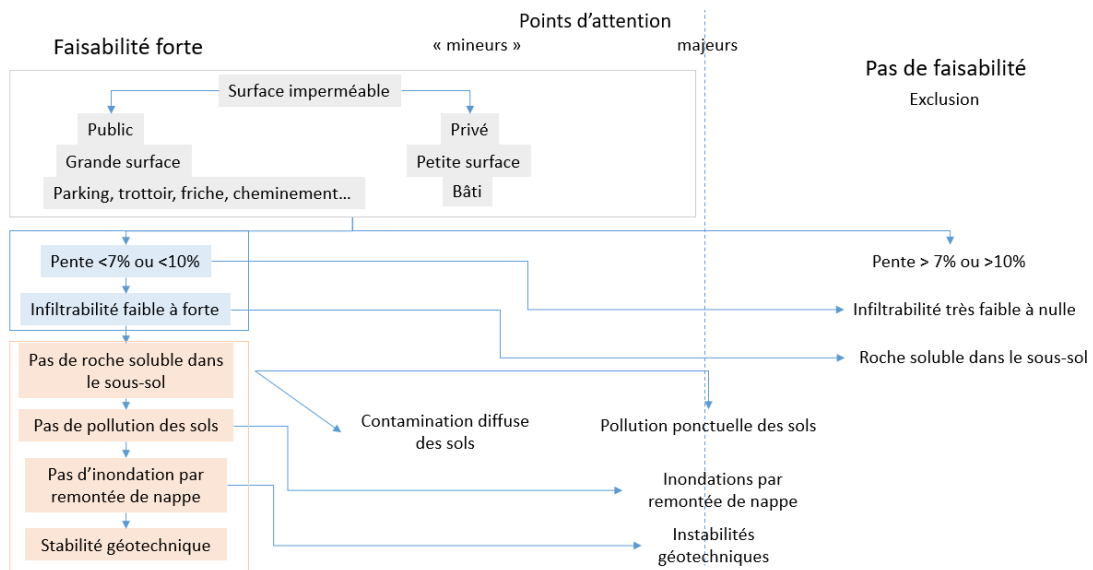


Figure 7 : Arbre de décision avec les caractéristiques des surfaces imperméables



5.3. Les données mobilisées

5.3.1. Méthode générique

Les données mobilisées pour la méthode générique sont précisées dans le Tableau 2. Le Tableau 3 précise les données qu'il faut acquérir ou créer en complément, et les liens d'accès vers les méthodes disponibles en open source. D'autres données considérées n'ont pas été utilisées, soit parce qu'elles sont moins précises que les données utilisées sur la même thématique (ex. Wudapt (<https://lcz-generator.rub.de/submissions>) 1/100 000 pour le zonage climatique local), soit faute de temps pour les mettre en œuvre (méthode Eczecco du Cerema pour les zones inondables par ruissellement), soit parce qu'encore incomplètes au moment des tests (BNDB du CSTB).

5.3.2. Méthode spécifique

Pour la méthode spécifique, les données mobilisées en complément ou en substitution par rapport à la méthode générique sont synthétisées dans le Tableau 4. Les données citées ont été utilisées car accessibles à l'échelle de Nantes Métropole. Obtenir des couches similaires sur d'autres territoires est possible, mais peut demander des études spécifiques si elles n'existent pas déjà.



Critères	Données générique	Lien d'accès	Echelle	Remarques
Surfaces imperméabilisées	OCS GE	https://geoservices.ign.fr/ocsge	1/5 000	A compléter avec le bâti de la BD Topo
	CORINE Land Cover - Imperviousness	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps	1/10 000	Utilisable en cas d'OCS GE pas encore disponible
Propriété foncière	Parcellaire Expresse	https://geoservices.ign.fr/parcellaire-express-pci	1/5 000	
	Parcelles des personnes morales - MAJIC	https://opendata.koumoul.com/datasets/parcelles-des-personnes-morales	1/5 000	
Type d'occupation du sol	OCS GE	https://geoservices.ign.fr/ocsge	1/5 000	
Bâti continu ou discontinu (pour taille des surfaces)	CORINE Land COVER	https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0	1/100 000	
	Bâti / non bâti	https://geoservices.ign.fr/ocsge	1/5 000	
	BD Topo	https://geoservices.ign.fr/bdtopo	1/5 000	Couche bâtiment
	IDPR	http://geoservices.brgm.fr/geologie/idpr		
Indice de développement et de persistance des réseaux	RRP Géoportail	?		
Hydromorphie	BD Charm	https://infoterre.brgm.fr/formulaire/telechargement-cartes-geologiques-departementales-150-000-bd-charm-50	1/50 000	
Argiles		https://www.georisques.gouv.fr/retrait-gonflement-des-argiles	1/50 000	



Critères	Données générique	Lien d'accès	Echelle	Remarques
Pentes	MNT 25m	https://geoservices.ign.fr/bdalti		
Zones endoréiques	RRP Géoportail		1/250 000	
Roches solubles	BD Charm	https://infoterre.brgm.fr/formulaire/telechargement-cartes-geologiques-departementales-150-000-bd-charm-50	1/50 000	
Aléa inondation par remontée de nappe	Géorisques	https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/inondations-par-remontee-de-nappes	1/100 000	
Sites et sols (potentiellement) pollués	Basias Sis Ex - Basol	https://www.georisques.gouv.fr/donnees/	1/25 000	
			1/5 000	
			1/5 000 à 1/25 000	
Cavités souterraines / Karst	Géorisques	https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/inventaire-des-cavites-souterraines	1/25 000	
Mouvements de terrain / chute de bloc	Géorisques	https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees/base-de-donnees-mouvements-de-terrain	1/25 000	
Retrait gonflement des argiles	Géorisques	https://www.georisques.gouv.fr/retrait-gonflement-des-argiles	1/50 000	
Aires d'alimentation de captages d'eau potable	AAC	https://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/ire/catalogsearch#/?metadata/27532b25-aaa7-4960-8df3-0cfff521d2856	1/50 000	



Critères	Données générique	Lien d'accès	Echelle	Remarques
Biodiversité	SRCE	https://inpn.mnhn.fr/programme/trame-verte-et-bleue/donnees-srce	1/100 000	Corridors et réservoirs
Aménités	BD Topo	https://geoservices.ign.fr/bdtopo	1/10 000	Zone de végétation
Aléa inondation par débordements de cours d'eau	PPRNP	https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/search-document/	1/5 000	Type de document : Serviudes d'Utilité Publique(sup) Catégories de SUP : PM1 – Plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRNP) et plans de prévention des risques miniers (PPRM)

Tableau 2 : Données disponibles nationalement mobilisées pour la cartographie du potentiel de désimperméabilisation à l'échelle territoriale selon la méthode générique.



Critères	Données générique	Lien d'accès	Echelle	Remarques
Profondeur de nappe	Terrain	Campagnes hautes eaux et basses eaux et interpolation		Echelle selon densité d'observation
Lutte contre aléa ilot de chaleur urbain	Geoclimate	Méthodologie : https://github.com/orbisgis/geoclimate/wiki A partir de la BD TOPO	1/10 000	Script java
Inondation par ruissellement		Méthode EXZECO du CEREMA : https://www.cerema.fr/fr/actualites/modelisation-du-ruissellement-bassins-versants-methode	Selon le mnt	<u>Pas testée par manque de temps</u>
Multifonctionnalité des sols	Méthode MUSE	Méthode rurale https://bibrairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5415-muse-integrer-la-multifonctionnalite-des-sols-dans-les-documents-d-urbanisme.html Méthode urbaine	1/250 000	Cible les surfaces non imperméabilisées Proxi peu satisfaisant Possibilité de méthode adaptée

Tableau 3 : Données à générer à partir de méthodes disponibles ou à acquérir pour la cartographie du potentiel de désimpermeabilisation à l'échelle territoriale selon la méthode générique



Critères	Données générique	Lien d'accès	Echelle	Remarques
Type d'occupation du sol	OCS Nantes Métropole	https://data.loire-atlantique.fr/explore/dataset/224400028_modes-occupation-sols-loire-atlantique	1/5 000	L'annexe n°9.1 précise les secteurs de France où une donnée équivalente est disponible
Périmètre de protection de captage d'eau potable			1/5 000	Couche fournie par NMI
Inondation par ruissellement	PLUm – Annexes réglementaire S et informatives	https://data.nantesmetropole.fr/explore/dataset/244400404_plum-prescription-surf/table/?refine.libelle=risque+d%27inondation+par+ruissellement	1/500	
Biodiversité	PLUm – Prescriptions surfaciques	https://data.nantesmetropole.fr/explore/dataset/244400404_plum-prescription-surf/table/	1/25 000	OAP trame verte et bleu et paysage Réservoirs de biodiversité fournis par NMI
Aménités	Accessibilité aux espaces	https://geoservices.ign.fr/bdtopo	1/10 000	Isodistances en substitution partielle de la donnée générique (ville de Nantes)
Multifonctionnalité des sols	MUSE adapté		1/25 000	
Aléa inondation par débordements de cours d'eau	PPRI	https://data.nantesmetropole.fr/explore/dataset/244400404_plum-info-surf/?refine.libelle=risque+inondation+par+d%C3%A9bordement+de+cours+d%27eau	1/25 000	
Date projets d'aménagements futur				Couche fournie par NMI

Tableau 4 : Données mobilisées pour l'approche spécifique en substitution totale ou partielle par rapport à la méthode générique pour l'application sur le territoire de Nantes Métropole



5.4. Les données thématiques à construire : méthodologies associées

5.4.1. Surfaces imperméabilisées

La couche d'information support est celle relative aux surfaces imperméables. A l'échelle de la France, deux jeux de données peuvent être mobilisés : l'OCS GE de l'IGN ou la couche Imperviousness de CORINE Land Cover. La couche OCS GE de l'IGN est privilégiée car elle comporte de nombreuses informations et elle offre une meilleure précision (1/5 000 vs 1/10 000). Elle distingue aussi chaque surface comme les routes, les places alors que la couche Imperviousness présente l'imperméabilisation par carroyage et par un taux d'imperméabilité. Il est prévu en outre que l'OCS GE soit disponible sur l'ensemble du territoire national d'ici 2025. Dans le cas où elle n'est pas encore disponible, il est possible d'utiliser la couche Imperviousness de CORINE Land Cover. La méthode associée est décrite en Annexe n°9.2.

Les surfaces de l'OCS GE possèdent une double nomenclature (Voir annexe 9.3). La première décrit la couverture du sol et la seconde son usage. Les surfaces imperméables sont associées à la couverture du sol. Le niveau 4 de la nomenclature y distingue les zones bâties (CS1.1.1.1) et les zones non bâties (CS1.1.1.2). Ainsi, la couverture de sol permet de définir les emprises des surfaces imperméables, qui servent de base à l'analyse du potentiel de désimperméabilisation.

Pour aller plus loin dans l'analyse et dans la précision des surfaces imperméables, il est possible comme le montre la Figure 8 de combiner cette donnée avec la couche des bâtiments de la BD Topo de l'IGN pour préciser les emprises des bâtiments au sein des zones bâties de l'OCS GE. Avec l'union de ces deux bases de données, des modifications doivent néanmoins être réalisées dans la table attributaire afin de rectifier certaines zones bâties et/ou non bâties par rapport aux surfaces imperméables (Voir annexe 9.4)



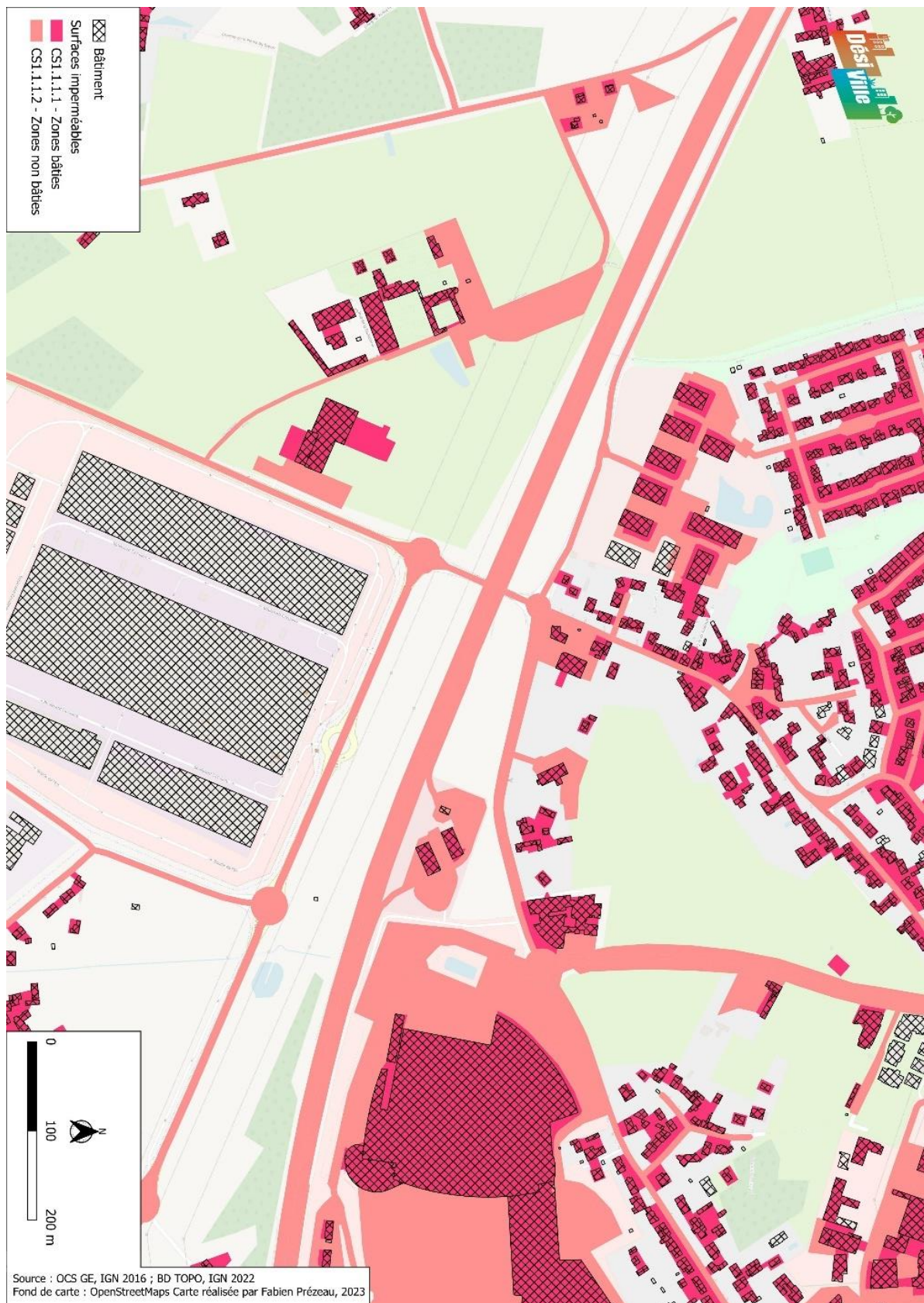


Figure 8 : Combinaison de la BD Topo de l'IGN avec l'OCS GE pour affiner l'emprise des bâtiments sur la carte des surfaces imperméabilisées



5.4.2. Caractéristiques des surfaces imperméabilisées

Quatre critères ont été sélectionnés pour établir les caractéristiques des surfaces imperméabilisées : l'occupation du sol, la propriété foncière, le bâti et non bâti et enfin la taille des surfaces.

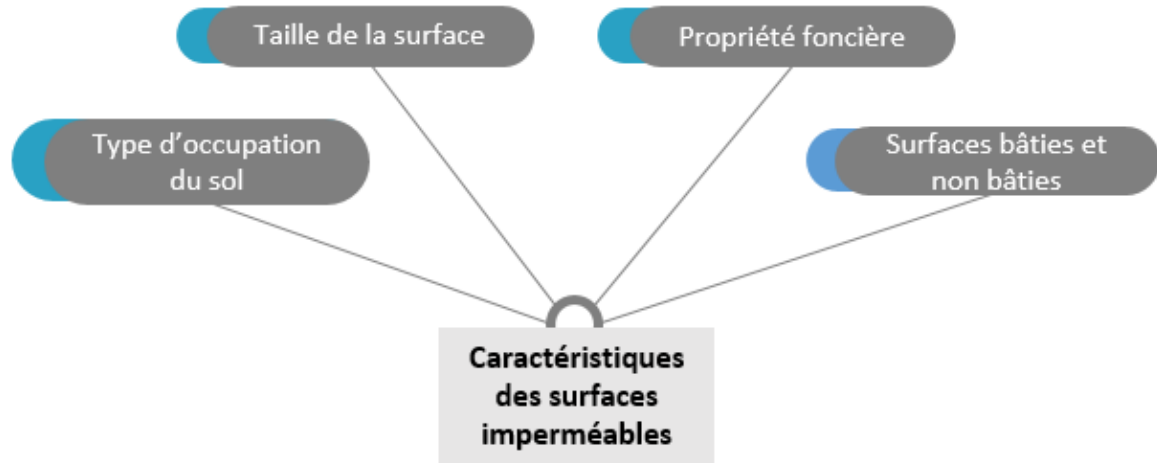


Figure 9 : Rappel des critères pris en compte dans la thématique des caractéristiques de surfaces imperméables

5.4.2.1. Le type d'occupation du sol

5.4.2.1.1. Selon l'OCS GE (méthode générique)

Certains espaces comme les zones commerciales ou les zones d'activités comportent des zones imperméabilisées de grande taille avec des parkings étendus dont le potentiel de désimpermeabilisation apparaît plus élevé que d'autres types d'usage comme la production primaire. Le système de notation (Tableau 5) vise ainsi à hiérarchiser les différents usages des sols selon leur potentiel de désimpermeabilisation relatif. Il s'appuie sur la couche d'usage du sol (code « US », Annexe n°9.5) de l'OCS GE.

Occupation du sol (OCS GE)	Code	Note
Production primaire	US1.1 ; US1.2, US1.3, US1.4, US1.5	1
Autre usage	US6.1, US6.2, US6.3, US6.6	2
Services de logistiques et de stockage ; réseaux d'utilité publiques ; Réseaux de transport	US4.1.1, US4.1.2, US4.1.3, US4.1.4, US4.1.5, US4.2, US4.3	3
		4
Production secondaire, tertiaire et usage résidentiel	US235	5

Tableau 5 : Système de notation provisoire de l'usage du sol de l'OCS GE

Le système de notation va gagner en précision dès que les données de l'OCS GE distingueront les espaces résidentiels des zones de production secondaire et tertiaire qui sont actuellement regroupées dans le code US235. Les zones de production secondaire et tertiaire intègrent les zones d'activités et commerciales, qui ont un plus fort potentiel de désimperméabilisation que les zones à usage résidentiel du fait de la présence de parkings imperméables de grande taille. Le Tableau 6 décrit le système de notation qui devra être utilisé avec les nouvelles versions de l'OCS GE, en cours de constitution/finalisation à l'échelle nationale.

Occupation du sol (OCS GE)	Code	Note
Production primaire	US1.1, US1.2, US1.3, US1.4, US1.5	1
Autre usage	US6.1, US6.2, US6.3, US6.6	2
Services de logistiques et de stockage ; réseaux d'utilité publiques ; Réseaux de transport	US4.1.1, US4.1.2, US4.1.3, US4.1.4, US4.1.5, US4.2, US4.3	3
Usage résidentiel	US5	4
Production secondaire, tertiaire	US2, US3	5

Tableau 6 : Système futur de notation du type d'occupation des sols à partir de l'OCS GE

5.4.2.1.2. Selon des données locales (méthode spécifique : exemple avec la BD MOS 44)

Le Tableau 7 présente le système de notation établi à partir de données locales pour nourrir la méthode spécifique. Dans notre exemple, on se base sur le Mode d'occupation du sol du département de la Loire-Atlantique (MOS 44) qui est mise à jour régulièrement par Nantes Métropole. Des données équivalentes sont disponibles sur certains territoires de France (Annexe n°9.1). Dans l'optique d'utiliser des données locales comme la BD MOS, le système de notation diffère un peu mais garde une structure de notation assez similaire par rapport à celle de l'OCS GE.

Occupation du sol (BD MOS)	Code	Note
Hameau rural ; Autre	112	1
		2
Emprises aéroportuaires	131	3
Emprises routières	132	
Zones portuaires	124	
Emprise ferroviaires	133	
Habitat collectif	113	4
Habitat pavillonnaire	114	
Habitat mixte	115	
Grands services urbaines	123	
Centre-bourg, Centre-ville	111	5
Zone d'activités	121	
Surfaces commerciales	122	
Chantier, terrain en mutation	143	
Terrains vacants et friches urbaines	144	

Tableau 7 : Système de notation selon l'occupation du sol (BD MOS 44)



5.4.2.2. La propriété foncière

La question de la propriété foncière a été retenue dans l'analyse car les parcelles publiques sont plus faciles à modifier par rapport à des parcelles privées qui nécessitent l'accord du propriétaire. La donnée MAJIC détaille précisément les parcelles en France, mais elle est soumise à de conditions d'accès et à une procédure d'obtention. Les parcelles des personnes morales issues de MAJIC sont néanmoins accessibles librement sur le portail « Open data Koumoul ». Elles répertorient un certain nombre d'éléments comme les parcelles détenues par l'Etat, le département, la commune, ou bien par des personnes représentants des sociétés d'économie mixte. Dans les deux cas, l'utilisation de ces jeux de données se fait par jointure avec le Parcellaire Express de l'IGN (Annexe n°9.6). Le Tableau 8 précise le système de notation mis en place.

Propriété foncière	Note
Privée	2
Publique	5

Tableau 8 : Système de notation de la propriété foncière

5.4.2.3. La taille des surfaces imperméables

Le critère de taille des surfaces est déterminé selon le système de notation décrit dans le Tableau 9. Il est appliqué à la couche des surfaces imperméables établie par croisement entre la couverture des sols de l'OCS GE et du bâti de la BD Topo. Une distinction est faite entre l'urbain dense et peu dense/autre afin de différencier les surfaces imperméables présentes dans les cœurs de ville de celles situées en dehors des villes. En effet, il est plus difficile de disposer de grandes surfaces en urbain dense, et la désimperméabilisation en urbain dense est supposée générer des bénéfices plus importants qu'en urbain peu dense.

Les zones en urbain dense ou peu dense sont définies pour la méthode générique à l'aide de Corine Land Cover (1/100 000), en retenant les codes d'occupation du sol 111 et 112. Le code 121 n'est pas retenu, car il intègre des zones d'activité et commerciales qui présentent de grandes surfaces imperméabilisées.

Pour la méthode spécifique, les tests réalisés conduisent à différentes hypothèses possibles pour qualifier la densité de bâti, la notion d'urbain dense étant difficile à définir et à cartographier (cf. [rapport de projet, lien internet](#)).

Taille de surface		Note
Urbain peu dense et autre	Urbain dense	
< 1 500 m ²	< 200 m ²	1
1 500 – 3 000 m ²	200 – 500 m ²	2
3 000 – 10 000 m ²	500 – 1 500 m ²	3
10 000 – 20 000 m ²	1 500 – 3 000 m ²	4
> 20 000 m ²	> 3 000 m ²	5

Tableau 9 : Système de notation de la taille des surfaces selon la densité urbaine

La question des surfaces non contiguës proches est prise en compte lors des traitements de la couche OCS GE et des bâtiments de la BD Topo. Ceci est important car la désimperméabilisation d'une surface de petite taille a plus d'impact si elle s'intègre dans un ensemble de surfaces non contiguës mais proches.



5.4.2.4. Les zones bâties et non bâties

La couche de l'OCS GE combinée avec les bâtiments du BD PARCELLAIRE permet de distinguer les surfaces bâties et non bâties. Les surfaces non bâties seront plus faciles à désimperméabiliser, car elles ne nécessitent pas la démolition d'un bâtiment. Le Tableau 10 présente le système de notation retenu.

Zones bâties et non bâties	Note
Zones bâties	1
Zones non bâties	5

Tableau 10 : Système de notation selon les zones bâties et non bâties

5.4.2.5. Pondération des critères relatifs aux caractéristiques des surfaces imperméabilisées

Un poids de 1 a été attribué à chaque critère, considérant qu'aucun ne prédomine sur les autres. Le Tableau 11 résume le système de notation et de pondération des différents critères associés à la thématique des caractéristiques des surfaces imperméabilisées.

Critères	Nombre de classes	Notes	Poids
Occupation du sol	5	1 à 5	1
Propriété foncière	2	2 et 5	1
Taille des surfaces	5	1 à 5	1
Zones bâties et non bâties	2	1 et 5	1

Tableau 11 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères relatifs à la thématique des caractéristiques des surfaces imperméables

La somme pondérée des 4 critères décrivant les caractéristiques des surfaces imperméabilisées est rattachée à une classe de potentiel de désimperméabilisation comme suit :

- Faible : [5-8]
- Moyennement faible :]8-11]
- Moyen :]11-14]
- Moyennement fort :]14-17]
- Fort :]17-20].



5.4.3. Infiltrabilité des sols et du proche sous-sol

La synthèse bibliographique sur les méthodologies de cartographie de l'infiltrabilité du proche sous-sol a identifié la méthode PHOEBUS, déployée sur Rennes Métropole (Pinson et al., 2019), comme la plus pertinente. La méthodologie, reproductible au sein d'autres territoires d'échelle comparable, est précisément et exhaustivement décrite dans un rapport disponible en ligne (Pinson et Bault, 2019).

Cette méthode repose sur une analyse multicritère (somme pondérée) basée sur la classification et la hiérarchisation des 7 critères suivants (Figure 10 et Tableau 12) :

- épaisseur de la zone non saturée, calculée par différence entre le MNT et la grille des altitudes de la nappe au pas de 25 m (issue d'une campagne piézométrique en hautes eaux) ;
- perméabilité des sols ;
- indice de susceptibilité de présence d'argiles ;
- IDPR : Indice de Développement et de Persistance des Réseaux ;
- hydromorphie des sols ;
- pentes ;
- zones endoréiques.

Ces critères naturels peuvent être hiérarchisés selon des contours homogènes que sont les unités fonctionnelles, permettant de découper l'ensemble de la zone d'étude en polygones cohérents en termes de fonctionnement hydrologique et pédologique.

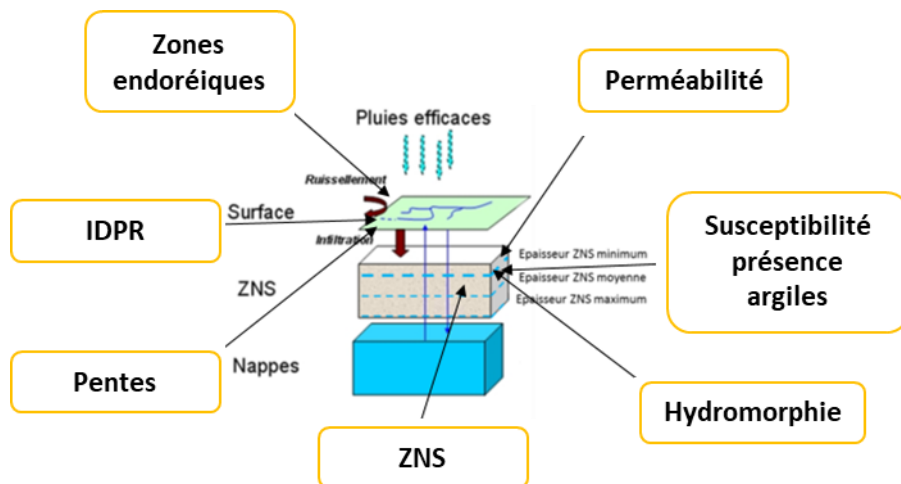


Figure 10 : Influence des paramètres sur les différents compartiments (surface et sol – modifié, d'après Pinson et Bault., 2019)

Pour chaque critère, une note variant de 0 à 10 est attribuée (voir Annexe n°9.7). Elle reflète la capacité d'infiltration des eaux pluviales : ainsi une note égale à 0 correspond à « pas infiltration possible » et une note de 10 à une « infiltration favorable ». Entre ces deux extrêmes et en fonction des classes de chaque critère, une ou deux notes intermédiaires peuvent être créées permettant ainsi d'apporter de la nuance.

Avant la combinaison des notes, une pondération est attribuée à chaque critère, selon son importance pour l'évaluation de l'infiltration des eaux pluviales.

La somme pondérée aboutit à la création d'un indicateur de la capacité d'infiltration, d'une valeur maximale de 200. Afin d'être facilement utilisable, cet indicateur peut être restitué sous forme de plusieurs classes caractérisant la possibilité d'infiltrer des eaux pluviales (par exemple : exclusion, peu favorable, assez favorable, favorable et très favorable). Par défaut, une somme nulle des notes des critères correspond à une zone d'exclusion. Pour identifier plus facilement les zones complètement défavorables, une option pourrait être d'affecter une note très basse (-99 par exemple) aux critères jugés rédhibitoires (ex. argile, épaisseur zone non saturée < 2 m, pente > 7 %) (Lucassou et al, 2023), afin d'obtenir une note négative pour faciliter l'identification des zones d'exclusion.

Critères d'infiltrabilité	Type de données	Disponibilité	Variabilité des notes	Pondération
Épaisseur de la zone non saturée	Grille	Cartographie locale ou campagne piézométrique hautes eaux spécifique	0 / 5 / 10	5
Perméabilité des sols	Polygone	Données ponctuelles ou cartographiques locales	0 / 2 / 5 / 10	3
Indice de susceptibilité de présence d'argiles	Polygone	Cartographie nationale d'aléa Retrait Gonflement des Argiles	0 / 2 / 5 / 10	2
IDPR	Grille au pas de 25 m	Cartographie nationale (échelle 1/ 50 000)	0 / 2 / 5 / 10	2
Hydromorphie des sols	Grille	Données cartographiques locales	0 / 2 / 5 / 10	5
Pente	Grille	Calcul à partir du MNT	0 / 2 / 5 / 10	2
Zones endoréiques	Polygone	Calcul à partir du MNT	0 / 2 / 5 / 10	1

Tableau 12 : Système de notation et pondération des critères d'infiltrabilité proposés dans la méthode PHOEBUS (Pinson et Bault., 2019)

Il est possible d'adapter les critères en fonction des données disponibles à l'échelle du territoire d'étude. D'autre part, après la spatialisation des critères retenus à l'échelle du territoire, l'attribution des notes et la pondération de ces critères peut s'appuyer sur une phase de consultation des acteurs du territoire.

A noter que l'IDPR est un critère très intégrateur, qui rend compte également de la perméabilité, de la pédologie, et de la présence d'argiles. Comme l'IDPR peut souffrir de biais en milieu urbanisé (par exemple en cas de busage des cours d'eaux, ces critères sont pris également en compte dans l'analyse multicritère pour évaluer l'infiltrabilité.



5.4.4. Contraintes environnementales

Cette thématique a pour but de hiérarchiser les zones selon différents points d'attention liés aux contraintes environnementales que représentent les risques naturels et anthropiques ainsi que les ressources à protéger. Elle vise aussi à exclure des zones présentant des critères rédhibitoires comme des roches solubles. La Figure 11 présente les critères liés à cette thématique.

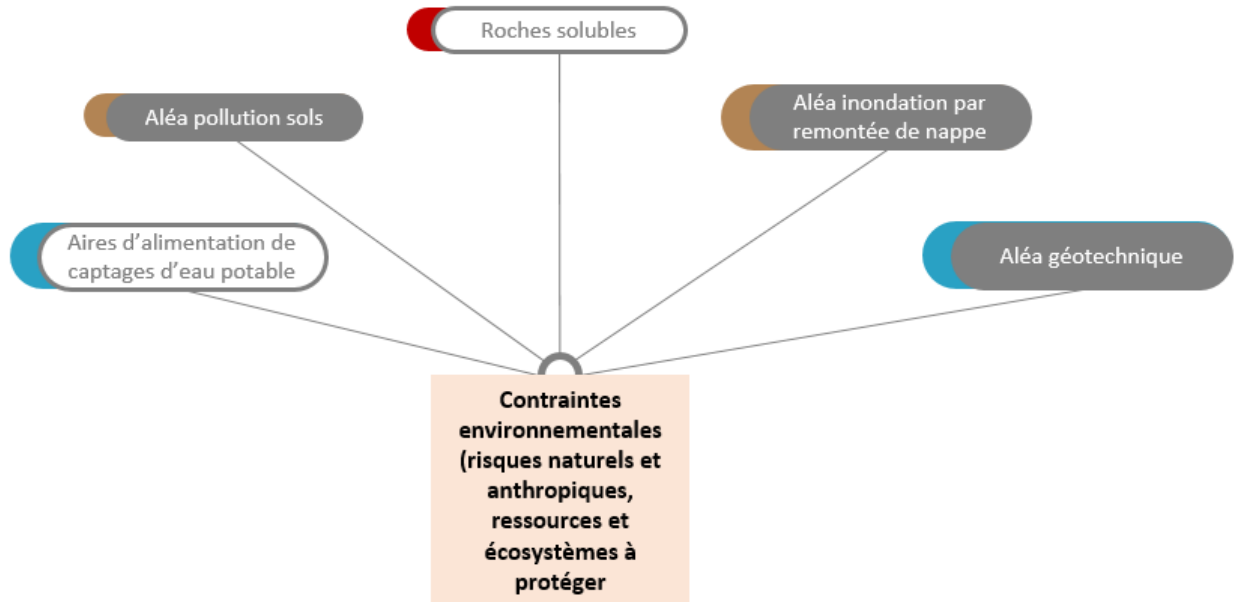


Figure 11 : Critères retenus pour illustrer les contraintes environnementales

5.4.4.1. Les roches solubles

La présence de roches solubles est retenue comme critère d'exclusion. En effet, une désimperméabilisation au-dessus d'une roche soluble est susceptible d'entraîner des instabilités dans le sous-sol par création de vide. Le système de notation binaire 0 ou 1 (Tableau 13) permet d'exclure ces zones de l'analyse du potentiel de désimperméabilisation.

Roches solubles	Note
Oui	0
Non	1

Tableau 13 : Système de notation du critère de roches solubles

La BD CHARM (carte géologique harmonisée à l'échelle du 1/50 000) permet d'identifier la présence de roches solubles dans le sous-sol. L'Annexe n°9.8 indique les mots clefs et les champs à utiliser pour identifier les roches très solubles. Certaines régions comme l'Île de France ou l'Alsace sont plus concernées que d'autres par la présence de roches solubles.



5.4.4.2. Aléa pollution des sols

La désimperméabilisation de sols pollués est susceptible d'engendrer des risques pour l'environnement et la santé humaine, en favorisant la libération de substances toxiques jusque-là confinées et/ou pas ou peu en contact avec l'eau.

La pollution des sols est issue des diverses activités humaines. Nous distinguons deux types de pollution, ponctuelle et diffuse. Une pollution est dite ponctuelle lorsque sa source est localisée et concentrée à un endroit précis. Les activités industrielles et de service de manière générale ou un accident par exemple peuvent en être la cause (par exemple une fuite de carburants dans une station-service). La pollution diffuse quant à elle concerne une pollution de grande ampleur spatialement mais en faible quantité. Les sources peuvent être plurielles telles que des rejets atmosphériques (industriels, domestiques, transport) ou l'agriculture.

Le transfert des polluants vers les eaux souterraines est plus ou moins facile selon les caractéristiques des sols et du sous-sol. La vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines permet de prendre cet aspect en compte.

Le Tableau 14 présente le système de notation de l'aléa pollution des sols intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines. Le système de notation mis en œuvre prend en compte différentes sources liées aux activités industrielles et de service, aux activités agricoles et aux remblais. La méthodologie développée pour cartographier les zones potentiellement sources de pollutions associées et leur niveau d'aléa est décrite en Annexe n°9.9.

Aléa pollution des sols	Note
Aucune présence de polluants	-0.5
Faible	-1
Moyen	-3
Fort	-5

Tableau 14 : Système de notation de l'aléa pollution de sols intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines

5.4.4.3. Aléa inondation par remontée de nappe

Une désimperméabilisation dans un secteur où la nappe risque de remonter à la surface augmente l'aléa inondation par remontée de nappe, qu'il est ainsi important de prendre en compte. Le Tableau 15 présente le système de notation correspondant à la donnée disponible sur le site Géorisques, qui indique sur le territoire la présence ou non de cet aléa à l'échelle du 1/100 000^{ème}.

Aléa inondation par remontée de nappe	Note
Non	-0.5
Oui	-5

Tableau 15 : Système de notation du critère de l'aléa inondation par remontée de nappe

5.4.4.4. Aires d'alimentation de captages d'eau potable

Les aires d'alimentation de captages d'eau potables servent à protéger la ressource en eau. La désimperméabilisation ces aires d'alimentation doit se faire avec précaution, afin de ne pas altérer la ressource. En particulier, l'infiltration d'eau polluée doit être évitée, qu'elle soit liée au ruissellement ou à la percolation au sein de sources de pollutions historiques des sols. Le Tableau 16 précise le système de notation mis en place pour ce critère.



Aire d'alimentation de captages d'eau potable	Note
Non	-0.5
Oui	-5

Tableau 16 : Système de notation du critère d'aire d'alimentation de captage d'eau potable

5.4.4.5. Aléa géotechnique

L'aléa géotechnique correspond à un regroupement de trois critères : le retrait gonflement des argiles, les mouvements de terrains / chutes de bloc et la présence de cavités souterraines. L'annexe n° 9.10 décrit la méthode de regroupement de ces trois critères, et le Tableau 17 le système de notation établi.

Aléa géotechnique	Note
A priori non concerné	-0.5
Faible	-1
Moyen	-3
Fort	-5

Tableau 17 : Système de notation du critère aléa géotechnique qui regroupe 3 sous-critères (aléa retrait-gonflement des argiles, mouvements de terrain-chutes de blocs, cavités souterraines)

5.4.4.6. Pondération des critères des contraintes environnementales

Dans cette thématique, la présence de **roches solubles** est considérée comme un **critère d'exclusion**. Ainsi, la note pour ce critère (0 ou 1) sera multipliée par la somme de tous les autres critères, afin d'obtenir une note globale nulle en cas de présence. Un poids de 2 a été attribué à l'**aléa pollution des sols** et à l'**aléa inondation par remontée de nappe** car ces critères sont jugés plus importants que les autres pour évaluer la faisabilité de la désimperméabilisation des sols. Les autres critères ont ainsi un poids de 1. Le Tableau 18 résume le système de notation et de pondération pour chaque critère de cette thématique.

Critères	Classe	Note	Poids
Roches solubles	2	0 et 1	Exclusion
Aléa pollution des sols	4	-0,5 ; -1 ; -3 ; -5	2
Aléa inondation par remontée de nappe	2	-0,5 et -5	2
Aires d'alimentation de captages d'eau potable	2	-0,5 et -5	1
Aléa géotechnique	4	-0,5 ; -1 ; -3 ; -5	1

Tableau 18 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères de la thématique des contraintes environnementales

La note globale de **faisabilité liée aux contraintes environnementales** se calcule à l'aide de la formule suivante :

Note contraintes environnementales

$$= \text{Roches solubles} * (\text{Aléa pollution des sols} * 2 + \text{aléa inondation par remontée de nappe} * 2 + \text{Aires d'alimentation de captages d'eau potable} + \text{Aléa géotechnique})$$

Les notes obtenues sont rattachées à l'une des classes suivantes :

- Nulle : 0



- Faible : [-30 à -24.4]
- Moyennement faible :]-24.4 à -18.8]
- Moyen :]-18.8 à -13.2]
- Moyennement fort :]-13.2 à -7.6]
- Fort :]-7.6 à -2]



5.4.5. Atouts et bénéfices de la désimperméabilisation

La thématique des atouts de la désimperméabilisation aborde des critères qui ont pour vocation de déterminer les surfaces où les bénéfices sont les plus intéressants vis-à-vis de l'homme mais aussi de la nature. La Figure 12 présente les critères retenus.

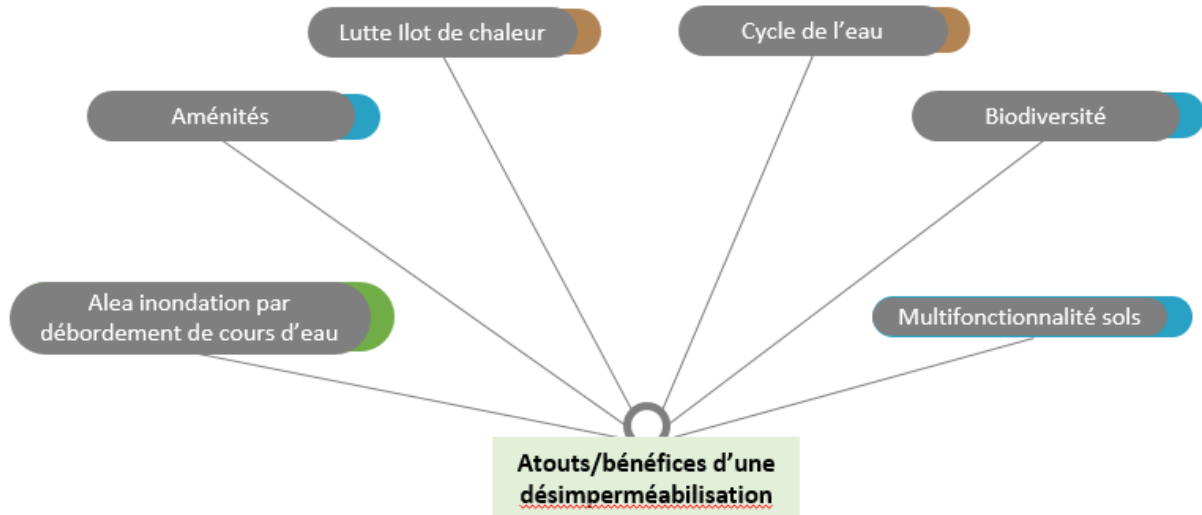


Figure 12 : Critères de sélection des atouts et bénéfices

5.4.5.1. Lutte contre l'aléa îlot de chaleur urbain

Les zones où la lutte contre les îlots de chaleur urbains est à envisager sont approchées à l'aide du zonage climatique local ou Local Climate Zones (LCZ). Les LCZ permettent de définir des probabilités de température urbaine élevée selon plusieurs paramètres : la densité d'imperméabilisation, la porosité de la surface, la hauteur des bâtiments ou encore le Sky View Factor (mesure du taux de ciel qu'il est possible de voir) (Kokalj et al., 2011). Les LCZ comportent 17 classes (Annexe 9.11).

Deux programmes (Géoclimate et Wudapt) permettent de produire les LCZ sur un territoire donné. L'échelle de résolution plus fine de Geoclimate a conduit à retenir préférentiellement cette méthode (<https://github.com/orbisgis/geoclimate>) qui s'appuie sur un script Java à partir de l'OpenStreetMap ou de la BD TOPO. Le système de notation (Tableau 19) est appliqué à la couche résultante du programme. La méthode Wudapt, est consultable sur <https://www.wudapt.org/>.

Lutte contre l'aléa îlot de chaleur urbain	Note
Espace densément arboré ; Espace arboré clairsemé ; Espace végétalisé hétérogène ; Végétation basse ; Eau	1
Sol imperméable naturel ou artificiel ; Sol nu	2
Bâtiments bas de grande emprise ; implantation diffuse et espacée de maisons	3
Ensemble de tours espacées ; Ensemble de maisons espacées ; Ensemble dense de maisons ou constructions légères	4
Ensemble compact de tours ; Ensemble compact d'immeubles ; Ensemble compact de maisons ; Industrie lourde	5

Tableau 19 : Système de notation des zones climatiques locales (LCZ) pour cartographier les zones propices à la lutte contre aléa îlot de chaleur urbain



5.4.5.2. Cycle de l'eau : lutte contre l'aléa inondation par ruissellement

Les zones d'inondation par ruissellement sont provoquées par la non capacité à l'eau à s'infiltrer dans le sol. En zone urbaine, le ruissellement est amplifié par les surfaces imperméabilisées. Réduire l'aléa inondation par ruissellement représente donc un atout important de la désimpermeabilisation.

Le ruissellement commence dès les têtes de bassins versants, en amont topographique des zones d'inondation par ruissellement. Augmenter l'infiltration de l'eau en amont des zones d'inondation ressort comme un levier important pour réduire l'aléa. C'est pourquoi les têtes de bassin versant sont considérées dans le système de notation (Tableau 20) comme plus propices à la désimpermeabilisation que les zones d'aléa en elles-mêmes.

Lutte contre l'aléa inondation par ruissellement	Note
Hors tête de bassin versant et zone d'aléa	1
Zone d'aléa	3
Tête de bassin versant	5

Tableau 20 : Système de notation de l'aléa inondation par ruissellement

Nationalement, aucune donnée sur l'aléa inondation par ruissellement n'est disponible. La Méthode ExZEco du CEREMA a été identifiée comme permettant de créer cette donnée pour l'approche cartographique générique, mais elle n'a pu être testée. Les tests cartographiques menés sur Nantes Métropole (Cf.6.2.4) ne l'intègrent pas pour la méthode générique, bien que jugée importante. Le jeu de données précis disponible sur l'Opendata de la métropole a en revanche été intégré dans la mise en application de la méthode spécifique.

5.4.5.3. Biodiversité

Afin de définir le critère de la biodiversité, on utilise la donnée des Trames vertes et bleues (TVB) disponible sur le site de l'INPN. Cette donnée définit les zones présentant des continuités écologiques (réservoirs et corridors écologiques). En désimpermeabilisant dans une zone de trame verte et bleue, on favorise à la reconnexion ou la création de nouveaux corridors entre des réservoirs, ce qui apparait plus favorable pour la biodiversité. Cette différence d'appréciation entre zone située au sein ou en dehors d'une TVB est traduite dans le système de notation (Tableau 21).

Biodiversité	Note
Aucune biodiversité (hors TVB)	2
Présence de biodiversité (TVB)	5

Tableau 21 : Système de notation de la biodiversité

5.4.5.4. Aménité

Dans la mesure où les espaces verts représentent un atout important dans la qualité de vie des habitants (Bourdeau-Lepage et al. 2018), le critère de distance d'accessibilité d'un espace vert a été retenu. Dans ce cadre, la distance de 300 m considérée dans le système de notation (Tableau 22) correspond à l'une des distances utilisées par Nantes Métropole pour établir sa politique d'aménagement.

Aménités	Note
Moins de 300 m	2
Plus de 300 m	5

Tableau 22 : Système de notation de l'aménité



5.4.5.5. Multifonctionnalité des sols

La multifonctionnalité des sols peut être définie comme la possibilité d'un sol à assurer plusieurs fonctions (Cerema, et al, 2018, Branchu et al, 2021). Désimpermeabiliser permet aux sols de retrouver une certaine multifonctionnalité, en lui permettant d'infiltrer de nouveau l'eau, de stocker du carbone et d'accueillir de la biodiversité. A l'échelle territoriale, la méthode MUSE permet de cartographier multifonctionnalité des sols. La méthode cible cependant des zones non imperméabilisées. Des ajustements de la méthodologie sont possibles. Si l'on dispose du potentiel d'infiltration des sols (cf. 9.7), on peut approcher une multifonctionnalité partielle (hors potentiel agronomique), et l'intégrer comme atout avec des possibilités de scénarios. Le système de notation associé est décrit dans le Tableau 23.

Multifonctionnalité de sols	Note
Très mauvais	1
Mauvais	2
Moyen	3
Bon	4
Très bon	5

Tableau 23 : Système de notation de la multifonctionnalité des sols

5.4.5.6. Aléa inondation par débordement de cours d'eau

La désimpermeabilisation dans les zones d'inondation par débordements de cours d'eau peut être vue comme un atout pour réduire le risque d'inondation. Elle ne doit en revanche pas créer de nouveaux risques/zones à enjeux. L'aléa est disponible dans le plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRNP) disponible sur le Géoportail de l'urbanisme sous l'assiette de servitude PM1. Le Tableau 24 présente le système de notation relié à ce critère.

Aléa inondation par débordements de cours d'eau	Note
Non	1
Oui	5

Tableau 24 : Système de notation de l'aléa débordements de cours d'eau

5.4.5.7. Pondération des critères reliés aux atouts et bénéfiques

Les critères '**lutte contre l'aléa îlot de chaleur urbain**' et '**lutte contre l'aléa inondation par ruissellement**' sont considérés prédominants par rapports aux autres. Un **poids** de **2** leur est ainsi attribué (Tableau 25). Le critère **aléa inondation par débordements de cours d'eau** apparait moins prédominant, combinant des atouts mais aussi des contraintes (cf.2.2), il reçoit donc un **poids** de **0.5**. Un poids de 1 est attribué aux autres critères.



Critères	Classe	Note	Poids
Lutte contre l'aléa ilot de chaleur urbain	5	1 à 5	2
Lutte contre l'aléa inondation par ruissellement	3	1, 3 et 5	2
Biodiversité	2	2 et 5	1
Aménité	2	2 et 5	1
Multifonctionnalité des sols	5	1 à 5	1
Aléa inondation par débordements de cours d'eau	2	1 et 5	0.5

Tableau 25 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères de la thématique atouts et bénéfices de la désimperméabilisation

Le Tableau 25 récapitule les différents critères avec leur système de notation propre et leur poids dans l'analyse multicritère. L'analyse multicritère utilise la formule suivante pour calculer une note de potentiel de désimperméabilisation selon les atouts et bénéfices :

$$\begin{aligned} & \text{Lutte contre aléa ilot de chaleur urbain} * 2 + \text{aléa inondation par ruissellement} * 2 + \text{biodiversité} \\ & + \text{aménité} + \text{multifonctionnalité de sols} \\ & + \text{aléa inondation par débordements de cours d'eau} * 0.5 \end{aligned}$$

La note est rattachée à l'une des classes suivantes de potentiel de désimperméabilisation selon les atouts et bénéfices :

- Classes de valeurs générique (hors lutte contre l'aléa inondation par ruissellement)
 - Faible : [7,5 - 11,5]
 - Moyennement faible :]11,5 - 15,5]
 - Moyen :]15,5 - 19,5]
 - Moyennement fort :]19,5 - 23,5]
 - Fort :]23,5 - 27,5]
- Classes de valeurs spécifique ou générique (avec lutte contre l'aléa inondation par ruissellement)
 - Faible : [8,5 - 14,3]
 - Moyennement faible :]14,3 - 20,1]
 - Moyen :]20,1 - 25,9]
 - Moyennement fort :]29,9 - 31,7]
 - Fort :]31,7 - 37,5]

5.4.6. Opportunités

La principale opportunité retenue concerne l'emprise des projets d'aménagement en cours ou projetés. Des critères comme les matériaux et l'âge des infrastructures n'ont pas été retenus faute d'information suffisante disponible dans la base de données nationale des bâtiments (<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-de-donnees-nationale-des-batiments/>) pour le moment. Ce type d'information pourra être intégré par la suite. Les espaces à fort intérêt culturel et les friches peuvent être considérés également lorsque jugés pertinents et/ou suffisamment renseignés.



6. Approche territoriale : exemple d'application

La méthodologie décrite précédemment a été testée à l'échelle du territoire de Nantes Métropole.

6.1. Présentation du territoire d'étude : Nantes Métropole

La métropole compte 656 275 habitants répartis sur 24 communes localisées de part et d'autre de la Loire (Figure 14).

Le territoire de Nantes Métropole a subi une artificialisation importante entre 1952 et 2020 (Figure 15). Cette artificialisation s'est faite aux dépens des espaces agricoles. En effet, sur cette période, la part des espaces agricoles est passée de 71 % à 37 %, tandis que la part des espaces artificiels est passée de 14 % à 43 % (Figure 13). Seule une partie des surfaces artificialisées est imperméabilisée. Ainsi, environ 21 % du territoire de Nantes Métropole sont couverts par des surfaces imperméables (soit 11 289 ha sur 53 476 ha)(Figure 16).

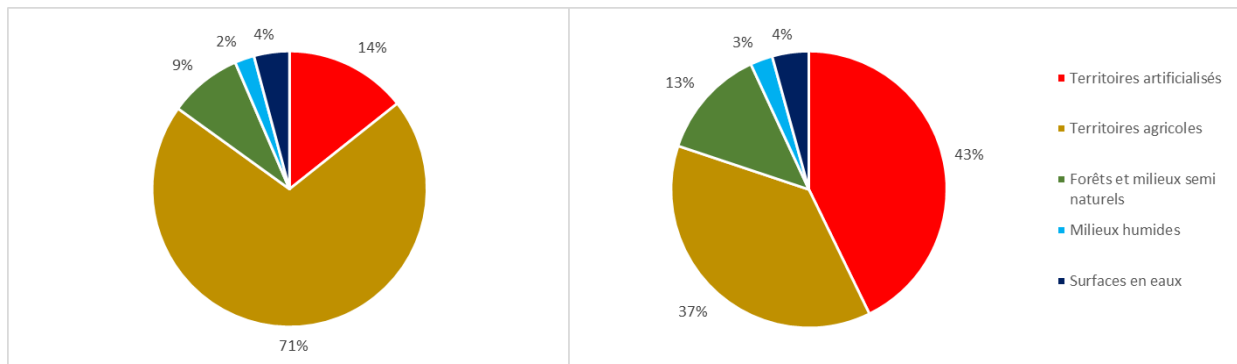


Figure 13 : Répartition de l'occupation du sol de Nantes Métropole entre 1952 et 2020 (Source : OCS 1952 et 2020, Nantes Métropole)



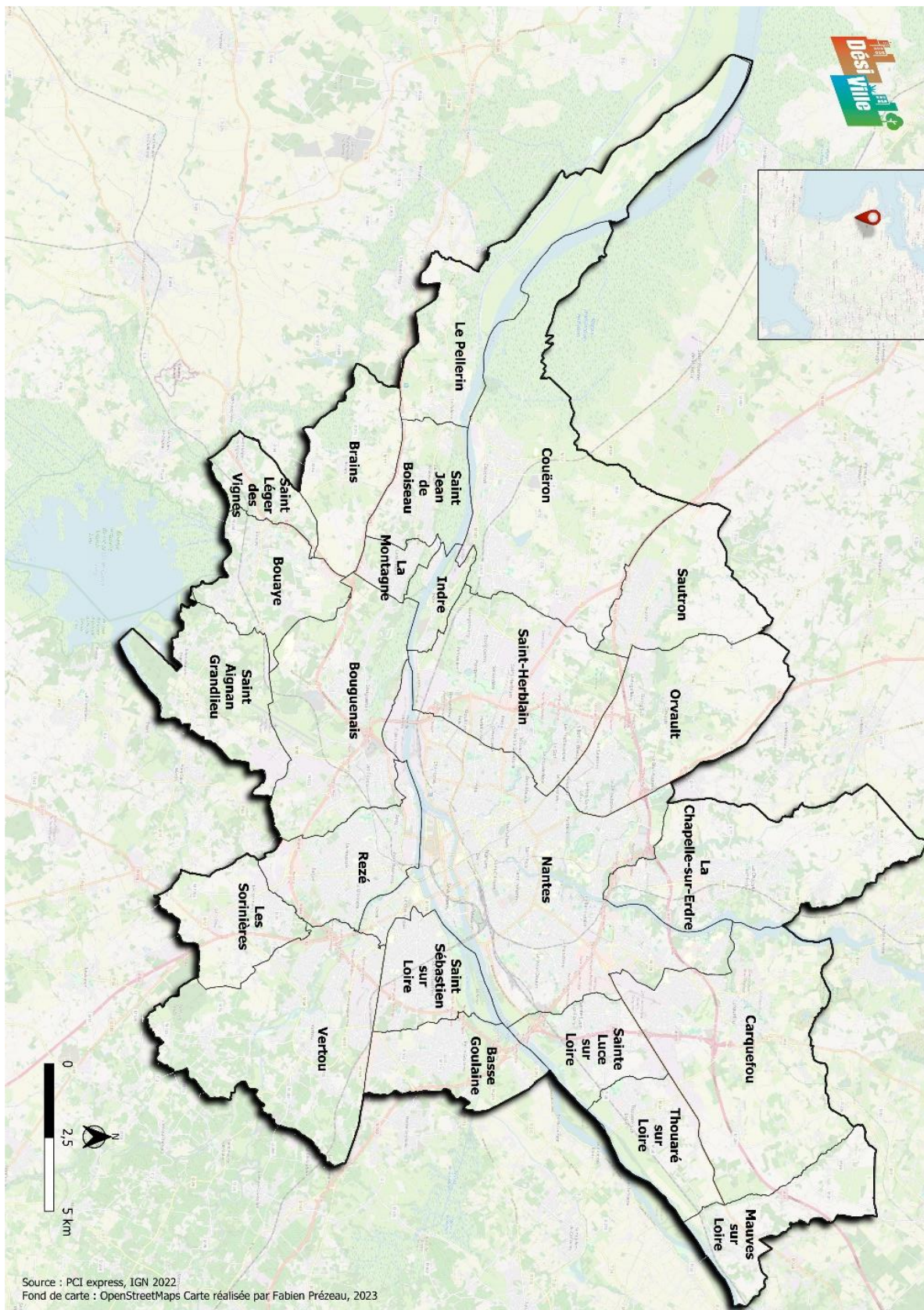


Figure 14 : Communes composant Nantes Métropole





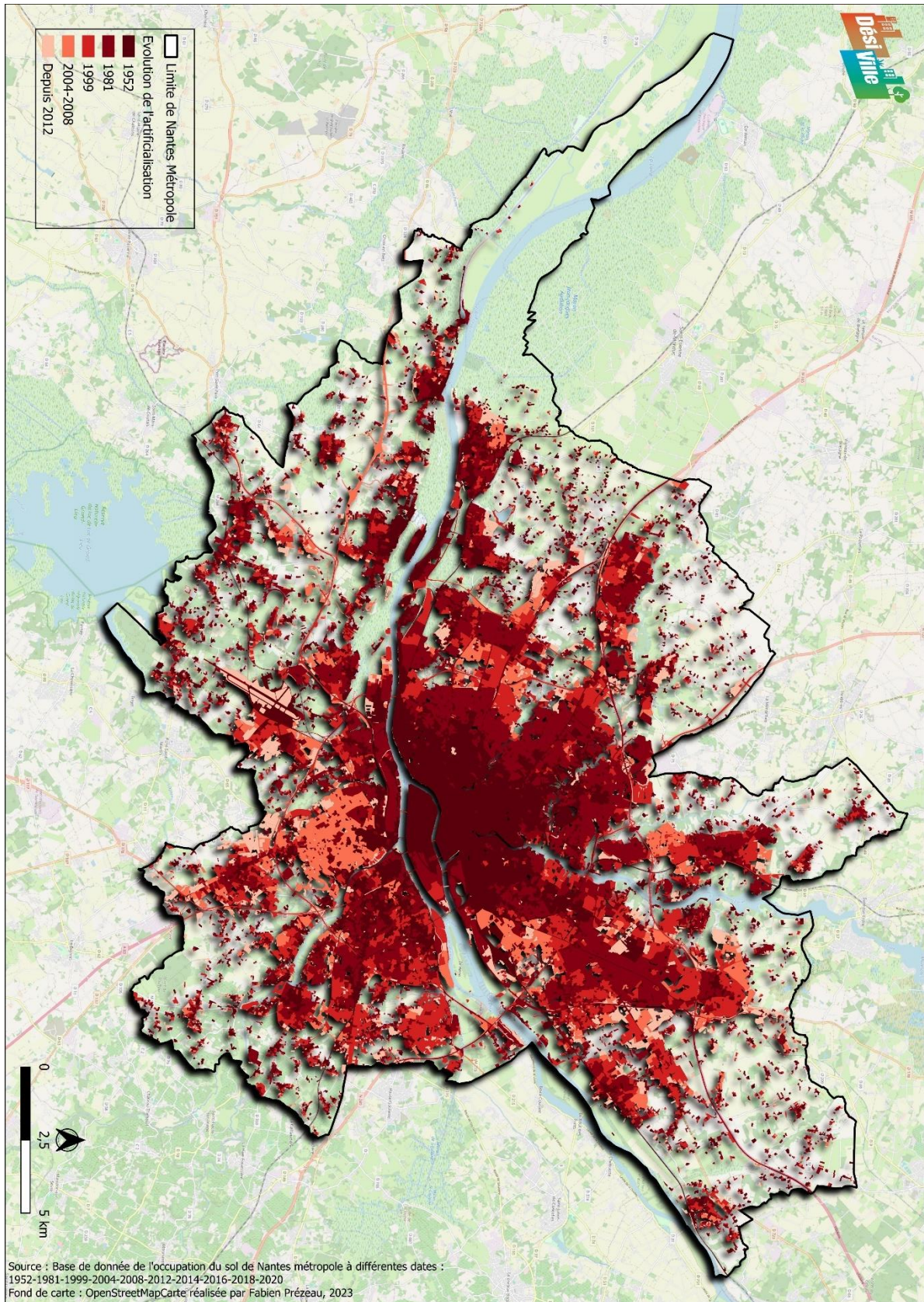


Figure 15 : Carte de l'évolution de l'artificialisation de Nantes Métropole depuis 1952



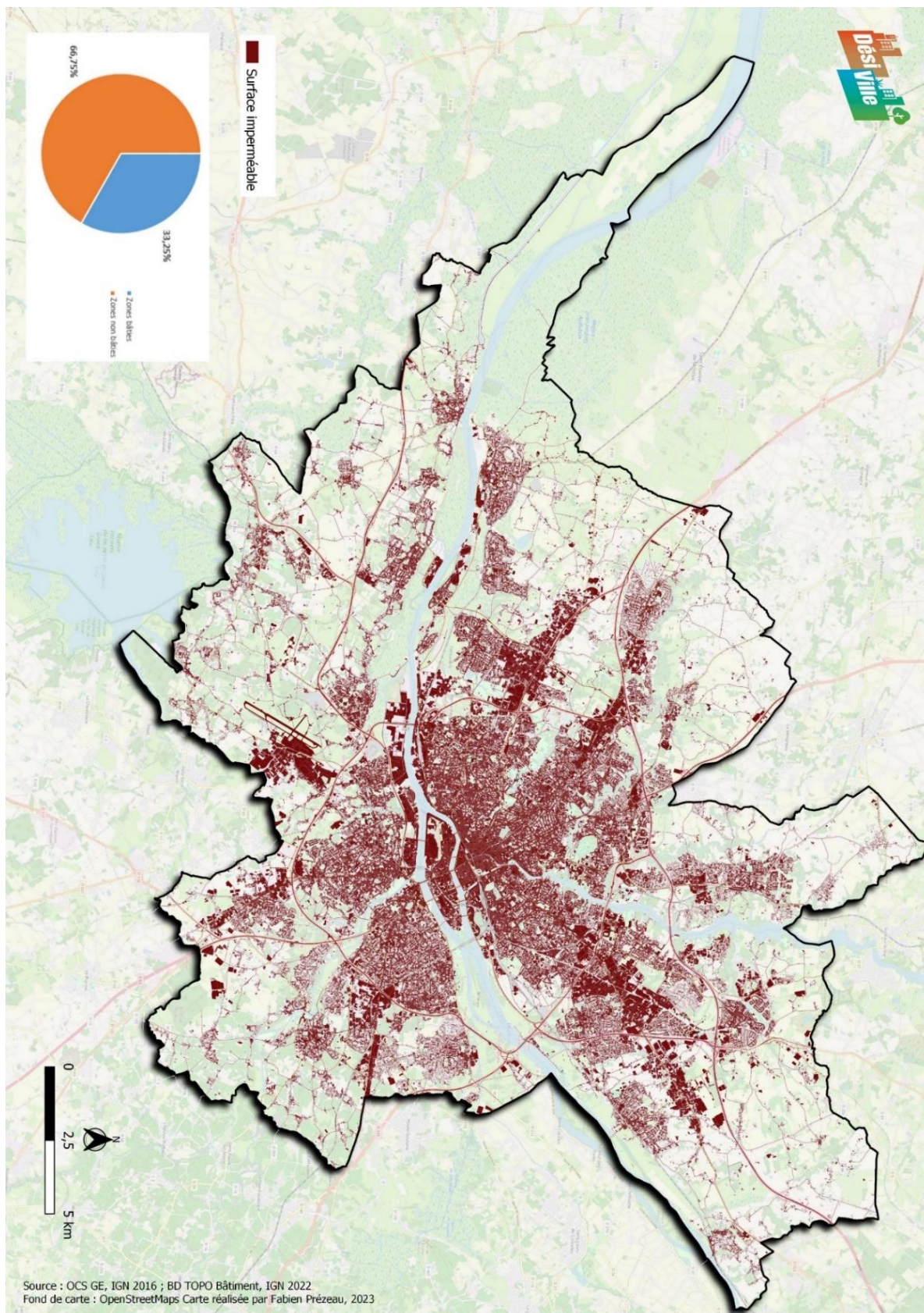


Figure 16 : Localisation des surfaces imperméables de Nantes Métropole



6.2. Résultats cartographiques sur Nantes Métropole

Les sections suivantes présentent le résultat du croisement des critères retenus par thématique. Les cartes associées à chaque critère sont présentées en Annexe.

6.2.1. Caractéristiques des surfaces imperméables

Les cartes par critère selon chaque système de notation associé sont disponibles en Annexe 9.12.

La Figure 17 présente le croisement des critères pour la méthode générique. Les surfaces imperméables de Nantes Métropole ressortent majoritairement classées en potentiel « Fort » (9,70%) et « moyennement fort » (42%). Ces surfaces sont réparties sur tout le territoire et aucun secteur/quartier ne ressort plus que d'autres. Le graphique de répartition montre qu'environ 28% des surfaces sont classé en potentiel « Moyennement faible ». Cette classe est principalement constituée de surfaces de bâti privées.

La Figure 18 présente le résultat du croisement des critères des surfaces imperméables avec des données locales (méthode spécifique). La différence par rapport à la méthode générique porte sur le critère occupation du sol et la taille de surface. La répartition des classes apparaît plus équilibrée. Les classes « moyennement fort » et « moyennement faible » diminuent respectivement de 42 % à 36 % et de 28 % à 14 %. La classe « faible » apparaît et représente 17% de surfaces imperméables.

Le critère occupation du sol explique ces différences. La version de l'OCS GE utilisée ne fait pas de distinction entre la production primaire, tertiaire et les zones d'habitation. Alors que l'OCS de Nantes Métropole fait cette distinction. Les zones résidentielles perdent donc un point sur la note globale. Les surfaces non bâties des zones résidentielles restent dans la même classe, tandis que les surfaces bâties se retrouvent dans la classe 'Faible'.



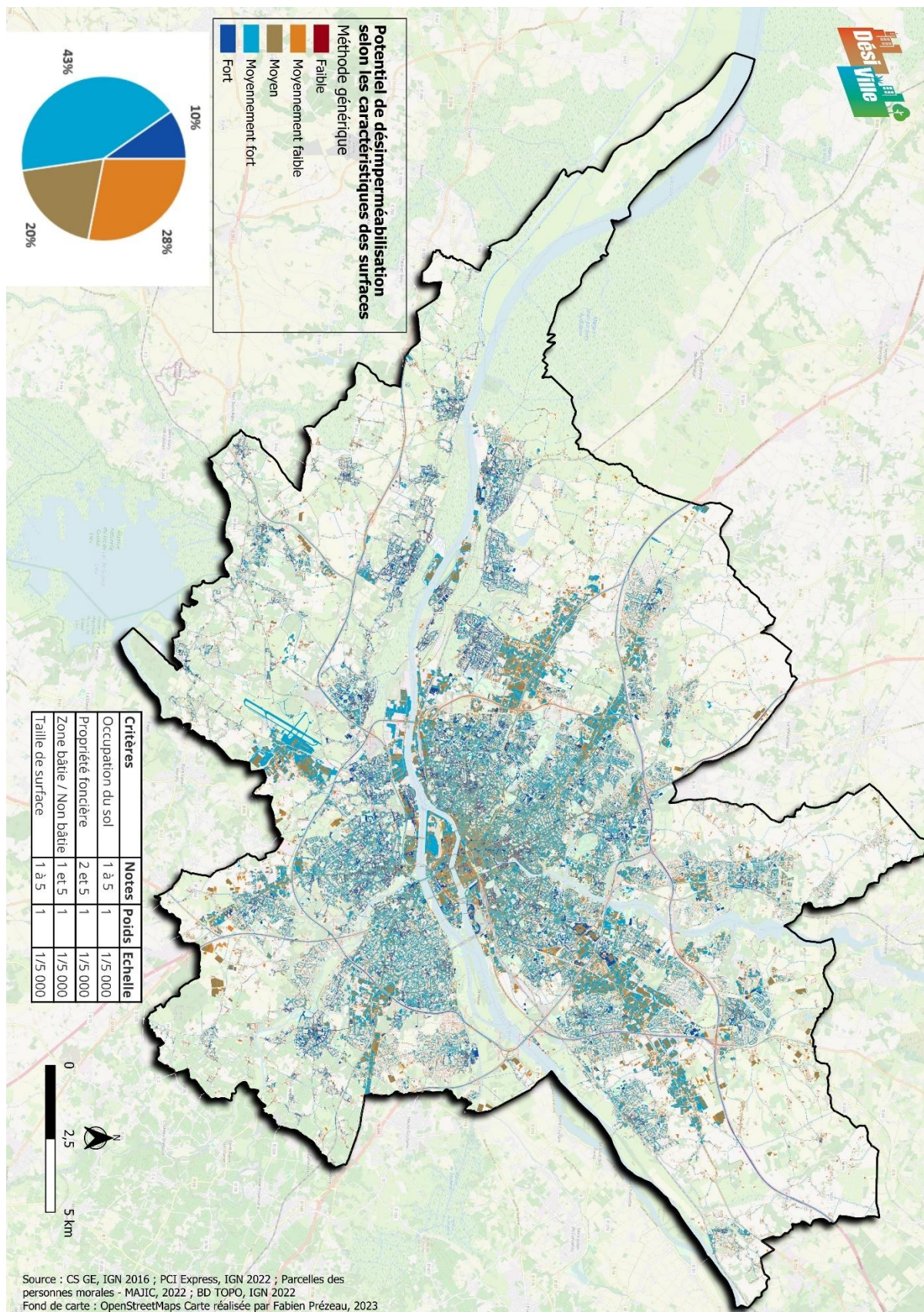


Figure 17 : Carte du potentiel de désimpermeabilisation des sols selon les caractéristiques des surfaces imperméables (méthode générique)



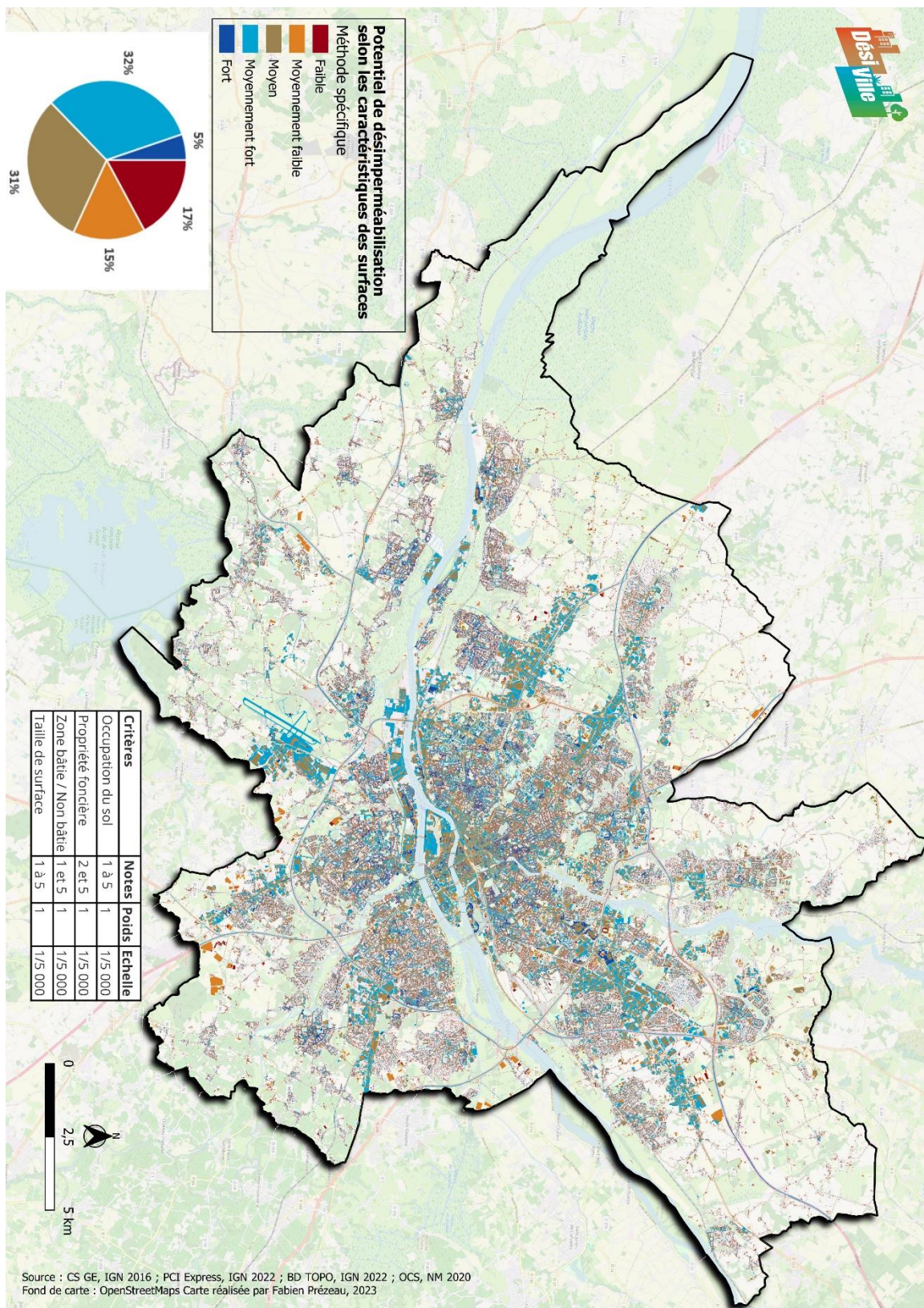


Figure 18 : Carte du potentiel de désimpermeabilisation des sols selon les caractéristiques des surfaces imperméables (méthode spécifique)



6.2.2. Infiltrabilité intrinsèque du sol

La Figure 19 présente le résultat du croisement des surfaces imperméables avec la donnée de l'infiltrabilité du sol. Les surfaces imperméables sont principalement classées en potentiel moyen (42 %), et environ la moitié des surfaces est classée avec un potentiel favorable à la désimperméabilisation.

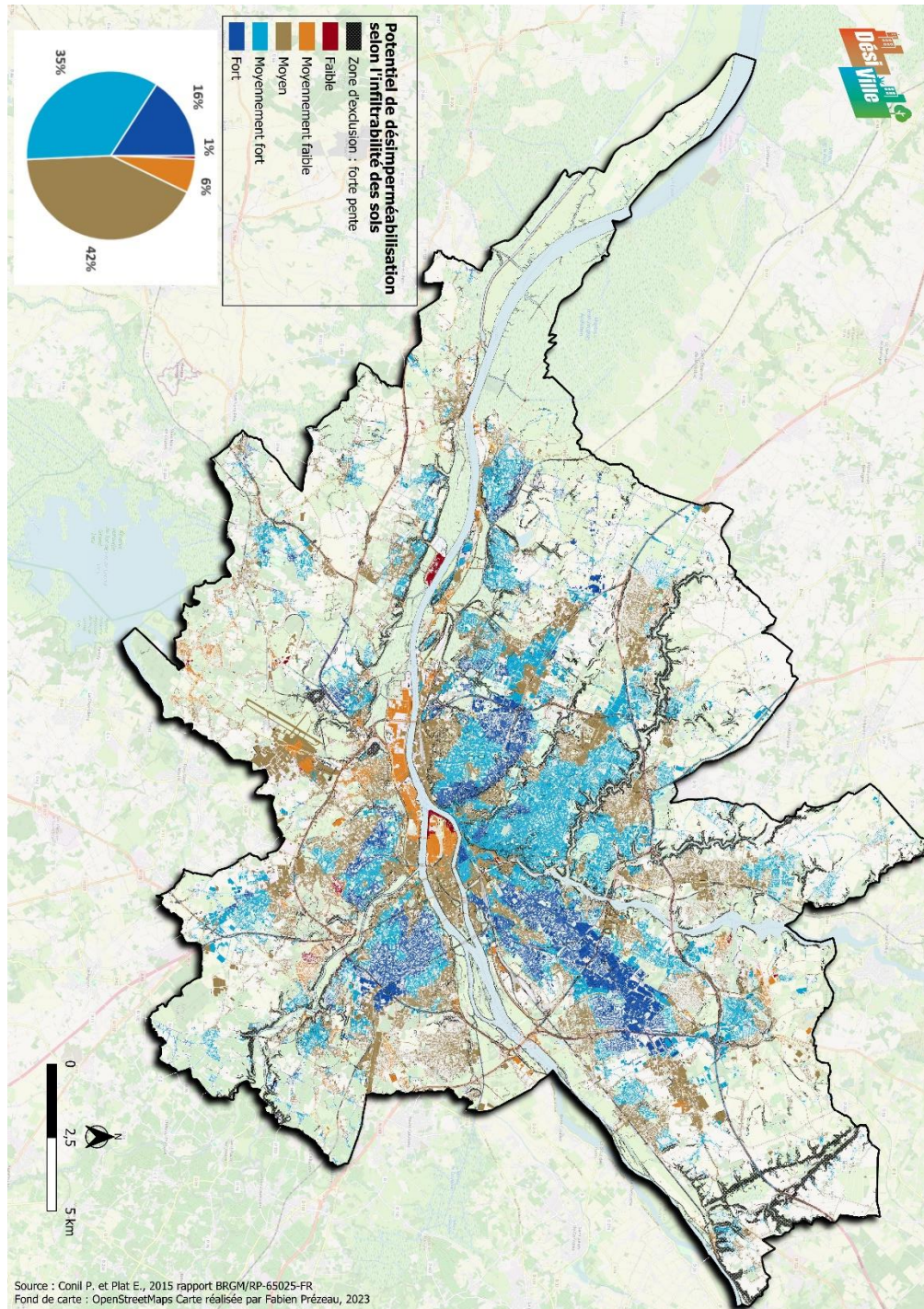


Figure 19 : Carte du potentiel de désimpermeabilisation selon l'infiltrabilité du sol

6.2.3. Contraintes environnementales

Les cartes par critère selon chaque système de notation associé sont disponibles en Annexe n°9.14.

La Figure 20 présente le résultat du croisement des critères des contraintes environnementales pour la méthode générique. Nantes Métropole est un territoire avec peu de contraintes vis-à-vis des critères pris en compte. Cela s'observe avec une majorité de surfaces imperméables classées en potentiel « Fort » (environ 63 %) et « moyennement fort » (environ 23 %). Les autres surfaces sont soit classées en potentiel « moyen » (8%) et en potentiel « moyennement faible » (4%). Ces dernières sont localisées autour de la Loire et sur l'île de Nantes. Ces zones sont sujettes à un aléa inondation par remontée de nappe et à un aléa pollution des sols lié aux anciennes zones industrialo-portuaires.

La Figure 21 présente le résultat des croisements avec les données spécifiques. Les faibles différences avec la figure précédente s'expliquent par les faibles différences entre les jeux de données utilisés. Les évolutions des critères aléa pollution des sols et aires d'alimentation de captages d'eau potable influencent peu le résultat global. Nantes Métropole présente peu de surfaces concernées par le critère alimentation de captages d'eau potables, et par conséquent par des aires d'alimentation de captage.

Par exemple, pour le critère aléa pollution des sols, la méthode générique utilise l'OCS GE pour évaluer la pression historique liée aux activités agricoles. Mais l'OCS GE n'est disponible que pour deux dates sur le territoire. Pour la méthode spécifique, la donnée d'occupation du sol de Nantes Métropole mobilisée fournit des informations depuis 1952. La pression polluante liée aux activités agricoles apparaît ainsi mieux renseignée. Toutefois, comme on s'intéresse aux surfaces imperméabilisées, la différence sur la carte finale de contrainte obtenue par les méthodes générique et spécifique ressort uniquement pour les anciens espaces agricoles imperméabilisés par l'artificialisation.

Les échelles de validité sont identiques entre les deux méthodes pour l'essentiel des données utilisées. Ceci n'influence pas les résultats par comparaison aux autres thématiques (caractéristiques des surfaces imperméables et atouts/bénéfices plus particulièrement).



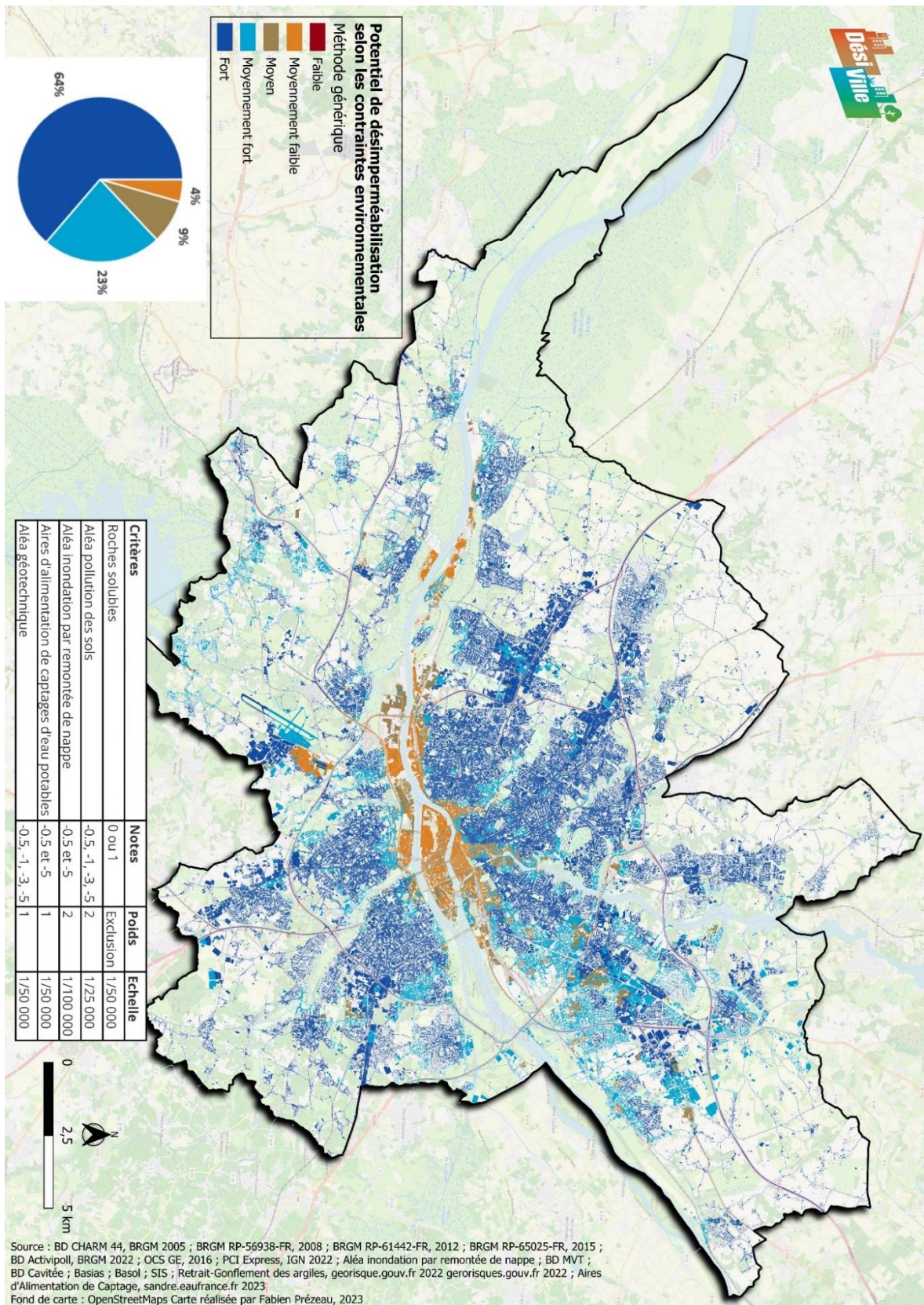


Figure 20 : Carte du potentiel de désimpermeabilisation des sols selon les critères des contraintes environnementales (méthode générique)

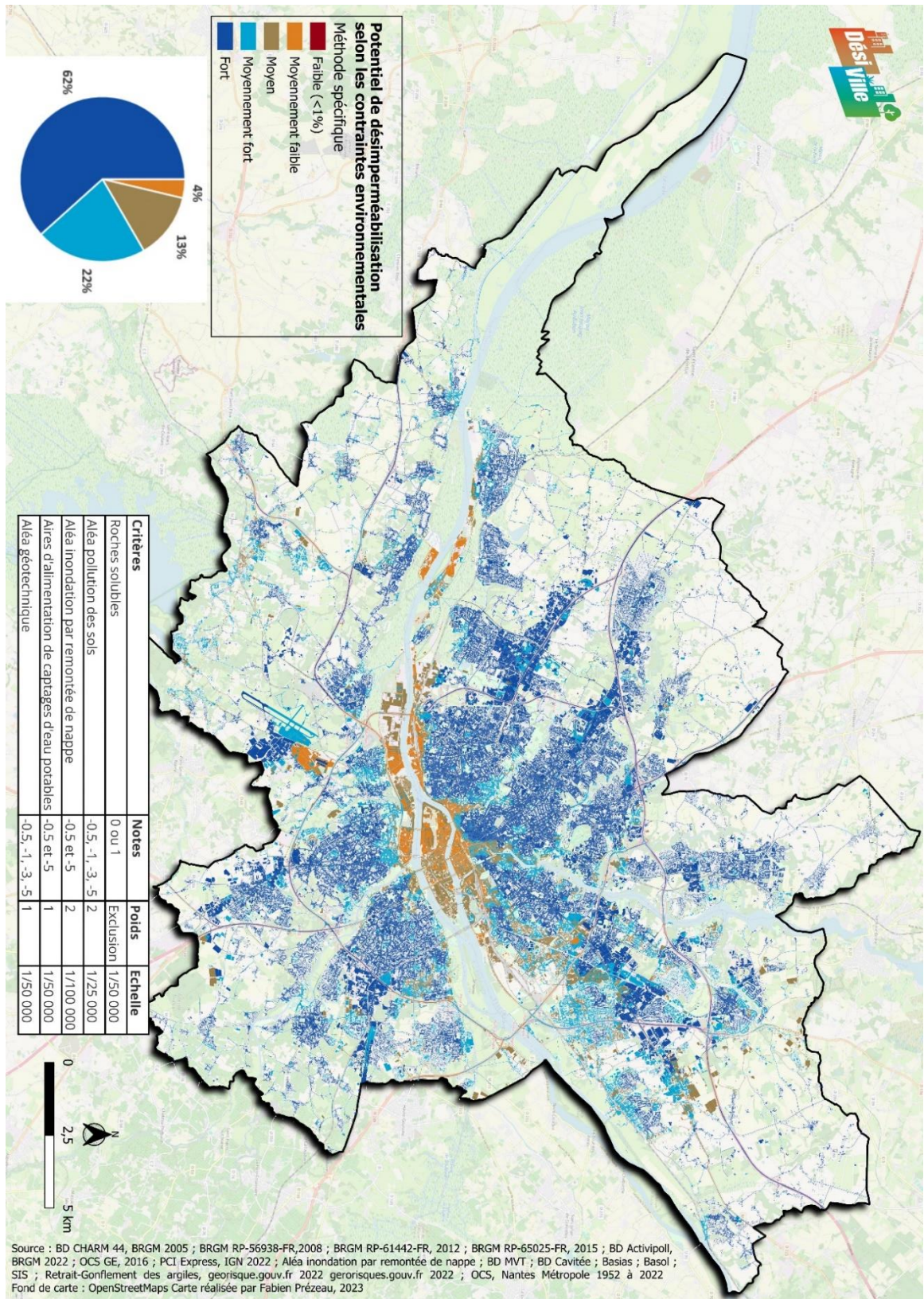


Figure 21 : Carte du potentiel de désimpermeabilisation des sols selon les critères des contraintes environnementales (méthode spécifique)

6.2.4. Atouts et bénéfices de la désimperméabilisation

Les cartes par critère selon chaque système de notation associé sont disponibles en annexe n°9.15.

La Figure 22 présente le résultat du croisement de l'ensemble des critères pris en compte dans la méthode générique. On constate que les résultats obtenus tendent vers un potentiel de désimperméabilisation « Moyennement faible » (environ 50%) et « Faible » (environ 36%) des surfaces imperméables. Ces surfaces sont principalement situées en périphérie de la ville de Nantes et dans les zones résidentielles. De plus, le centre-ville de Nantes ressort avec un potentiel « Moyen » (environ 12 %). La ville de Nantes présente peu de surfaces imperméables avec un potentiel « Moyennement fort » ou « Fort ».

La Figure 23 présente le résultat du croisement des critères atouts et bénéfiques pris en compte dans la méthode spécifique. Les potentiels « Faible » et « Moyennement faible » diminuent respectivement de 36% à 12% et de 50% à 32% par rapport à la méthode générique. Ces surfaces ne sont plus localisées à la périphérie de Nantes mais elles sont réparties sur l'ensemble du territoire. Le potentiel « Moyen » devient le plus représenté avec 46 % des surface. Le potentiel « Moyennement fort » passe de 1% dans la méthode générique à 8% des surfaces imperméables. Ces surfaces se situent dans des zones résidentielles.

Cette nette différence entre la méthode générique et spécifique s'explique par deux éléments :

- Le critère aléa inondation par ruissellement
- L'échelle de validité des jeux de données

L'aléa inondation par ruissellement joue un rôle important dans le résultat. Non pris en compte dans la méthode générique faute de jeu de données disponible, il l'est dans la méthode spécifique appliquée à Nantes métropole. Son poids plus important conduit à faire ressortir des zones plus intéressantes à désimperméabiliser. La méthode générique mobilise des jeux de données dont l'échelle de validité va du 1/10 000 au 1/250 000. Alors que pour la méthode spécifique les échelles vont du 1/500 au 1/100 000. Cette différence d'échelle joue énormément dans le résultat.

Ainsi il est important pour certains critères de mobiliser des jeux de données fins, par exemple :

- La **multifonctionnalité des sols** : la méthode MUSE pourrait être appliquée sur des données d'échelles plus fines que le référentiel régional pédologique (RRP au 1/250 000). Cela nécessite d'établir des cartes pédologiques de résolutions fines sur l'ensemble du territoire
- La **biodiversité** : La donnée de la Trame verte et bleue de Nantes Métropole présente une échelle de résolution plus fine (1/25 000) que la donnée du SRCE (1/100 000).



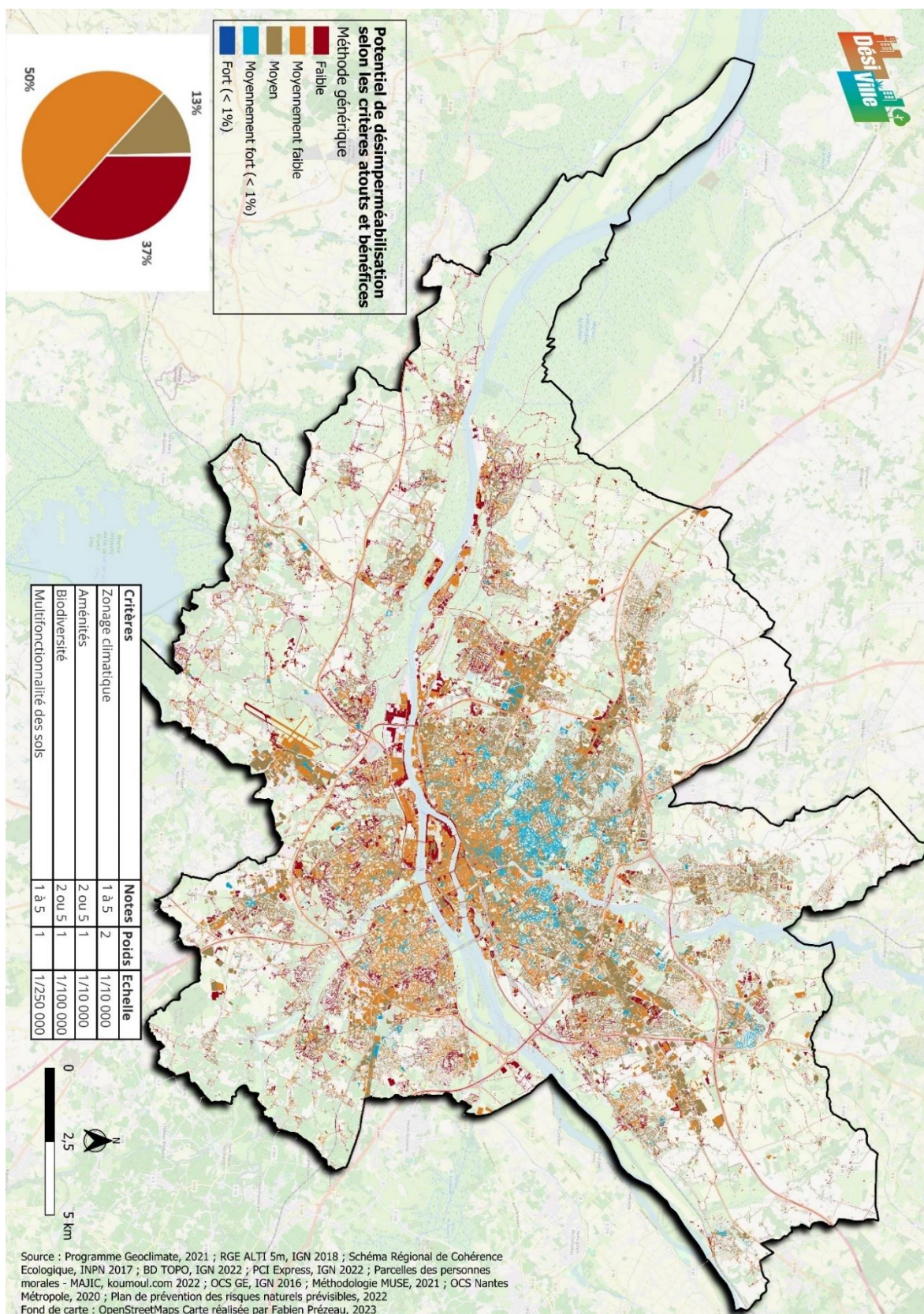


Figure 22 : Potentiel de désimpermeabilisation selon les critères atouts et bénéfiques (méthode générique)



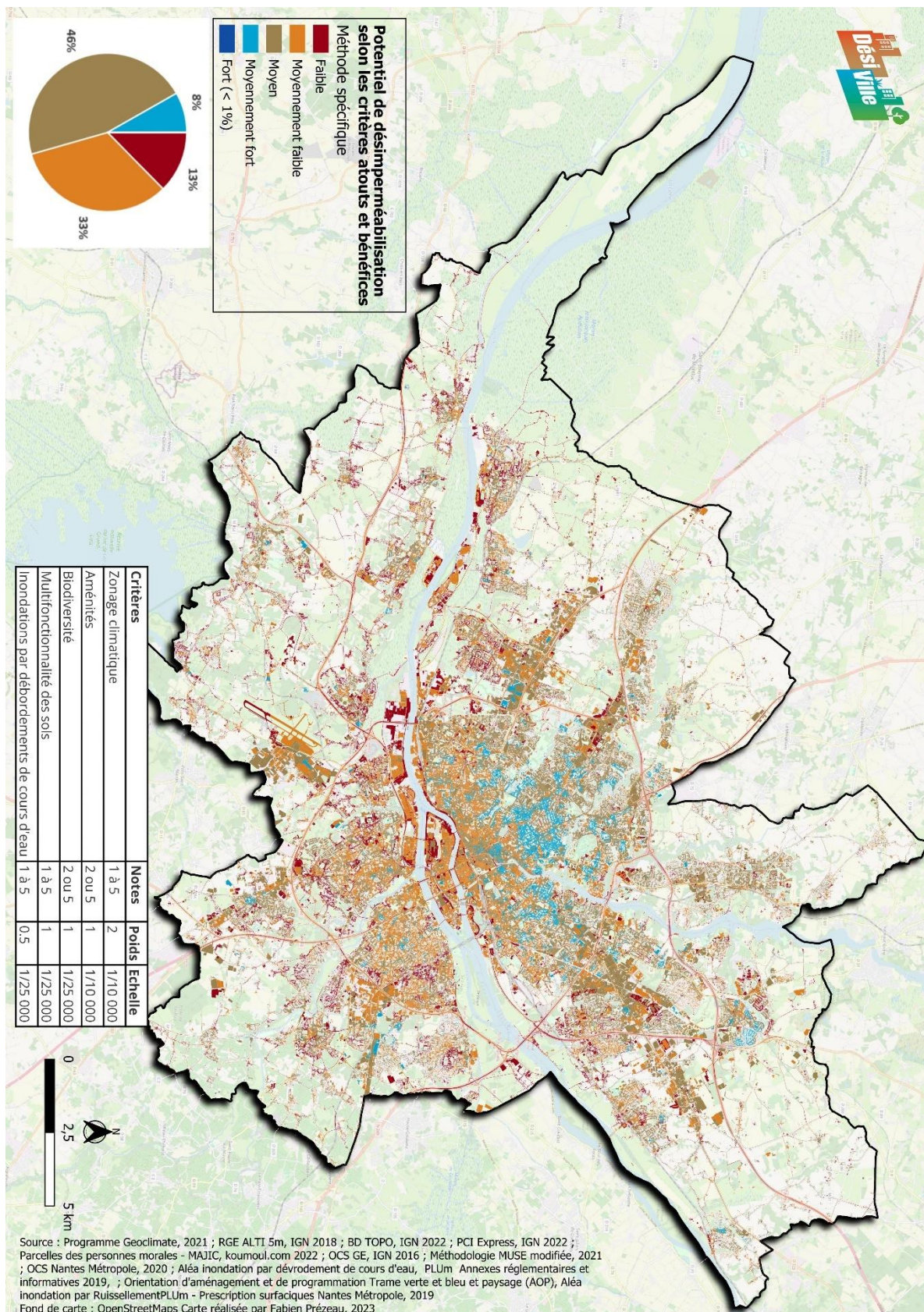


Figure 23 : Potentiel de désimpermeabilisation selon les critères atouts et bénéfices (méthode spécifique)

6.2.5. Faisabilité de la désimperméabilisation

Pour rappel la faisabilité de la désimperméabilisation des sols se base sur l'addition de trois thématiques : les caractéristiques des surfaces imperméables, l'infiltrabilité du sol et les contraintes environnementales. Les notes de chaque thématique sont additionnées avec un poids individuel de 1. Les Figure 24 à Figure 27 présentent les cartes de faisabilité obtenues avec des données génériques et spécifiques, dont les échelles de résolutions restent similaires par critère.

Avec la méthode générique (Figure 24), les surfaces imperméables du territoire de Nantes Métropole ressortent avec une faisabilité de désimperméabilisation importante, 23 % des surfaces étant classées en 'Fort' et 39 % en 'Moyennement fort'. Elles sont situées dans des zones résidentielles, éloignées des cours d'eau et du fleuve mais aussi en hauteur topographique. Le reste des surfaces imperméables est classé, 31 %, sont classées en 'Moyen'. Peu de surfaces sont classées en 'faible' et 'moyennement faible' (0.58 % et 4.60 %). Elles sont localisées en bordure de la Loire et dans les anciennes zones industrielles de Nantes (île de Nantes et quartier Bas-Chantenay).

La faisabilité obtenue avec la méthode spécifique (Figure 27) apparaît assez proche de celle obtenue avec la méthode générique, malgré l'évolution constatée sur les surfaces imperméables. Les changements de note pour une thématique n'engendrent pas forcément un changement de classe de faisabilité.



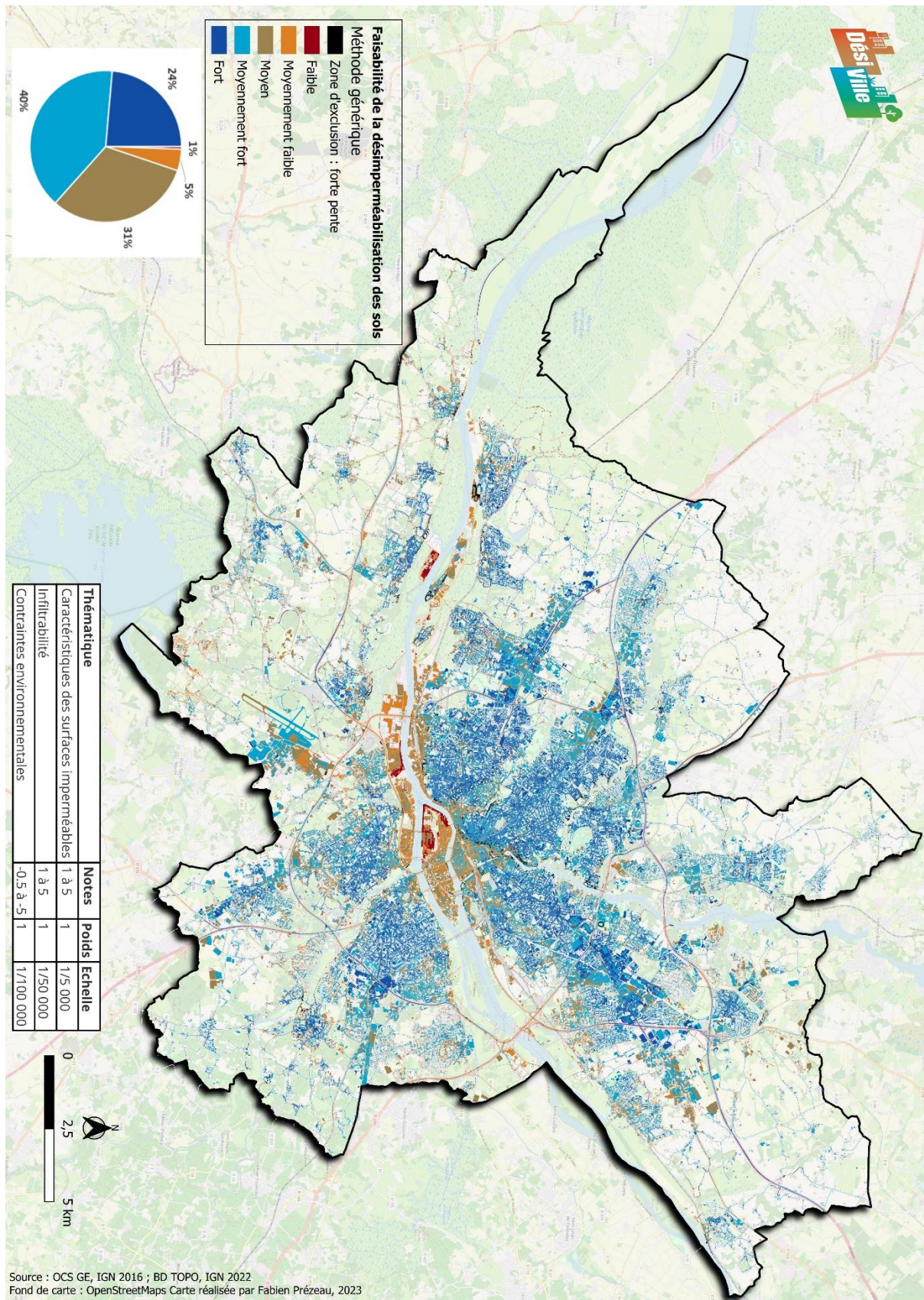


Figure 24 : Faisabilité de la désimpermeabilisation des sols (méthode générique)



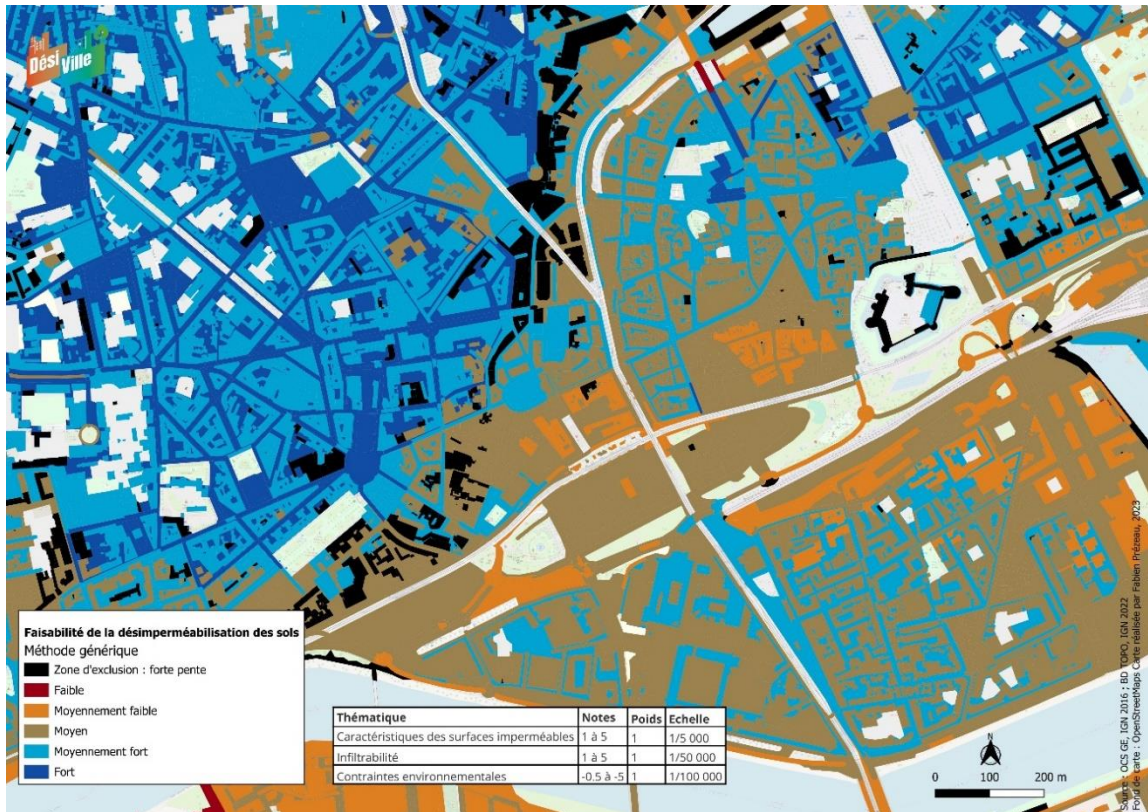


Figure 25 : Zoom sur la faisabilité de la désimpermeabilisation des sols (méthode générique)

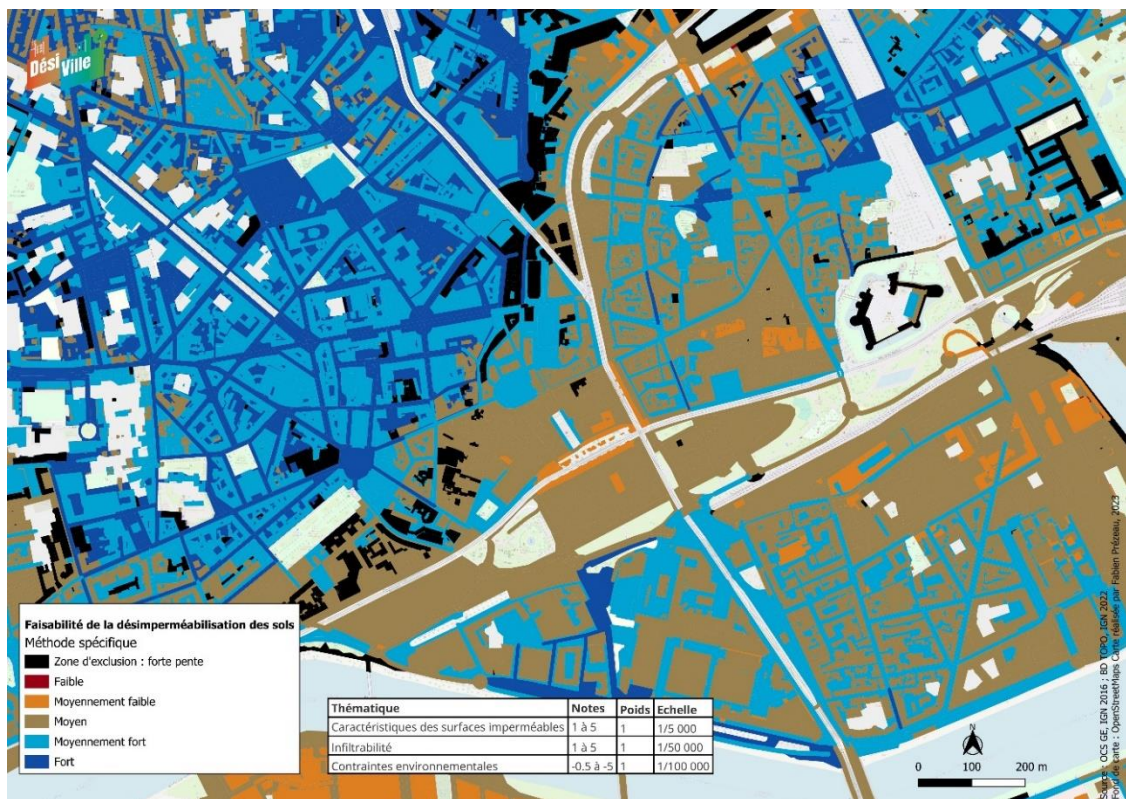


Figure 26 : Zoom sur la faisabilité de la désimpermeabilisation des sols (méthode spécifique)

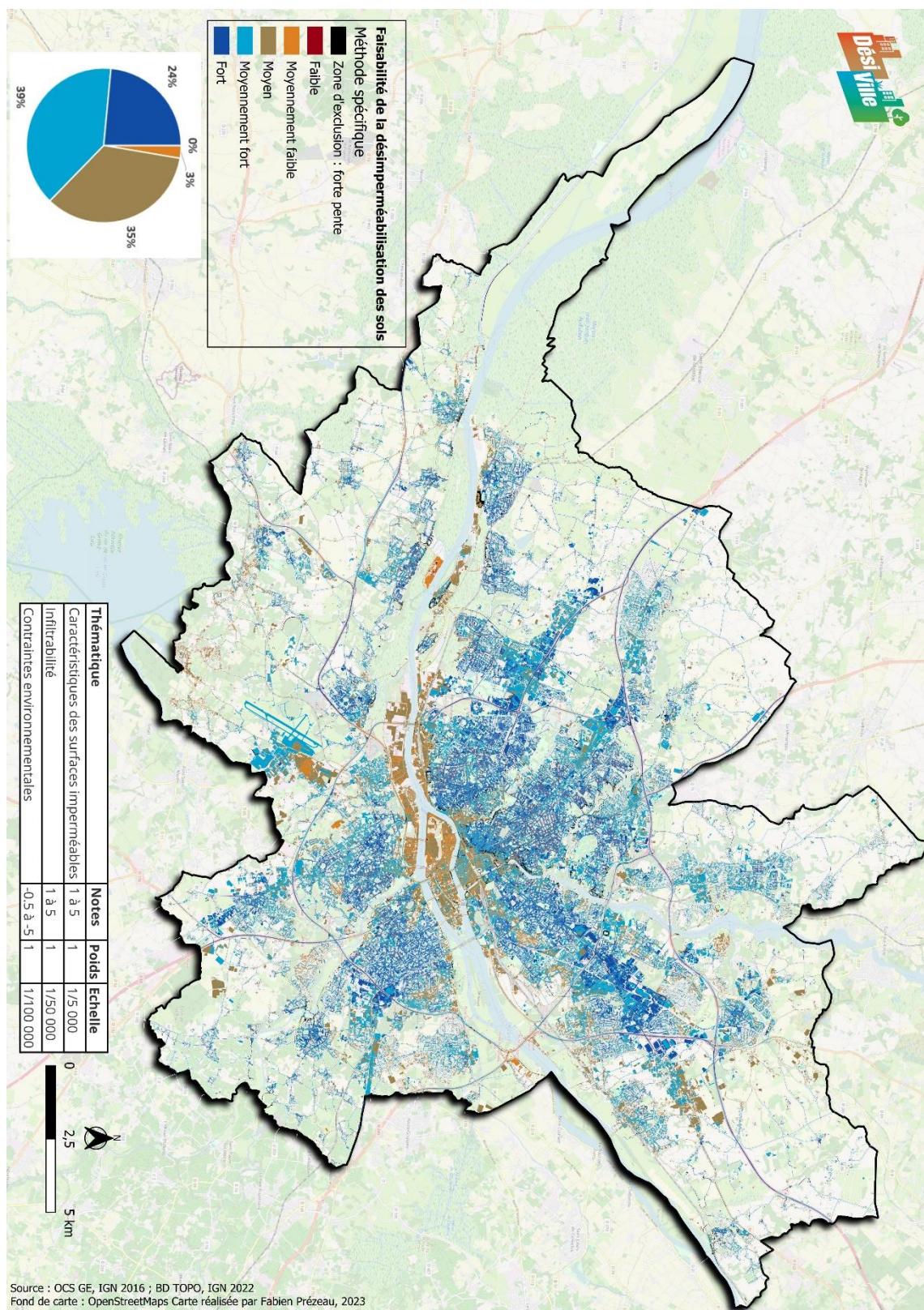


Figure 27 : Faisabilité de la désimpermeabilisation des sols (méthode spécifique)

6.2.6. Potentiel de désimperméabilisation

Le potentiel de désimperméabilisation intègre la thématique atouts et bénéfiques en plus des 3 thématiques prises en compte pour la faisabilité (caractéristiques des surfaces imperméables, infiltrabilité du sol, et contraintes environnementales). Les Figure 28 à Figure 31 présentent le potentiel de désimperméabilisation obtenu avec les méthodes génériques et spécifiques.

Avec la méthode générique (Figure 29), les surfaces imperméables apparaissent principalement réparties entre les classes 'moyennement fort' (37 %) et 'moyen' (45 %). Les premières sont réparties principalement dans des zones résidentielles et les secondes sur l'ensemble du territoire de Nantes Métropole. Peu de surface présentent un potentiel de désimperméabilisation 'fort' (1,84 %) ou 'faible' (1,39 %). Les surfaces de la classe 'fort' sont dispersées sur le territoire, alors que les surfaces classées en 'faible' sont localisées sur le bord de la Loire. Ces dernières ressortaient déjà dans les cartes de faisabilité.

Avec la méthode spécifique (Figure 30), la part de surfaces imperméables classées en 'fort' augmente par rapport à la méthode générique (5 % contre 1 %). Elles ressortent dans des secteurs résidentiels. A l'inverse, la part des classes 'moyennement faible' et 'faible' baisse (8 % contre 13 % et 0,14 % contre 1,39 % respectivement).

Cette forte différence s'explique par la forte évolution de la carte thématique des atouts et bénéfiques entre les méthodes générique et spécifique (cf. 6.2.4). D'une part, le critère aléa inondation par ruissellement n'est pas pris en compte dans la méthode générique faute de données disponibles, alors que la couche SIG locale prise en compte dans la méthode spécifique apparait très précise. D'autre part, l'échelle de validité de la couche thématique atouts et bénéfique évolue de manière importante entre les 2 méthodes (1/250 000 pour la méthode générique contre 1/25 000 pour la méthode spécifique).

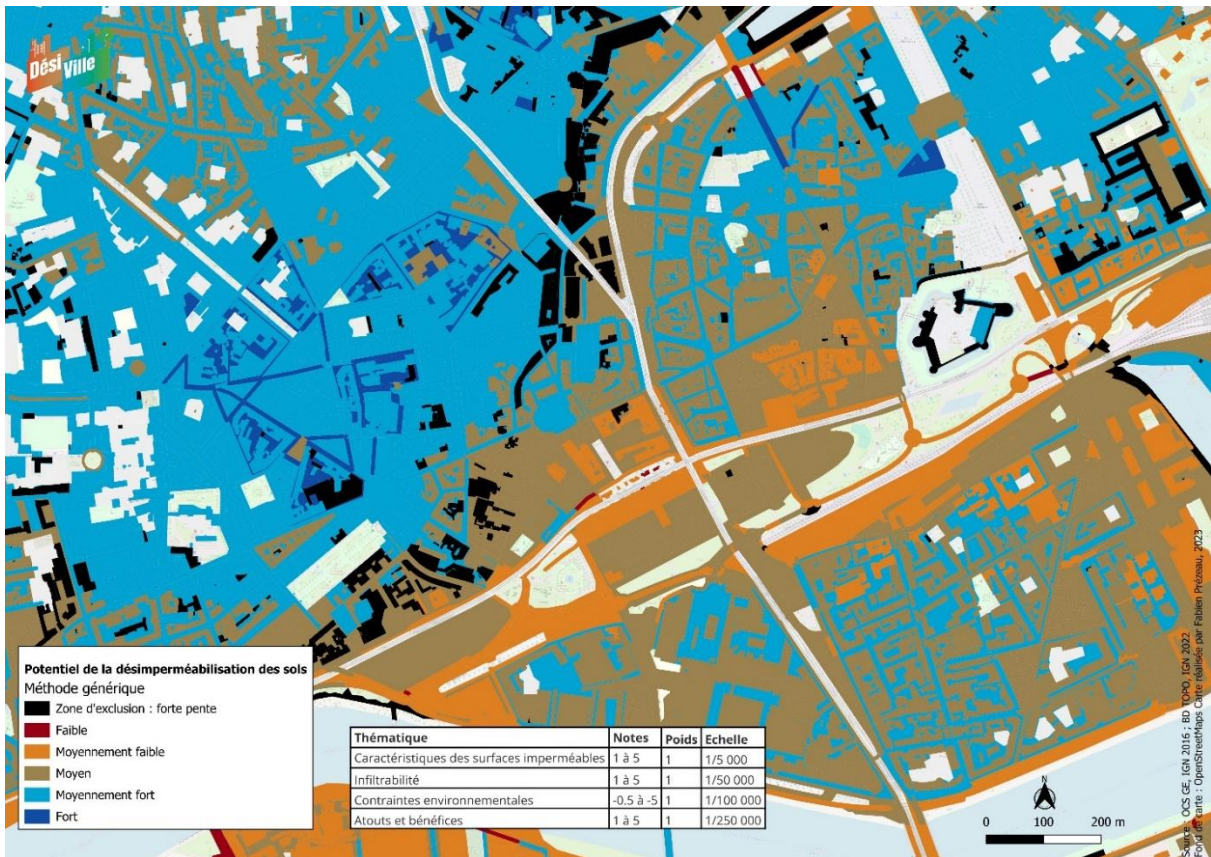


Figure 28 : Zoom sur le potentiel de désimperméabilisation (méthode générique)



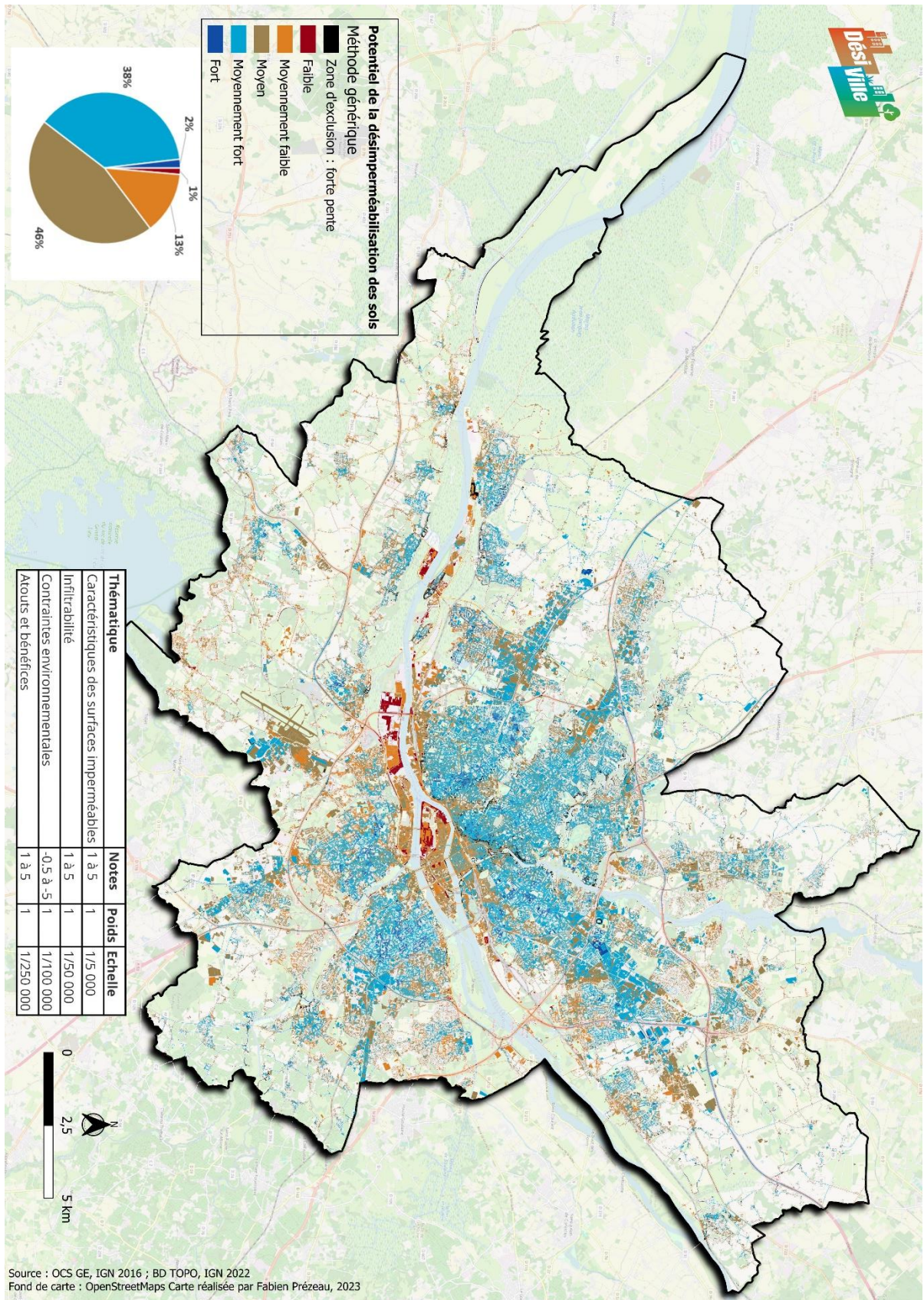


Figure 29 : Potentiel de désimpermeabilisation (méthode générique)



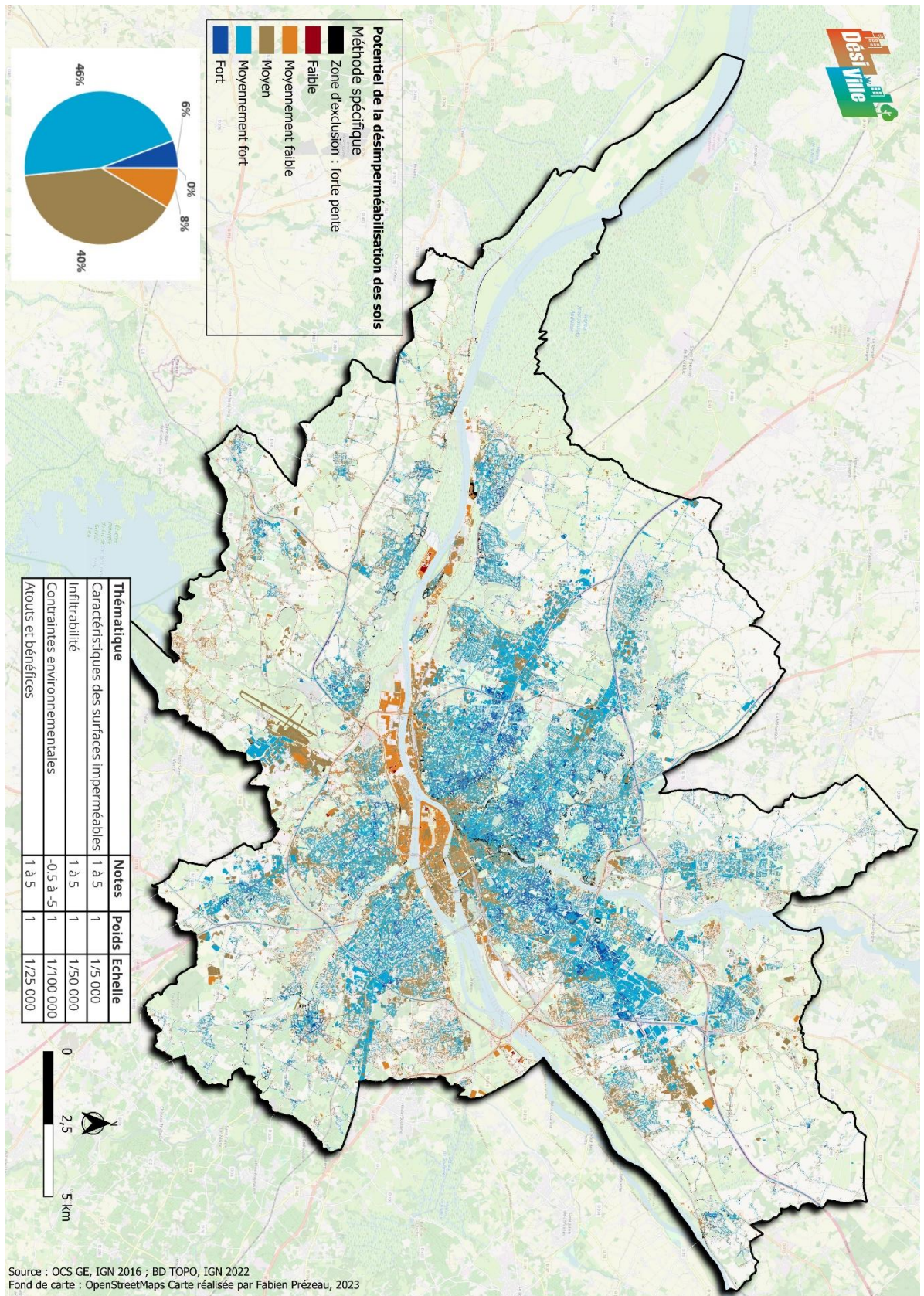


Figure 30 : Potentiel de désimpermeabilisation (méthode spécifique)



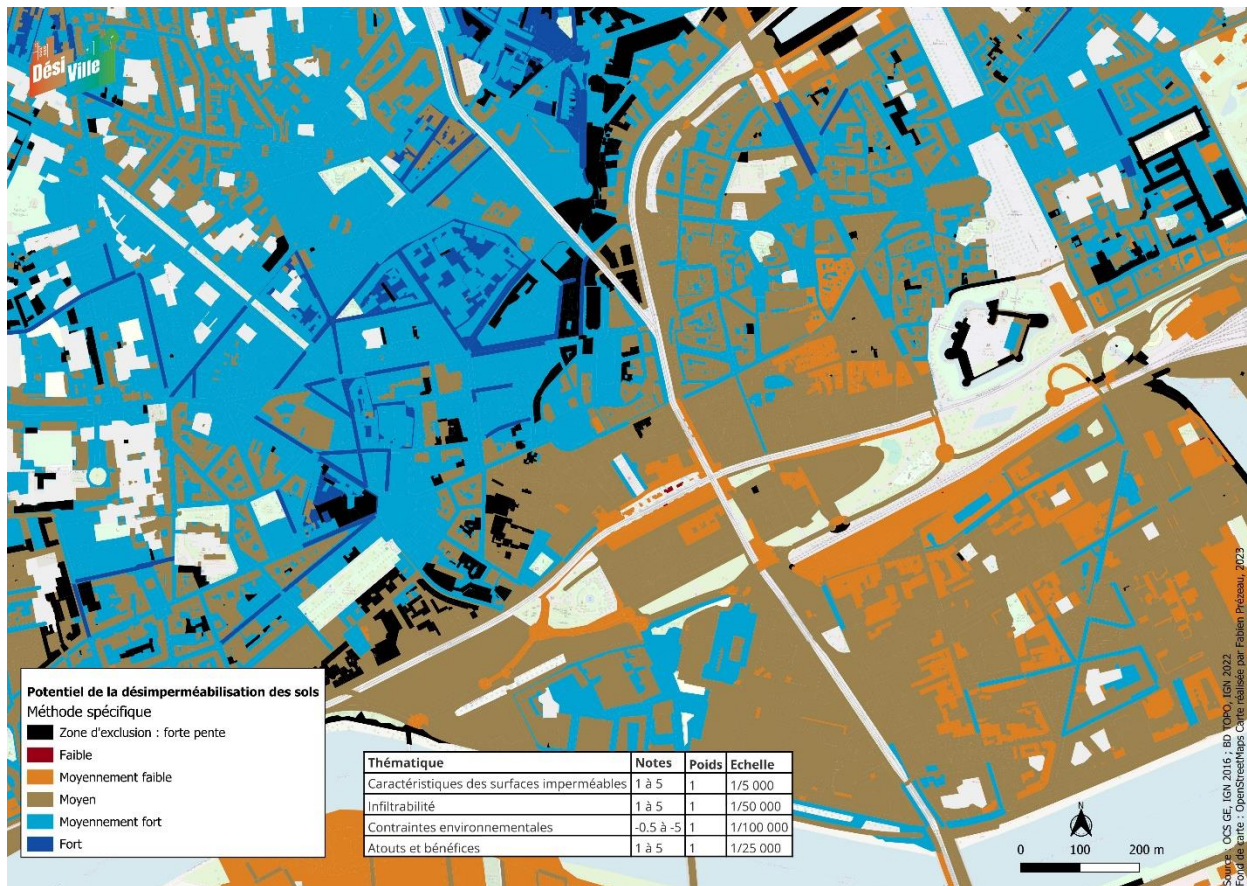


Figure 31 : Zoom sur le potentiel de désimpermeabilisation (méthode spécifique)



7. A l'échelle du quartier

La cartographie à l'échelle du quartier a pour objectif d'affiner l'analyse locale du potentiel de désimperméabilisation, en mobilisant des données plus précises relatives aux critères pris en compte à l'échelle territoriale et en intégrant des critères complémentaires. Une telle carte doit faciliter la prise de décision des maîtres d'ouvrage. Selon les contextes et les informations disponibles, des études de terrain (géotechnique, perméabilité ou pollution du sol) pourront être nécessaires en complément.

7.1. Critères complémentaires et/ou à affiner

L'identification des critères nouveaux ou à affiner s'est appuyée sur le retour d'expérience des partenaires opérationnels du projet (Oteis, Nantes Métropole) ainsi que sur des échanges avec d'autres acteurs de la désimperméabilisation lors d'un atelier en ligne.

Les critères suivants ont été jugés particulièrement utiles à mobiliser :

- Les trottoirs : ils présentent un potentiel de désimperméabilisation très intéressant. Le renouvellement du mobilier urbain est l'occasion d'implanter des solutions de désimperméabilisation et de renforcer la marchabilité et l'accessibilité des trottoirs pour les usagers ;
- Les parkings : comme les trottoirs, ces surfaces sont très souvent mobilisées pour des projets de désimperméabilisation. Elles sont en effet gourmandes en place. Les parkings sont souvent des zones de passage pour les véhicules et il est tout à fait possible de mettre en place des solutions de désimperméabilisation tout en gardant leur fonction première.
- L'encombrement du sol par des réseaux enterrés : le réseau souterrain est souvent une contrainte lors de la mise en œuvre de solutions de désimperméabilisation. Lors du retrait de la couche imperméable et du décompactage des sols, des dégâts sur les réseaux enterrés peuvent se produire et engendrer des coupures d'eau ou d'électricité. Une bonne connaissance de l'encombrement du sol par des réseaux enterrés permet de guider le choix des zones à désimperméabiliser ou de mieux anticiper les contraintes. Dans tous les cas, une DT-DICT est nécessaire avant d'engager les travaux.

La localisation des places de parking et des trottoirs vient enrichir les caractéristiques des surfaces imperméabilisées. L'encombrement par les réseaux enterrés vient compléter la connaissance des contraintes.

L'indice d'encombrement du sol par les réseaux enterrés est un concept nouveau, qui nécessite des développements méthodologiques complémentaires. La donnée sur les réseaux enterrés n'étant pas disponible nationalement, il est nécessaire de se rapprocher de la collectivité pour leur mise à disposition. S'agissant de données sensibles, l'indice serait ainsi plutôt à créer par la collectivité. Une première approche est proposée dans l'exemple d'application, à partir du réseau d'assainissement (cf. §7.2), qui est moins sensible et correspond au réseau le plus profondément enterré.

Pour les parkings et les trottoirs, il n'existe pas d'informations précises disponibles nationalement. Il faut donc les créer si elles n'existent pas localement, par exemple au sein des collectivités.



Pour les trottoirs, la méthode développée par l'Institut de Paris Région (IPR, 2021) semble prometteuse. La détermination de leur emprise se fait à partir de la BD TOPO et du PCI de l'IGN. Elle nécessite un travail de modification de ces bases de données et un complément avec des données locales. La méthodologie permet plus largement de cartographier les espaces publics suivants (IPR, 2021) :

- Les réseaux routiers
 - Chaussées
 - Trottoirs
 - Délaissées routiers
 - Aménagements cyclables
 - Places et esplanades
- Les autres espaces publics
 - Cimetières
 - Grands parcs

Pour les parkings, il est intéressant de disposer des surfaces de parkings publics et privés. L'idéal est que la collectivité dispose d'une couche dédiée, mais il est probable qu'elle ne dispose que des parkings publics. Pour construire cette couche d'information à partir des données disponibles nationalement, la difficulté réside dans l'absence de couche surfacique pour les chaussées. La différence entre le réseau routier de l'OCS GE (code d'usage US4.1.1 : réseau de transport routier) et la largeur des routes (établie à l'aide d'une zone tampon utilisant les valeurs du champ 'Largeur de chaussée' renseigné dans la table attributaire de la couche 'Tronçon de route' de la BD TOPO de l'IGN) ne donne pas entière satisfaction. D'autres surfaces sont incluses comme certains terre-pleins centraux de ronds-points ou des bordures de routes, nécessitant un important travail manuel de correction pour isoler les parkings. En outre, cette méthode ne permet pas de localiser les grands parkings privés des zones commerciales et d'activité par exemple, que l'on devrait néanmoins pouvoir obtenir en soustrayant les zones bâties des zones non bâties de l'OCS GE dans les zones d'activité secondaire et tertiaire lorsqu'elles seront distinctes des zones résidentielles.

Pour la plupart des autres critères (infiltrabilité, contraintes, atouts), des études locales ressortent comme nécessaires sur les zones d'intérêt pour la désimperméabilisation. Une échelle de résolution plus fine pour ces critères, à l'échelle des zones à enjeu voire du territoire entier, serait néanmoins bienvenue pour affiner l'analyse spatiale du potentiel de désimperméabilisation, en permettant de cibler plus précisément les zones à investiguer pour préciser le choix et/ou préparer les aspects opérationnels.

On peut citer par exemple le projet de recherche et développement sur Bordeaux Métropole (Barrière et al, 2023) pour préciser l'infiltrabilité des sols en s'appuyant sur une reprise de la carte géologique (passage du 1/50 000 au 1/10 000), la valorisation de données d'investigation existantes et l'acquisition de données complémentaires dans les zones insuffisamment renseignées. Dans les secteurs concernés par la présence de roches solubles, des informations géologiques plus précises seraient nécessaires, telles une carte géologique au 1/10 000 ou encore mieux des modèles géologiques en 3D au 1/10 000. Il existe une méthodologie pour préciser la cartographie des zones sujettes aux remontées de nappe (Bessière et al., 2021). Les inventaires historiques urbains, cartographiant les emprises des anciens sites industriels et activités de services, permettent de préciser la pression polluante associée. Ils offrent une bien meilleure précision que la méthode de cartographie de l'emprise probable des sites Basias développée pour la cartographie de l'aléa pollution des sols à l'échelle territoriale (cf. §5.4.4.2).

Les travaux de recherche menés par le laboratoire AAU et le Cerema sur la modélisation spatiale du confort thermique ressenti par les piétons de l'échelle de l'ilot à l'échelle du territoire apparaissent également prometteurs



(cf. rapport DésiVille, Prézeau et al., 2024). Pour la multifonctionnalité des sols, des méthodes de cartographie des sols en milieu urbain se développent, de même que des modèles d'évaluation à partir de données de terrain (Schwartz et al, 2022).

7.2. Exemple d'application

Le quartier de Pirmil-les-Isles fait l'objet d'une concession d'aménagement au sein de laquelle deux zones d'aménagement concerté (ZAC) ont été créées. La concession d'aménagement Pirmil les Isles est située sur la rive gauche de la Loire. Elle est à cheval sur trois communes : Nantes, Rezé et Bouguenais. Initialement marécageuse, la zone a été rehaussée par des remblais et est devenue un secteur d'activité commerciale et industrielle.

7.2.1. Exemple de couche d'information créée

Parmi les couches d'information créées sur le secteur test de Pirmil-les-Isles (trottoirs, parkings, encombrement par les réseaux enterrés), celle relative à l'encombrement du sol par les réseaux enterrés est la plus aboutie, même si des développements supplémentaires seraient nécessaires pour intégrer l'ensemble des réseaux enterrés. La Figure 32 montre le résultat cartographique obtenu à partir du réseau d'assainissement, en mobilisant la profondeur et la largeur du réseau. Cet indice semble prometteur.

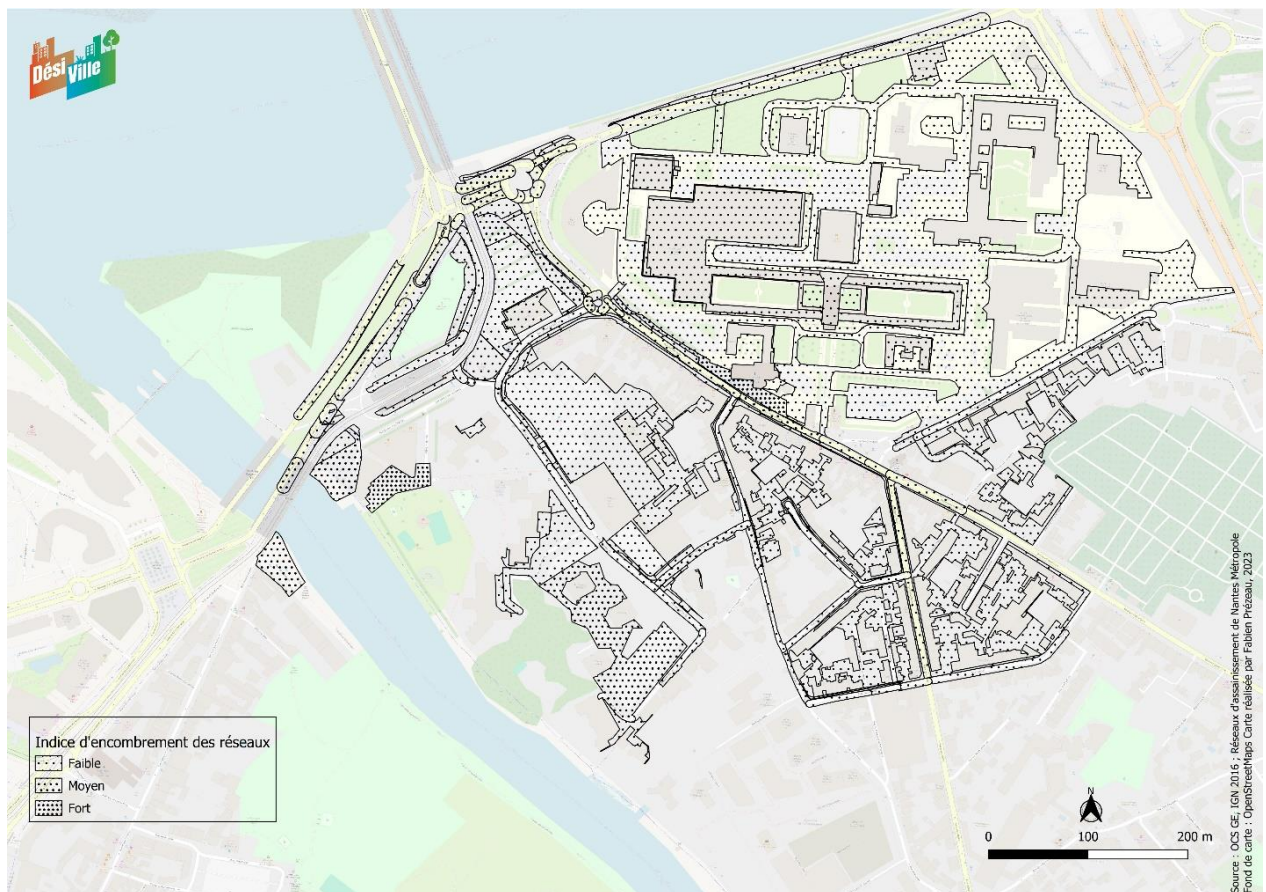


Figure 32 : Exemple d'indice d'encombrement du sol par des réseaux enterrés sur Pirmil – test à partir des réseaux d'assainissement



7.2.2. Exemple de couche d'information affinée

L'exemple de l'aléa pollution des sols, critère de la thématique relative aux contraintes environnementales, est présenté ci-après pour illustrer l'apport de couches d'informations affinées dans l'analyse spatiale.

Deux jeux de données complémentaires ont été mobilisés :

- L'Inventaire historique urbains (IHU) ;
- La carte des remblais.

L'inventaire historique urbain (IHU) sur ce secteur (décrit dans Le Guern et al., 2017) évalue la pression polluante sur les emprises des anciens sites industriels et activités de service (Figure 33) à l'échelle des parcelles cadastrales.

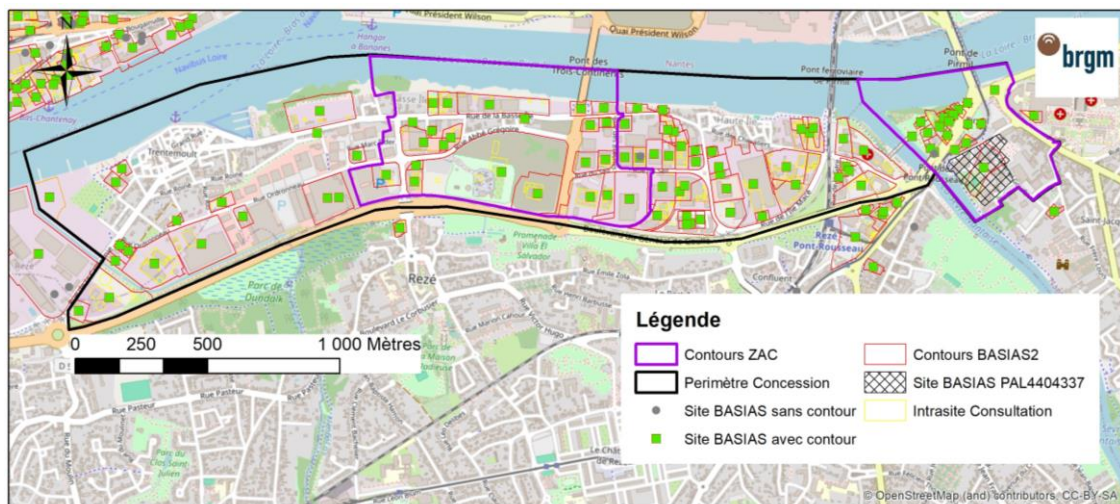


Figure 33 : Cartographie des emprises des anciens sites industriels et activités de service et des activités potentiellement polluantes au sein de la concession d'aménagement Pirmil-les-Isles (Le Guern et al., 2023)

La cartographie des remblais selon leur potentiel polluant intrinsèque (décrit dans Le Guern et al. 2017 et 2023) s'appuie principalement sur l'interprétation des logs de sondages issus de la banque de données du sous-sol (BSS) et d'études géotechniques et diagnostics de pollution collectés en complément. Elle mobilise également des cartes anciennes permettant de voir le comblement progressif des étiers et des cartes topographiques récentes et anciennes permettant d'apprécier les zones concernées par l'apport de remblais de rehaussement.

Une nette différence ressort entre les données mobilisées pour la méthode quartier (Figure 34) et celles de la méthode territoriale (Figure 35). L'aléa 'fort' ressort plus avec la méthode quartier. Cette différence est due aux données locales bien plus précises disponibles grâce à la cartographie des remblais selon leur potentiel polluant intrinsèque et à l'inventaire historique urbain (IHU) réalisés sur le quartier (Le Guern et al, 2017, 2023).

La Figure 36 présente la résultante de l'intégration des données d'aléa pollution des sols plus précises sur le potentiel de désimpermeabilisation sur le quartier Pirmil-les-Isles selon les contraintes environnementales. Les autres critères pris en compte (cf §5.4.4) restent inchangés. Le potentiel de désimpermeabilisation est réduit par rapport à la méthode territoriale, la classe 'Moyennement faible' devenant plus importante (Figure 37). Le faible potentiel de désimpermeabilisation est dû à une pression polluante liée à la présence historique d'activités industrielles et de service potentiellement polluantes, mais aussi à la présence de remblais. Il est dû également à l'aléa inondations par remontée de nappe.



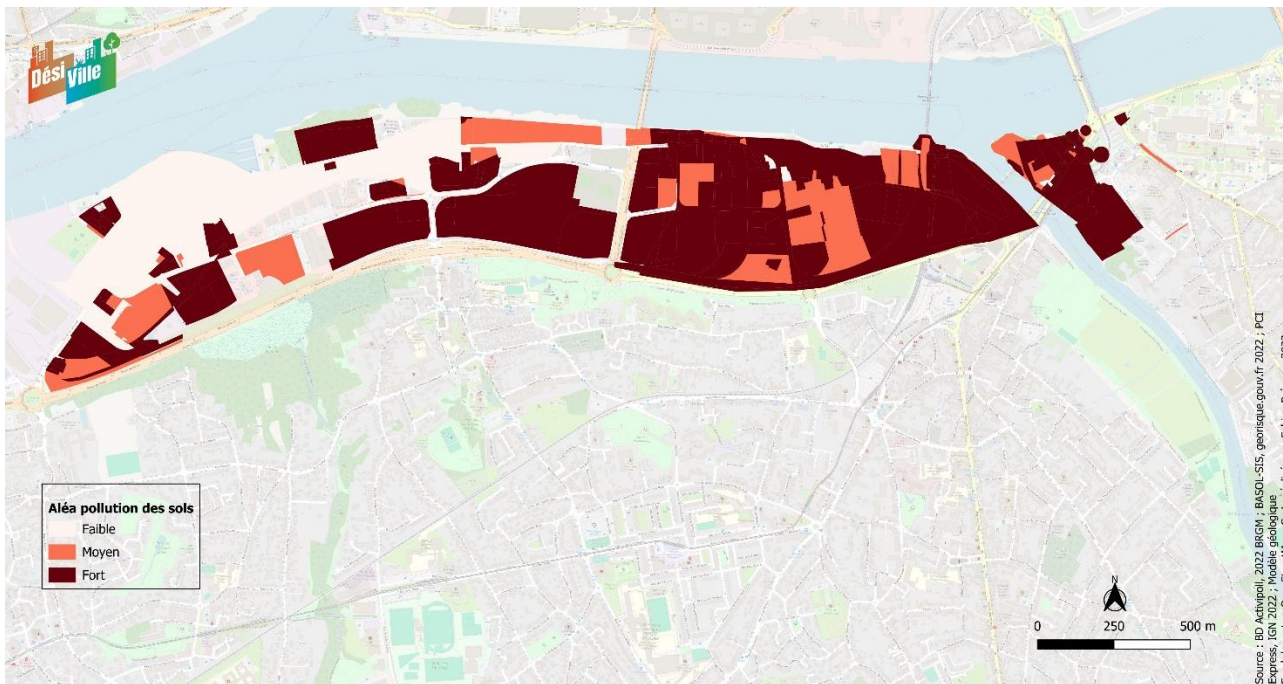


Figure 34 : Aléa pollution des sols actualisé avec des données locales (issues de l'IHU décrit dans Le Guern et al, 2017 et de la cartographie des remblais de Le Guern et al, 2023)

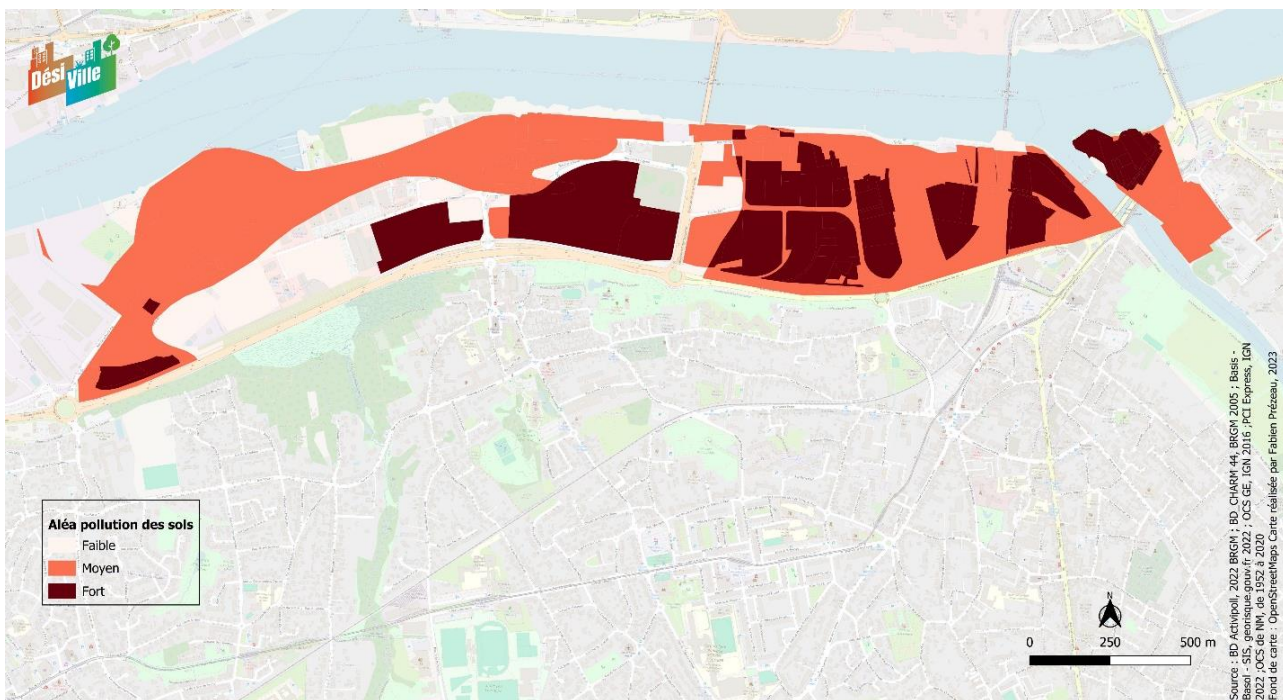


Figure 35 : Aléa pollution des sols (méthode territoriale spécifique)



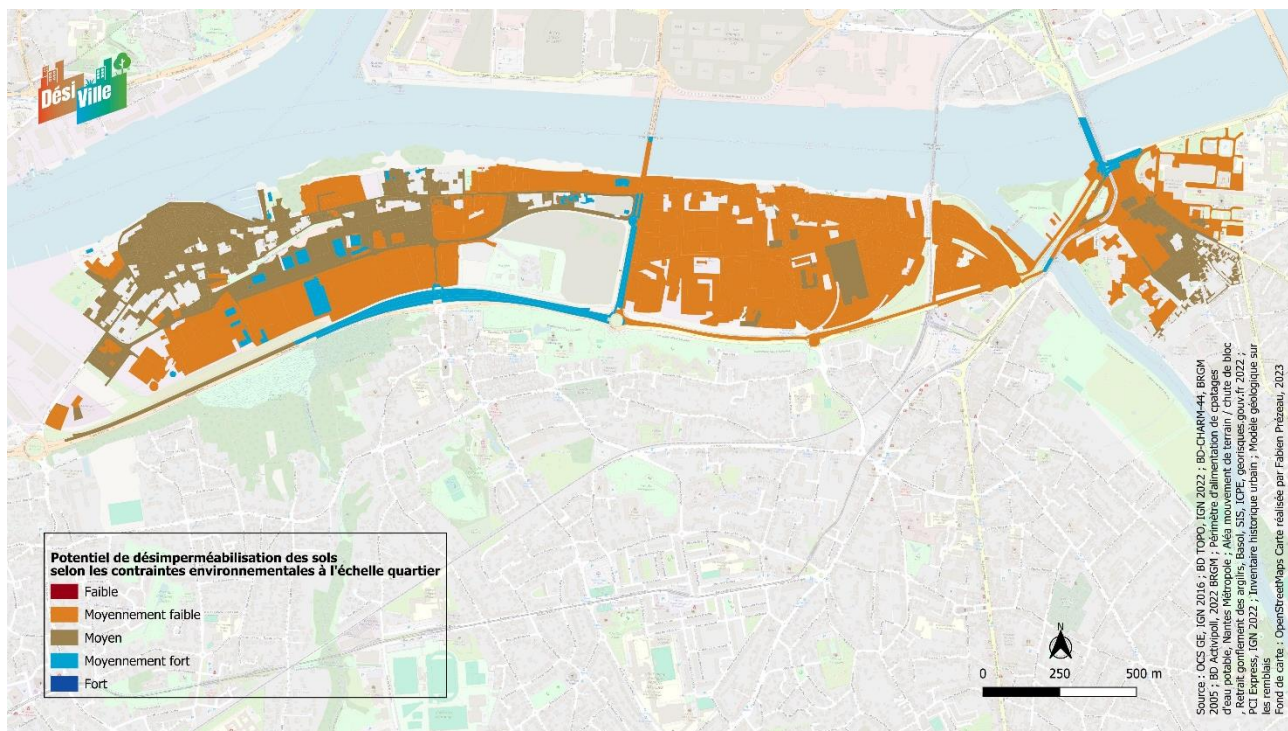


Figure 36 : Potentiel de désimpermeabilisation selon les contraintes environnementales intégrant des données locales plus précises sur l'aléa pollution des sols

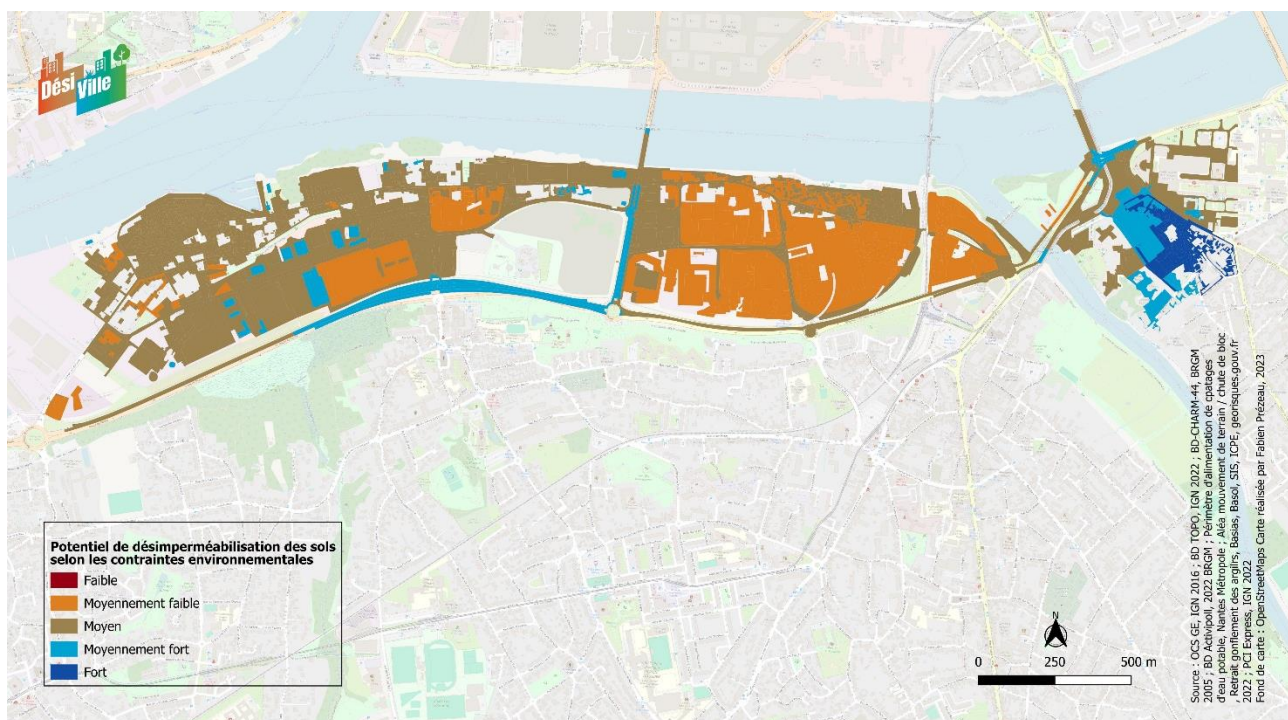


Figure 37 : Potentiel de désimpermeabilisation selon les contraintes environnementales (méthode territoriale spécifique)



7.2.3. Faisabilité et potentiel de désimperméabilisation

La Figure 38 présente la faisabilité de désimperméabilisation des sols à l'échelle quartier intégrant les couches affinées et la superposition des nouvelles données. L'ajout des trottoirs et des parkings facilite l'identification des zones les plus propices. La prise en compte de l'encombrement des sols par les réseaux enterrés fait ressortir des zones de contrainte. Les jeux de données sur les trottoirs, les parkings et les réseaux enterrés apparaissent ainsi essentiels dans l'aide à la décision. Le défi est de construire des jeux de données cohérents et exploitables. Ces constats sont valables aussi pour la carte du potentiel de désimperméabilisation (Figure 39).

Rem : dans les cartes suivantes, les trottoirs et les parkings ont été digitalisés manuellement.



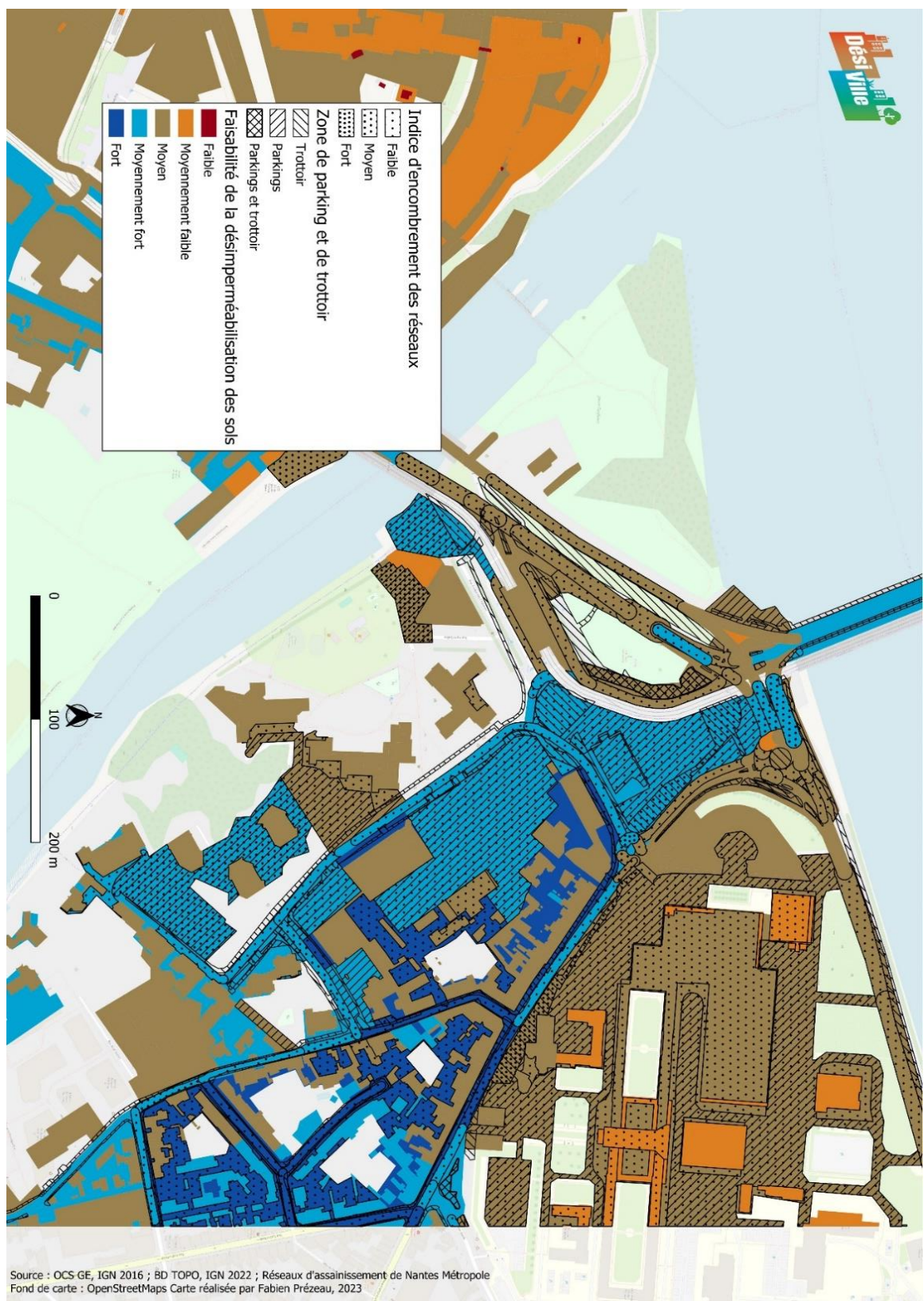


Figure 38 : Faisabilité de la désimpermeabilisation des sols à l'échelle quartier Pirmil intégrant les nouvelles données produites et les données plus précises sur l'aléa pollution des sols, la biodiversité et l'aménité





Figure 39 : Potentiel de la désimperméabilisation des sols à l'échelle quartier avec la surimposition de données



7.3. Développements complémentaires à prévoir

Les tests méthodologiques réalisés à l'échelle du quartier font ressortir la nécessité de créer des couches d'informations géographiques supplémentaires comme les trottoirs, les parkings et l'indice d'encombrements des sols par les réseaux enterrés. Ces données apparaissent essentielles pour assurer la cohérence avec le terrain. Leur production nécessite cependant des développements complémentaires.

Le gain de précision sur les cartes de faisabilité et de potentiel de désimperméabilisation semble nécessiter 'l'affinage' d'un nombre suffisant de critères pour influencer réellement le résultat. L'affinage de certains critères présente par ailleurs un intérêt à l'échelle du territoire, ou a minima sur les zones à enjeux. Dans ce cadre, on ne peut qu'encourager la capitalisation des données, comme celles relatives aux sol et sous-sol :

- Capacité d'infiltration de l'eau par les sols en lien avec les permis de construire
- Analyses de sols (chimiques : cf. BD SolU ; agronomiques : cf DoneSol ; stock de carbone ; biodiversité)
- Descriptions de sondages (banque de données du sous-sol - BSS, Infoterre), dont le versement est obligatoire d'après le code minier.

Avant la mise en œuvre de solutions de désimperméabilisation, des études de sols complémentaires sont conseillées selon les contraintes environnementales possibles et les atouts recherchés. Plus particulièrement, une caractérisation des pollutions, de l'infiltrabilité, de la profondeur de la nappe sont recommandées. Les études de sol complètent la consultation des sites internet Géorisques (<https://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#/>) et Infoterre (<https://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>). Ceux-ci recensent par exemple des sites (potentiellement) pollués liés aux activités industrielles et de service, et des sondages qui permettent d'identifier la présence de remblais. La consultation des photos aériennes anciennes mises à disposition par l'IGN peut s'avérer également utile. En cas de pollution avérée ou suspectée des sols, il faut se référer à la méthode nationale de gestion des sites et sols pollués.



8. Conclusion / Perspectives

Les méthodes de cartographie du potentiel de désimperméabilisation proposées dans ce guide présentent des niveaux d'aboutissement différents. A l'échelle territoriale, la méthode apparaît aboutie et a pour ambition de servir de cadre national. A l'échelle du quartier, la méthode nécessite le développement préalable de jeux de données qui n'existent pas encore, suggérant des travaux de R&D complémentaires (trottoirs, parkings, encombrement du sol par les réseaux enterrés).

Les besoins d'améliorations pour la méthode territoriale portent essentiellement sur la précision des données SIG disponibles. Ceci est marqué plus particulièrement pour les atouts et bénéfices, où les échelles de résolution des données sont souvent faibles. Les développements méthodologiques réalisés sur le confort thermique, présentés dans le rapport de projet (Prézeau et al, 2024) apparaissent prometteurs. Les développements réalisés sur la cartographie des sols urbains (Ducommun et al, 2023) dans le cadre du projet SUPRA (Schwartz et al. 2022) nécessitent d'être poursuivis et déployés plus largement afin de disposer de cartes de sols suffisamment précises (idéalement 1/10 000) pour cartographier l'infiltrabilité des sols et leurs autres fonctions. Des gains de précision sont aussi importants sur la connaissance du sous-sol, comme base de la cartographie des sols, mais aussi en lien avec les risques associés (ex. roches solubles, aléa pollution des sols, remontée de nappe) et les ressources (ex. nappes). Ainsi, une amélioration de la connaissance géologique à 1/10 000 apparaît essentielle. En attendant les cartographies systématiques à l'échelle urbaine, qu'enrichiront la capitalisation de toutes les connaissances acquises sur les sols dans le cadre des travaux d'aménagement, des focus sur les zones à enjeux sont recommandés.

La méthode de croisement des données, qui s'appuie sur une analyse multicritère simplifiée (somme pondérée) couplée à un SIG, offre une certaine modularité, en permettant d'ajuster les poids des différents critères pour adapter la méthode aux enjeux des territoires. Des développements complémentaires sont prévus dans le cadre du projet de R&D PermÉpolis, pour prendre en compte le volet réglementaire et social, en intégrant les points de vue des parties prenantes, et en gérant les aspects contradictoires potentiels. L'automatisation des calculs est envisagée aussi, comme base d'un outil partagé.

Des rendez-vous réguliers sont enfin envisagés, afin de partager les retours d'expérience relatifs à la mise en œuvre des méthodologies proposées, et de les enrichir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barrière J., Pinson S., Le Coent P., Farina G., Héruvaux C., Neverre N., Rame E., Saltel M. 2023. Développement d'outils d'aide à la décision pour la mise en place d'une stratégie d'infiltration et de stockage des eaux pluviales à échelle de Bordeaux Métropole. Rapport final V1. BRGM/RP-73219-FR, 111 p.

Bessière H., Brugeron A., Cochery R., Assy Y., Bault V., (2021) - Cartographie de sensibilité aux remontées de nappes sur le bassin versant de l'Authie Rapport final . BRGM/RP-70431-FR, 120 p.

Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L, Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Néel C., Sheriff R. (2021). MUSE. Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme. Rapport final, 155 pages

Bourdeau-Lepage L., Texier P., Carré H. (2018). Evaluer les déterminants du bien-être sur un territoire : illustration à travers le cas d'une commune rhônalpine, *Revue d'économie régionale et urbaine*, 2018/4, pages 775 à 803, Armand colin 10.3917/eru.184.0775.



Capacity4dev (2014). Evaluation methodological approach : Bases méthodologiques et approche Lien site web : https://capacity4dev.europa.eu/groups/evaluation_guidelines/info/outil-detaille-9_en

CEREMA (2019). Comment intégrer la désimperméabilisation des sols sur son territoire ? L'exemple du Grand Narbonne. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/comment-integrer-desimpermeabilisation-sols-son-territoire>

CEREMA (2018). Projet MUSE : intégrer la multifonctionnalité des sols dans les documents d'urbanisme. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-muse-integrer-multifonctionnalite-sols-documents#:~:text=Cette%20capacit%C3%A9%20%C3%A0%20assurer%20de,la%20qualit%C3%A9%20d'un%20sol>

CEREMA (2021). Vers une cartographie des ilots de chaleurs urbains dans la métropole de Nice. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/cartographie-ilots-chaleur-urbains-metropole-nice>

CEREMA (2021). *Identification du potentiel de renaturation à l'échelle de l'unité urbaine parisienne -TOME 1. Rapport d'étude.* https://www.cerema.fr/system/files/documents/2022/05/2021_t1_etude_renaturation_unite_urbaine_parienn_e_version_en_ligne.pdf

Commission Européenne (2012). Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation ou compenser, <HTTPS://DATA.EUROPA.EU/DOI/10.2779/79012>

Deboeuf De Los Rios G., Barra M., Grandin.,G. (2022). Renaturer les villes. Méthode, exemples et préconisations. ARB îdF, L'Institut Paris Région. <https://www.arb-idf.fr/nos-travaux/publications/renaturer-les-villes/>

Desrousseaux M., L Bissonais Y., Béchet B., Ruas A., Schmitt B. (2019). Sols artificialisés : Déterminants, impacts et leviers d'action, Editions QUAE, 182P, (HAL-02373212)

Fisher M. et Nijkamp P. dir. (1993). Geographic Information Systems, Spatial Modeling and Policy Evaluation. New York, Spring Verlag

Haag L. et Coenradie B. (2016). Versiegelungskartierung Berlin - Anwendung und Weiterentwicklung des hybriden Auswertungsverfahrens für das Jahr 2016 sowie Kartierung von Veränderungen. <https://www.berlin.de/umweltatlas/en/soil/impervious-soil-coverage/2016/download/>

Haidara I., Tahri M., Maanan M., Hakdaoui M. (2019). Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. Geoderma 354, 113853. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.011>.

Hickey R., Jankowski P. (1997). GIS and Environmental Decisionmaking to Aid Smelter Reclamation Planning. Environment and Planning A: Economy and Space, 29(1), 5-19. <https://doi.org/10.1068/a290005>

IPR (2021). Base espaces publics. Objectifs et méthodes. Institut Paris Région. https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/DataStorage/lauEtVous/CartesEtDonnees/Tuf/Base_Espaces_Publics_202110.pdf

INSEE (2023). Les nouveaux indicateurs de richesse – Indicateurs statistiques. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728885?sommaire=7728903#:~:text=54%20919%2C3-Occupation%20des%20sols%20en%202019%2D2021%20%2D%20Lecture%20%3A%20En%20moyenne,%2C1%20%25%20du%20territoire%20m%C3%A9ropolitain.&text=54%20919%2C3-Lecture%20%3A%20En%20moyenne%20sur%202019%2D2020%2D2021%2C%20les,%2C1%20%25%20du%20territoire%20m%C3%A9ropolitain>.

Janjou D. (2004) Descriptif des cartes géologiques à 1/50 000 format "vecteurs". Rapport BRGM/RP-53473-FR, 21 p., 6 fig., 9 tabl.



Kokalj Ž., Zakšek K., Oštir K. (2011). Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity* ,85, 263–273.

Le Guern C., Baudouin V., Sauvaget B., Pineau-Jamin E., Gaubert C., Braud R., Desse-Engrand F., Polett S., Ménoury A., avec la collaboration de Bodéré G., Milano E., Conil P., Bâlon P. (2017). Développement d'une méthodologie de gestion des terres excavées issues de l'aménagement de quartiers nantais -Phase 1 : Caractérisation des sols et recensement des sources de pollution potentielles. Rapport final BRGM/RP-67138-FR

Le Guern C., Baudouin V., Sauvaget B. avec la collaboration de Dubrac N. (2023). Economie circulaire des terres excavées et transition écologique accompagnement du projet d'aménagement Pirmil-les-Isles. Rapport final BRGM/RP – 73276-FR, 104p.

Limasset E., Merly C., Bâlon P., Desrousseaux M., Quadu F., Hucq A., Born C.H., Malherbe A., Baptist F. (2021). Projet SOILval Quelle prise en compte de la valeur des sols dans la planification et l'aménagement du territoire en France et en Wallonie ? Pour une meilleure reconnaissance de la qualité des sols en contexte de mise en œuvre des objectifs de zéro artificialisation nette- Analyse juridique et état de l'art (WP2) - 111 pages. Convention Ademe 2003C0059.

Lucassou F., Schroetter J-M, Koch F. avec la collaboration de Deray G., Debel A., Escudier M. (2023). ANTISEICHE : Apport des eaux souterraines pour les actions de restauration des milieux aquatiques du bassin versant de la Seiche (Moulins). Rapport final BRGM/RP-77339-FR, 132 p.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multi Criteria Decision Analysis*. New York: John Wiley

Malczewski, J. (2006). "GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature." *International Journal of Geographical Information Science* 20 (7): 703–726. doi:10.1080/13658810600661508

Malczewski, J., and C. Rinner. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. New York: Springer.

Oliveira E, Tobias S, Hersperger AM. (2018). Can Strategic Spatial Planning Contribute to Land Degradation Reduction in Urban Regions? State of the Art and Future Research. *Sustainability*. 10(4):949. <https://doi.org/10.3390/su10040949>

Papajorgji P., Pinet F., Batton-Hubert M., Bonneville M., Joliveau T. Mazago, PO., Paran F. (2012). Coupling Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Analysis (MCA) for Modelling the Ecological Continuum in Participative Territorial Planning. 10.4018/978-1-4666-0333-2.ch010.

Pinson S., Bault V (2019) - Profondeur des entités Hydrogéologiques et évaluation des contraintes à l'infiltration des Eaux pluviales urbaines sur le territoire de Rennes Métropole - Projet PHOEBUS. BRGM/RP-68599-FR, 74 p., 3 ann.

Poyat Y. (2022), communication personnelle

Rhee J., Park S. et Lu Z. (2014). Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas, *GIScience & Remote Sensing*, 51:5, 521-536, DOI: [10.1080/15481603.2014.964455](https://doi.org/10.1080/15481603.2014.964455)

Roy A. H. et Shuster W. D. (2009). Assessing Impervious Surface Connectivity and Applications for Watershed Management1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(1), 198–209. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00271.x>

Scalenghe R. et Ajmone Marsan F. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 90. 1-10. 10.1016/j.landurbplan.2008.10.011.



Schwartz C., Bispo A., Blanchart A., Brunet J.-F., Cambou A., Cannavo P., Consalès J.-N., de Fouquet C., Ducommun C., Lattelais C., Le Guern C., Saby N., Sauvaget B., Séré G., Vidal-Béaudet L. (2022). Sols urbains et projets d'aménagement (SUPRA) : de l'échantillonnage des sols urbains à l'outil d'aide à la décision d'affectation des sols. 221 pages

Tahri M., Maanan M., Bouksim H., & Hakdaoui M. (2017). Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process multi-criteria and automatic computation to analyse coastal vulnerability. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(3), 268-285. <https://doi.org/10.1177/0309133317695158>

Tobias S., Conen F., Duss A., Wenzel LM., Buser C. et Alewell C. (2018). Soil sealing and unsealing : State of the art and examples. *Land Degrad Dev.* <https://doi.org/10.1002/ldr.2919>

Vernoux J.F., Wuilleumier A., Perrin J. (2014) – Délimitation des aires d'alimentation de captages d'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du guide méthodologique, rapport BRGM/RP-63311-FR, 133p. 69 illustrations, 1 annexe



9. Annexes

9.1. Modèles locaux d'occupation du sol par région ou département

Zone géographique	Non de la donnée	Echelle de validité	Date disponible	Lien de téléchargement	Remarque
Région Auvergne-Rhône-Alpes	OSCOM	1/10 000	2016	https://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/-occupation-du-sol-a-grande-echelle-en-auvergne-a12646.html	La donnée est disponible sur 2 niveaux de description
Parc naturel régional du Haut-Jura	Mode d'occupation du sol		2021 et 2020	https://trouver.ternum-bfc.fr/dataset/occupation-du-sol-pnr-haut-jura	Plusieurs niveaux de description. Conseil : se référer à la description de niveau 2
Rennes métropole	Mode d'occupation du sol	1/5 000	2006 et 2017	https://data.rennesmetropole.fr/explore/dataset/mos_2006_2017_rennes_metropole/information/	/
Région Grand Est	Occupation du sol Grande Echelle du Grand Est (OCS)	50 cm	2010 et 2019	https://www.datagrandest.fr/portail/fr/projets/occupation-du-sol	/
Région Hauts-de-France	Occupation du sol	/	2009-2010	https://www.geo2france.fr/dataset/7fac6bc0-9db8-4247-993c-ba2404387bfbf	Site récapitulatif tous les jeux de données disponibles sur la région : https://www.geo2france.fr/portail/patrimoine-des-donnees-doccupation-du-sol-en-hauts-de-france
Ile de France	Mode d'occupation du sol	1/5 000	1982 à 2021	https://www.institutparisregion.fr/mode-doccupation-du-sol-mos.html	Pas disponible en opendata



Zone géographique	Non de la donnée	Echelle de validité	Date disponible	Lien de téléchargement	Remarque
Normandie	ARTICOM	1/5 000	2019	https://geo.data.gouv.fr/fr/search?availability=yes&q=ocscom%20normandie	Des millésimes plus anciens disponibles pour certains départements
Nouvelle-Aquitaine	OCS NVA	1/5 000	2009, 2015, 2020	https://www.pigma.org/portail/fr/jeux-de-donnees/ocs-de-la-nouvelle-aquitaine-referentiel-regional-d-occupation-du-sol-a-grande-echelle--ocs-nva/info	Se rapprocher de la région ou du département pour y accéder
Occitanie	Occupation du sol Interdépartementale	.	/	Non disponible	En cours de développement
Grand Narbonne communauté	Occupation du sol	/	2003, 2012, 2015, 2018, 2021	https://ckan.openig.org/dataset/occupation-du-sol-sur-le-territoire-du-grand-narbonne-communaute-dagglomeration	
Région Pays de la Loire – département de Loire-Atlantique	Mode d'occupation du sol	1/5 000	1949, 1999, 2004, 2009, 2012, 2016 et 2020	https://data.loire-atlantique.fr/explore/dataset/224400028_modes-occupation-sols-loire-atlantique	Des versions plus récentes sur Nantes Métropole
Région Proven-Alpes-Côte d'Azur	BD OCSOL	1/25 000 – 150 000	1999, 2006, 2014, 2019	https://trouver.datasud.fr/dataset/occupation-sol-departements-provence-alpes-cote-azur	Site regroupant toute les données d'occupation du sols dans la région :



9.2. Utilisation de la couche CORINE LAND COVER HAUTE RESOLUTION IMPERVIOUSNESS pour identifier les surfaces imperméables

Quand la couche OCS GE de l'IGN n'est pas encore disponible, il est possible d'utiliser la couche Imperviousness du programme européen Copernicus.

La base de données est au format raster, il faudra donc faire une conversion en format vecteur. Chaque carreau de la donnée informe sur un taux d'imperméabilisation allant de 0 à 100, 100 étant une imperméabilisation totale. Toutes les valeurs supérieures ou égales à 1 doivent être considérées comme des surfaces imperméables.

L'union des couches Imperviousness et Bâtiments de la BD TOPO permettent de faire une distinction entre les surfaces bâties et non bâties.

Afin de se caler sur la nomenclature de l'OCS GE, le code 'CS1.1.1.2' est attribué aux surfaces provenant de la couche Imperviousness et le code 'CS1.1.1.1' aux surfaces de bâtiment provenant de la BD TOPO.

Attention, il est recommandé, de mettre en place cette méthode à l'échelle d'une commune voire d'un quartier car les temps de calcul seront très longs à cause de l'union des couches Imperviousness et Bâtiments.

<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/corine-land-cover-occupation-des-sols-en-france/>



9.3. Présentation de l'OCS GE



CS 1 Sans végétation	CS 1.1 Surfaces anthropisées	CS 1.1.1 Zones imperméables	CS 1.1.1.1 Zones bâties
			CS 1.1.1.2 Zones non bâties
		CS 1.1.2 Zones perméables	CS 1.1.2.1 Matériaux minéraux
			CS 1.1.2.2 Matériaux composites
	CS 1.2 Surfaces naturelles		CS 1.2.1 Sols nus
			CS 1.2.2 Surfaces d'eau
CS 1.2.3 Neiges et glaciers			
CS 2 Avec végétation	CS 2.1 Végétation ligneuse	CS 2.1.1 Formations arborées	CS 2.1.1.1 Feuillus
			CS 2.1.1.2 Conifères
			CS 2.1.1.3 Mixte
			CS 2.1.2 Formations arbustives, sous-arbustive
			CS 2.1.3 Autres formations ligneuses
	CS 2.2 Végétation non ligneuse		CS 2.2.1 Formations herbacées
			CS 2.2.2 Autres formations non ligneuses

UMI - Zones bâties : 200m² - Intérieur Zone construite : 500m²
 - Hors Zone construite : 2 500m²



US 1 Production primaire		US 1.1 Agriculture
		US 1.2 Sylviculture
		US 1.3 Activité d'extraction
		US 1.4 Pêche et aquaculture
		US 1.5 Autres prod. primaires
US 235 Production secondaire, tertiaire et usage résidentiel		US 235 Production secondaire, tertiaire et usage résidentiel
US 4 Réseaux de transport et d'utilité publique, logistique	US 4.1 Réseaux de transport	US 4.1.1 Routier
		US 4.1.2 Ferré
		US 4.1.3 Aérien
		US 4.1.4 Navigable
		US 4.1.5 Autres
US 6 Autre usage		US 4.2 Services logistiques et de stockage
		US 4.3 Réseau d'utilité publique
		US 6.1 Zones en transition
		US 6.2 Zones abandonnées
		US 6.3 Sans usage
		US 6.6 Inconnu

Produit conforme aux préconisations nationales du CNIG



9.4. Intégration du bâti (BD PARCELLAIRE de l'IGN) dans les surfaces imperméables définies à partir de l'OCS GE

L'union de l'OCS GE (couverture du sol) et des bâtiments du BD Parcellaire de l'IGN permet de détailler un peu plus les surfaces imperméables. La table attributaire de la couche union rassemble les champs des deux couches, mais présente des vides qui nécessitent d'être comblées. L'objectif est de réattribuer le bon code pour les surfaces non bâties issues de l'OCS GE. Elles vont passer du code 'CS1.1.1.1' au code 'CS 1.1.1.2'. Et il faudra attribuer le code 'CS1.1.1.1' pour les surfaces de bâtiment issues du BD PARCELLAIRE. Ainsi les modifications suivantes doivent être faites :

- Etape 1 : filtrer les entités selon le « CODE_CS » en ne gardant que les codes « CS1.1.1.1 » et « CS1.1.1.2 »
- Etape 2 : Sélectionner les entités de bâtiments avec la formule suivante

$TYPE = 'Bâtiment\ en\ dur'$ or $TYPE = 'Construction\ légère'$

- Etape 3 : Attribuer 'CS1.1.1.1' pour les entités sélectionnées sur le champ « CODE_CS » (qui est normalement vide pour les entités filtrées)
- Etape 4 : Inverser la sélection de l'étape 2 afin d'attribuer le code 'CS1.1.1.2' sur le champ « CODE_CS »

9.5. Système de notation selon le type d'usage du sol de CORINE Land Cover

Lorsque la couche de l'OCS GE n'est pas disponible et qu'il n'existe pas de donnée équivalente à la BD MOS de Loire-Atlantique, il est possible d'utiliser l'usage des sols de CORINE Land Cover (CLC).

La donnée est téléchargeable avec le lien suivant :

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>

Plusieurs millésimes existent : 1990, 2000, 2006, 2012 et 2018.

MÉTHODOLOGIE

CORINE Land Cover (CLC) est produite selon une méthodologie commune, pour garantir la comparabilité et l'homogénéité des informations entre les pays européens.

Elle est issue de **l'interprétation visuelle d'images satellitaires**, avec des données complémentaires d'appui, avec l'identification de zones d'au moins 25 ha et de 5 ha pour les évolutions, de 100 m de large et homogènes du point de vue de l'occupation des sols.

L'échelle de production est le **1/100 000** et repose sur une nomenclature standard hiérarchisée en **3 niveaux**. Elle comprend **44 postes** répartis selon **5 grands types d'occupation du territoire** :

- territoires artificialisés
- territoires agricoles
- forêts et milieux semi-naturels
- zones humides
- surfaces en eau.

Pour prendre en compte les **spécificités des DOM**, 6 postes supplémentaires ont été créés dans un **4ème niveau** de la nomenclature standard. Ces **6 postes** sont : canne à sucre, bananeraies, palmeraies, cañiers, mangroves ainsi que cours et voies d'eau temporaires. De plus, le seuil de 25 ha est abaissé à 10 ha et la largeur minimale à 50 m. La surface minimale reste à 5 ha pour les changements.

Figure 40 : Description de l'occupation du sol CORINE Land Cover (Source : statistiques.developpement-durable.gouv.fr, 2018)

Le Tableau 26 présente les 44 types d'occupation des sols considérés dans CLC .



Code	Libellé
111	Tissu urbain continu
112	Tissu urbain discontinu
121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
123	Zones portuaires
124	Aéroports
131	Extraction de matériaux
132	Décharges
133	Chantiers
141	Espaces verts urbains
142	Equipements sportifs et de loisirs
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation
212	Périmètres irrigués en permanence
213	Rizières
221	Vignobles
222	Vergers et petits fruits
223	Oliveraies
231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
241	Cultures annuelles associées à des cultures permanentes
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
244	Territoires agroforestiers
311	Forêts de feuillus
312	Forêts de conifères
313	Forêts mélangées
321	Pelouses et pâturages naturels
322	Landes et broussailles
323	Végétation sclérophylle
324	Forêt et végétation arbustive en mutation
331	Plages, dunes et sable
332	Roches nues
333	Végétation clairsemée
334	Zones incendiées
335	Glaciers et neiges éternelles
411	Marais intérieurs
412	Tourbières
421	Marais maritimes
422	Marais salants
423	Zones intertidales
511	Cours et voies d'eau
512	Plans d'eau
521	Lagunes littorales
522	Estuaires
523	Mers et océans

Tableau 26 : Description des 44 types d'occupation du sol utilisés dans Corine Land Cover

Le système de notation attribué est défini selon le code de l'occupation du sol (Tableau 27).



Code CORINE Land Cover	Note
523 ; 522 ; 521 ; 512 ; 511 ; 423 ; 422 ; 421 ; 412 ; 411 ; 335 ; 334 ; 333 ; 332 ; 331 ; 324 ; 323 ; 322 ; 321 ; 313 ; 312 ; 311 ; 244 ; 243 ; 242 ; 241 ; 231 ; 223 ; 222 ; 221 ; 213 ; 212 ; 211 ; 131 ; 132 ; 133	1
141 ; 142	2
122 ; 123 ; 124	3
	4
111 ; 112 ; 121	5

Tableau 27 : Système de notation selon Corine Land Cover

9.6. Identification du régime de propriété (privé, public) des parcelles de la BD PARCELLAIRE

La donnée relative aux parcelles des personnes morales est téléchargeable au format CSV à l'adresse suivante : <https://opendata.koumoul.com/datasets/parcelles-des-personnes-morales>.

Parmi les nombreux attributs, deux nous intéressent plus particulièrement :

- Code parcelle : ce code sera à joindre via l'attribut « NUMERO » de la BD PARCELLAIRE
- Groupe personne : indique le groupe juridique du propriétaire de la parcelle

Après une jointure entre la base de données et la BD PARCELLAIRE, le code suivant, permet de déduire les parcelles publiques et privées sur un logiciel de SIG.

➔ Script pour la calculatrice de champs de QGIS

```

CASE
  WHEN "Groupe personne" = 'Commune' THEN 'PUBLIQUE'
  WHEN "Groupe personne" = 'Département' THEN 'PUBLIQUE'
  WHEN "Groupe personne" = 'Office HLM' THEN 'PUBLIQUE'
  WHEN "Groupe personne" = 'Région' THEN 'PUBLIQUE'
  WHEN "Groupe personne" = 'Établissements publics ou organismes associés' THEN 'PUBLIQUE'
  WHEN "Groupe personne" = 'État' THEN 'PUBLIQUE'
  ELSE 'PRIVEE'
END

```



9.7. Notation des différents critères utilisés dans la méthode PHOEBUS d'évaluation de l'infiltrabilité des sols et du proche sous-sol

La méthode Phoebus synthétisée ci-après est décrite dans Pinson et Bault (2019). Elle a été développée pour Rennes Métropole. Des ajustements peuvent être nécessaires selon les données disponibles.

9.7.1. Epaisseur de la ZNS

La première étape consiste à réaliser une carte piézométrique, suite à une campagne de mesures des niveaux d'eau souterraine en hautes eaux (période la plus défavorable à l'infiltration).

Les mesures de niveau d'eau sont interpolées, pour produire une grille des altitudes de la nappe au pas de 25 m. Le logiciel GDM du BRGM peut être utilisé pour cela. Pour calculer l'épaisseur de la ZNS, il suffit de soustraire au MNT les valeurs des altitudes en hautes eaux fournies par l'interpolation. Le résultat est une grille au pas de 25 m qui représente pour chaque pixel l'épaisseur de la ZNS exprimée en mètres.

Suite aux recommandations et aux études géotechniques, l'épaisseur minimum de la ZNS avec les notes associées pour infiltrer les eaux pluviales a été classée comme suit :

- Supérieur à 2 m : très favorable (note = 10)
- Entre 1 et 2 m : assez favorable (notamment en zone urbaine) (note = 5)
- Entre 0 et 1 m : défavorable (note = 0)

9.7.2. Perméabilité des sols

Pour caractériser la perméabilité des sols en absence de mesure in situ, deux types d'information disponibles sur l'ensemble de la zone d'étude sont utilisées : la texture du sol GEPPA et la capacité de drainage du sol. Ces informations sont bien décrites pour chaque UCS (Unité Cartographique Sol) (cf. programme de cartographie pédologique à l'échelle régionale – IGCS et base de données Donesol). La texture du sol GEPPA par UCS correspond à une classification des sols en fonction d'un triangle de textures (Figure 41).

En fonction de la porosité du sol, l'eau circulera avec des vitesses différentes. Par exemple, lorsque l'eau s'écoule du sol beaucoup plus rapidement qu'elle n'y pénètre et que le surplus d'eau descend très rapidement dans le cas où le matériel sous-jacent est perméable, alors on peut parler de drainage rapide. Le drainage joue un rôle important dans la circulation et la saturation de l'eau dans le sol. La carte des classes de drainage est présentée ci-dessous.

La texture d'un sol est la répartition granulométrique de ses constituants. C'est la proportion entre les petites particules, les argiles, les particules de taille moyenne, les limons et particules de grande taille, les sables (dont le diamètre reste tout de même inférieur à 2 mm). Les textures sont regroupées en classes : sol argileux, limono-sableux...en fonction de ces proportions.



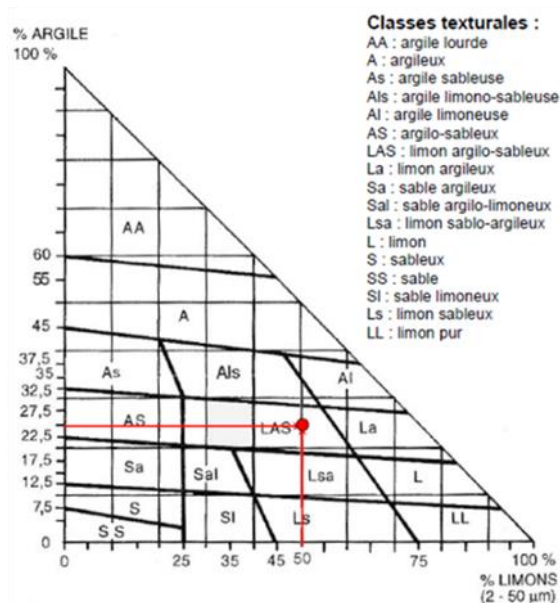


Figure 41 : La texture du sol GEPPA (source : Baize D., 1995, in Pinson et Bault, 2019)

Les classes de drainage dominantes (% le plus élevé) dans l'Unité Cartographique de Sol (UCS) associées aux classes de drainage secondaire sont répertoriées. Il s'agit du drainage naturel de l'eau au sein du sol qui peut s'exprimer par la présence ou l'absence de signes d'oxydo-réduction.

En combinant ces deux notions (texture et drainage) et la lithologie décrite pour chaque UCS, on obtient une évaluation qualitative de la perméabilité ainsi que la note associée (Tableau 28).



GEOLOGIE	texture	drainage	Perméabilité proposée	Note associée
Alluvions	LSA/La	5 /7	Pas perméable	0
Calcaires	LAS	3	Moyennement perméable	5
Granites ou gneiss	LSA /LAS	2 /4 (colluvions)	Perméable	10
	LSA/L	4/2 (limons éoliens)	Faiblement perméable	2
	LSA/LAS	5/2 (alluvions)	Pas perméable	0
Grès	L/LSA	5/2 (schistes)	Pas perméable	0
		5/4 (alluvions)	Pas perméable	0
Limons éoliens	L/LSA	5 /4 grès et schistes briovériens	Pas perméable	0
		3/5 schistes briovériens	Moyennement perméable	5
Sables rouges	LSA/La	4/5 (alluvions)	Faiblement perméable	2
Schistes briovériens	L/LSA	2/5 (alluvions)	Perméable	10
		3/2 (alluvions)	Moyennement perméable	5
		4/2 (SCHISTE GRESEUX OU CORNEENNE)	Faiblement perméable	2
		5/2 (SCHISTE GRESEUX OU CORNEENNE)	Pas perméable	0
		5/4 (limons éoliens)	Pas perméable	0
Schiste de type ardoisier	Al/LAS	5/2 (alluvions)	Pas perméable	0
SCHISTE GRESEUX OU CORNEENNE	LSA/L	2/7	Perméable	10
Schiste rouge dur	L/LSA	5/2 (alluvions)	Pas perméable	0
	L/LA	2/5 (alluvions)	Perméable	10
Terrasses alluviales anciennes	LSA/L	2/5	Perméable	10
	LSA/LAS	5/3	Pas perméable	0

Tableau 28 : Tableau des combinaisons entre texture et drainage – Evaluation de la perméabilité en combinant les textures et le drainage

9.7.3. Indice de susceptibilité de présence d'argiles

Pour compléter l'évaluation de la perméabilité des sols, la cartographie des formations argileuses, issue de la production des cartes d'aléas Retrait Gonflement, est utilisée. Elle permet la production d'un indice de susceptibilité de présence d'argiles (IS), correspondant à la moyenne de la note de lithologie (Note_Litho), de la note de minéralisation (NOTE_Min) et de la note géotechnique (NOTE_Geo), quand elle est présente. IS est donc un bon indicateur du taux d'argilosité des formations géologiques et donc du caractère imperméable des sols qui se développent dessus.

Plus cet indicateur est élevé, plus la susceptibilité de présence d'argiles dans les sols est forte. Ces données sont agrégées au niveau de chaque unité fonctionnelle puis une note est attribuée permettant de qualifier la capacité d'infiltration. La classification de l'indicateur IS moyen pour caractériser la susceptibilité de présence d'argiles est la suivante :

- IS moyen = 0 : pas d'argiles, très favorable pour l'infiltration (note =10)
- IS moyen > 0 et IS moyen <=1.5: favorable pour l'infiltration (note =5)
- IS moyen > 1.5 et IS moyen <= 2.5 : peu favorable pour l'infiltration (note =2)



- IS moyen > 2.5 pas du tout favorable à l'infiltration (note = 0)

9.7.4. IDPR - Indice de Développement et de Persistance des Réseaux

L'IDPR est une grille au pas de 25 m qui a été agrégée sous forme de médiane aux unités fonctionnelles. La classification retenue de l'IDPR médian pour caractériser la capacité d'infiltration des eaux météoriques est la suivante :

- IDPR médian < 150 : très favorable (note =10)
- 150 < IDPR médian < 500 : favorable (note =5)
- 500 < IDPR médian < 1000 : moins favorable (note =2)
- IDPR médian >1000 : pas favorable (note =0)
- L'IDPR présente des limites notamment lorsqu'il y a des cours d'eau busés ou canalisés.

9.7.5. Hydromorphie des sols

La carte de l'hydromorphie des sols permet de reconnaître les situations où la probabilité de rencontrer des sols affectés par différents degrés d'hydromorphie est élevée. Ces données sont issues d'observations ponctuelles de sol réalisées essentiellement dans le cadre du programme IGCS de Sols de Bretagne.

C'est une grille au pas de 50 m sur le territoire de Rennes Métropole. Comme les paramètres précédents, les valeurs de hydromorphie des sols ont été agrégées sous forme de médiane aux unités fonctionnelles et une note a été attribuée pour caractériser l'infiltration des eaux pluviales.

La classification de hydromorphie des sols (médiane) pour caractériser la capacité d'infiltration des eaux dans les sols est la suivante :

- Médiane hydro = 1 : très favorable à l'infiltration (note =10)
- Médiane hydro = 2 : favorable à l'infiltration (note =5)
- Médiane hydro = 3 : peu favorable à l'infiltration (note =2)
- Médiane hydro = 4 : pas favorable à l'infiltration (note =0)

9.7.6. Pentés

En combinant différentes sources d'informations comme les études déjà réalisées sur l'infiltration des eaux pluviales (Guillon et al., 2010 ; Conil et Plat, 2015 ; Caballero et al., 2018) et les recommandations géotechniques liées à la mise en place des techniques alternatives (noues, tranchées, ...) pour l'infiltration des eaux pluviales (Graie, 2008 ; Bourrier et al., 2017), une classification de la pente moyenne par UF a été arrêtée :

- Pente moyenne <= 2 % : très favorable à l'infiltration (note =10)
- Pente moyenne > 2 et <= 5 % : favorable à l'infiltration (note = 5)
- Pente moyenne >5 et <= 10 % : peu favorable à l'infiltration (note =2)
- Pente moyenne > 10 % : pas favorable à l'infiltration (note = 0)



9.7.7. Zones endoréiques

Dans le traitement des MNT, les zones endoréiques, correspondent aux pixels dont l'altitude est plus basse que les 8 pixels voisins. Ces zones provoquent l'arrêt des calculs de propagation amont-aval et ne permettent pas d'extraire correctement les réseaux.

Les polygones représentant ces zones endoréiques ont été agrégés en calculant le pourcentage de leurs surfaces en fonction de chaque unité fonctionnelle. Une classification de ces pourcentages a ensuite permis d'attribuer les quatre notes suivantes :

- % surface > 60 : infiltration très favorable (note =10)
- 40 < % surface < 60 : infiltration favorable (note =5)
- 20 < % surface < 40 : infiltration moins favorable (note =2)
- % surface < 20 : infiltration pas favorable (note =0)

9.7.8. Bibliographie

Bourrier R., Satin M., Selmi B. (2017). Guide technique de l'assainissement – Collecte – épuration – conception – exploitation. 5e édition. Le Moniteur.

Caballero Y., Moiroux F., Bouzit M., Desprats J.-F., Maréchal J.-C. (2018) - Analyse de la faisabilité de la recharge artificielle dans le bassin RMC : contexte et analyse cartographique. Rapport intermédiaire BRGM/RP-67534-FR, 162 p., 4 ann.

Conil P., Plat E. (2015). Aptitude des sols à l'infiltration des eaux pluviales sur le territoire de Nantes Métropole. Rapport final BRGM/RP-65025-FR, 63 p., 32 ill., 2 ann.

GRAIE (2008). Guide technique – Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. Version 1.

Pinson S., Bault V (2019) - Profondeur des entités Hydrogéologiques et évaluation des cOntraintes à l'infiltration des Eaux pluviales urBaines sUR le territoire de RenneS Métropole - Projet PHOEBUS. BRGM/RP-68599-FR, 74 p., 3 ann.



9.8. Critère des roches solubles

La base de données BD CHARM du BRGM contient différents attributs (Tableau 29) :

CHAMP	TYPE	CONTENU	ATTRIBUT	EXEMPLE
CARTE	Entier	Identifiant de la carte géologique	N° d'ordre dans le lexique national	323
CODE	Entier	Code identifiant de chaque objet par rapport aux caissons de la légende	Calculé séquentiel	1, 2, 32, 45...
NOTATION	Caractère	Groupe de lettres symboliques désignant la formation sur la carte papier (découpage stratigraphique). Cette notation sera codée avec le caractère de la police True-Type BRGM NOT)	Libre	E
DESCRIPTION	Caractère	Texte court utilisé pour la réalisation d'une légende de carte géologique	Libre	Éboulis fixés

Tableau 29 Liste des champs de la BD CHARM (Janjou, 2004)

L'attribut permettant d'identifier les roches solubles est le champ « Description ». A partir de cet attribut, une recherche par mots clé est effectuée. Toutes les descriptions qui contiennent les caractères suivants seront classées comme roche solubles :

- Anhydrite
- Evaporite
- Gypse
- Halite
- Polyhalite
- Sel
- Sylvinite
- Salifère.



9.9. Méthodologie de l'aléa pollution des sols

L'aléa pollution des sols est défini comme un indicateur de qualité des sols permettant de spatialiser la présence potentielle ou avérée de contaminations chimiques des sols, susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement ou la santé.

Pour le cartographier, la méthode proposée consiste à croiser toutes les informations disponibles relatives aux sources potentielles de contamination des sols, liées à l'impact des activités humaines qui se sont succédées et à la nature des matériaux présents pour les sols constitués de remblais. Elle intègre en préalable la spatialisation de ces sources, l'attribution d'une note d'aléa pour chacune d'entre elles puis leur hiérarchisation.

9.9.1. Données disponibles

L'aléa pollution des sols d'origine anthropique est basé sur l'exploitation des ressources cartographiques suivantes (Tableau 30).

Thématique	Source (producteur)		Format : Point vs Emprise P/E	Echelle (en m)	Ex. nb sites sur Nantes	Méthode Générique X Spécifique O
Occupation des sols	Cadastre : Parcellaire Express (PCI) de l'IGN		E	1/5 000		X
	Activités agricoles : MOS 1952 à 2020		E	1/10 000		O
	OCS GE (IGN) 2013		E	1/10 000		O , X (en 2025)
Géologie dont Remblais	Carte géologique harmonisée - BD CHARM (BRGM)		E	1/50 000		X
Pollution	Basias/C asias	Georisques	P	1/25 000	934 loc. /950	X
	Ex-Basol		P+ E	1/25 000 à 1/5 000		X
	SIS		E	1/5 000		X
	IHU	SAMOA, NMA	E	1/5 000		O

Tableau 30 : Données utilisées par thématique et échelle de résolution associée

9.9.2. Détails des sources et spatialisation des emprises

9.9.2.1. Sites Basias/BDD Casias

Les anciens sites industriels et de service recensés dans la base de données Casias constituent la source de données la plus fournie (ex. pour la commune de Nantes : 934 sites Basias localisés /41 sites Basol/27 sites SIS). Les préambules départementaux précisent le cadrage départemental (activités retenues, période couverte...) et l'origine des données consultées (Archives départementales, Préfecture, archives municipales, enquêtes...).

Les sites localisés sont disponibles sous la forme de points (coordonnées XY), en général situés en centre du site, à l'échelle du 1/25 000^{ème} (Scan25 de l'IGN) à l'exception des sites tout nouvellement créés qui bénéficient des nouveaux dispositifs cartographiques de CASIAS, depuis 2018, permettant de réaliser des contours et de sélectionner les parcelles correspondantes à l'emprise des sites. Cette évolution concerne néanmoins un nombre très réduit de sites (ex. 1 site sur les 934 pour la commune de Nantes).



Le passage des coordonnées à une emprise des sites Basias s'avère une étape nécessaire à l'élaboration d'une cartographie de l'aléa de pollution potentielle en l'absence d'inventaires historiques urbains (IHU).

Les inventaires historiques urbains (IHU) fournissent les emprises les plus précises. Les moyens mis en œuvre (outils SIG récents avec cadastre, exploitation de l'intégralité des plans des dossiers d'archives, recherche et exploitation de plans/cadastres de différentes époques, étude de photos aériennes anciennes...), permettent de digitaliser les contours stricts des sites ou à défaut l'emprise de l'ensemble des parcelles concernées par chaque site.

A défaut d'IHU, la méthode proposée pour attribuer un parcellaire à chaque site s'appuie sur le croisement du parcellaire (BD Parcellaire Express actuelle de l'IGN) avec le point étendu d'un rayon (buffer), en tenant compte de la position du point par rapport au parcellaire (Figure 42). Les tests méthodologiques associés sont décrits dans le rapport final (Prézeau et al, 2024). Suite aux échanges avec Nantes Métropole, un buffer de 140 m est retenu afin d'alerter sur la présence potentielle de polluants selon un principe de précaution. Le test de recoupement entre les emprises ainsi déterminées et l'IHU de quartiers nantais a montré un recoupement de près de 90 % des surfaces identifiées par l'IHU, mais en doublant la surface d'emprise par rapport à l'IHU. Des améliorations et des adaptations sont possibles pour affiner les emprises, mais elles restent à développer.

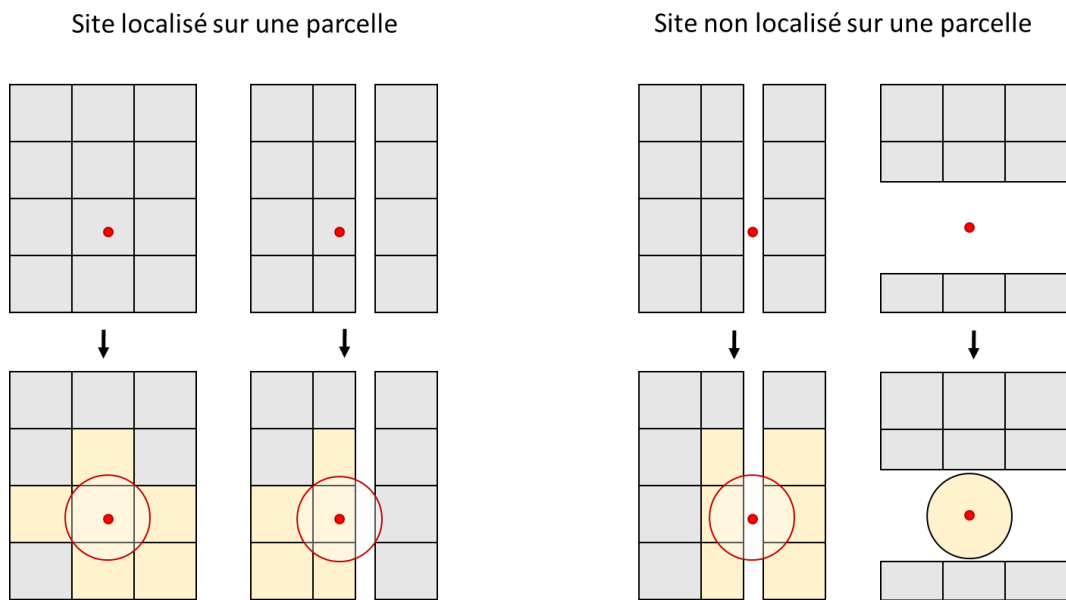


Figure 42 : Schéma explicatif des différents croisements possibles entre les sites BASIAS et le parcellaire (carré gris : parcelle ; carré jaune : parcelle intersectée (contour de site) ; point rouge : site BASIAS ; cercle rouge : buffer). Réalisation : Alix Cornu-Lachamp



9.9.2.2. Sites ex-BASOL

Les sites ex-Basol correspondent à des sites présentant une pollution suspectée ou avérée qui entraîne ou a entraîné une action des pouvoirs publics. Ces sites sont localisés et disponibles au téléchargement, sur le site Georisques, en format shapefile (coordonnées XY et emprise –polygone-).

Pour les sites ex-Basol localisés sous forme de point, (8 sites par exemple sur la commune de Nantes), un buffer de 40 m a été appliqué lors du croisement avec le parcellaire, ces sites étant a priori bien localisés.

Concernant les emprises (33 sur la commune de Nantes), il a été mis en évidence une redondance d'informations entre ces sites ex-Basol et des secteurs d'informations sur les sols (SIS), redondance qui ne trouve pas d'explication simple, certains de ces sites SIS étant recensés comme toujours « en cours » de suivi dans ex-Basol. Dès lors qu'une emprise de site ex-Basol est aussi une emprise SIS, elle a été soustraite des sites ex-Basol, les sites SIS ayant fait l'objet d'une validation à l'échelle préfectorale (ainsi sur les 33 sites ex-Basol bénéficiant d'une emprise sur la commune de Nantes, 27 sont reprises dans les SIS, et seules 5 emprises ex-Basol sont considérées).

9.9.2.3. Secteurs d'information sur les Sols

Les Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) correspondent aux terrains où la pollution des sols est connue. Pour la plupart des sites, il s'agit de garder la mémoire d'une pollution résiduelle. Certains sites correspondent à d'anciennes décharges. En cas de changement d'usage des sols, une étude de sol doit être menée afin de vérifier la compatibilité des milieux avec les nouveaux usages. Des mesures de gestion complémentaires des pollutions résiduelles peuvent alors s'avérer nécessaire.

Les données sur les SIS sont disponibles sur le site de Géorisques directement sous la forme d'emprise (shapefile).

9.9.2.4. Remblais

Les remblais correspondent aux matériaux ayant servi par exemple à combler des dépressions topographiques ou des cavités, à rehausser des terrains, ou à gérer des surplus de matériaux (ex. déblais de démolition). Ces matériaux enfouis ou en surface peuvent être de natures très diverses. Certains sont susceptibles d'être intrinsèquement pollués du fait de la nature des matériaux qui les constituent (Le Guern et al., 2018).

La carte géologique du BRGM (sous sa forme vectorisée, BD-CHARM) intègre certaines grandes zones de remblais (présentées généralement sous la forme d'un hachuré noir sur fond blanc, identifiées sous la dénomination « Formations anthropiques, remblais »), à l'échelle du 1/50 000^{ème}.

Le croisement des remblais avec le parcellaire cadastral a tendance à exagérer l'emprise des remblais, déjà peu précise à l'échelle du porté à connaissance de la carte. Il paraît donc plus pertinent de s'appuyer directement sur ces contours².

9.9.2.5. Activités agricoles potentiellement polluantes

Les cultures permanentes (légumes, céréales, fruits, fleurs, pépinières) sont susceptibles de générer ou d'avoir généré une contamination des sols par des pesticides. Il s'agit en général de pollutions sur des surfaces étendues mais à de faibles concentrations.

² Eventuellement en essayant d'affiner son emprise avec les données de sondages disponibles dans la banque de données du sous-sol (BSS) consultable sur Infoterre.



Les cultures retenues sur le territoire de Nantes Métropole pour cartographier la pression polluante liée aux activités agricoles sont : la vigne, le maraîchage, l'horticulture, l'arboriculture et les pépinières, en raison de l'usage fréquent et concentré, relativement à la surface, de produits phytosanitaires et d'engrais. La prise en compte de la pression exercée par les grandes cultures reste envisageable. Des résidus de pesticides peuvent néanmoins subsister dans les sols bien après leur application.

La méthode générique s'appuie sur l'OCS GE. Le millésime 2013 a pu être exploité sur Nantes métropole. La méthode spécifique a exploité les 10 couches historiques de la BD MOS disponibles sur Nantes Métropole pour calculer la durée de présence des types de cultures retenues comme générant la plus forte pression polluante (les mêmes que pour la méthode générique).

9.9.3. Attribution d'un niveau d'aléa par source de données

9.9.3.1. Sites Basias/BDD Casias

Les tests méthodologiques développés sont décrits dans le rapport du projet DésiVille (Prézeau et al, 2024). Ils visent à nuancer l'aléa (Tableau 31) selon les types d'activité qui ont eu lieu ou se sont succédés sur les emprises définies. Pour cela, ils s'appuient sur la BD ActiviPol (base de données qui répertorie et qualifie les corrélations entre les activités industrielles et les polluants qui peuvent leur être associés). Ils nécessitent d'être poursuivis pour proposer une méthodologie aboutie. A l'issue de ces tests 4 niveaux d'aléa pollution des sols ont été établis (absence, faible, moyen et fort) correspondant à des gammes d'aléa par parcelles. NB, dans le cas présent, ces gammes correspondent aux résultats spécifiques aux tests menés.

Colorimétrie	Notes d'alea/parcelles (classes Jenks)	Notation retenue	Aléa pollution des sols
	1-9	1	Faible
	10-20	3	Moyen
	21-78	5	Fort

Tableau 31 : Système de notation expérimental de l'aléa pollution des sols lié aux sites Basias, sur le territoire étudié

9.9.3.2. Sites ex-Basol

Pour l'attribution d'un niveau d'aléa, 2 classes ont été élaborées : il a été considéré que les sites ex-Basol en cours de gestion ont un niveau d'aléa fort, et ceux dits « clôturés » un aléa moyen (Tableau 32).

Code couleur	Statut du site ex-Basol ex-Basol	Notation retenue	Aléa pollution des sols
	Clôturé	2	Moyen
	En cours	3	Fort

Tableau 32 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux sites BASOL



9.9.3.3. Secteurs d'information sur les sols (SIS)

S'agissant, pour la plupart des sites, de pollutions résiduelles, le niveau d'aléa « moyen » est choisi initialement pour tous les SIS (Tableau 33).

Code couleur	Statut du site	Notation retenue	Aléa pollution des sols
	SIS	2	Moyen

Tableau 33 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux SIS

9.9.3.4. Remblais

Les secteurs de remblais cartographiés, disponibles sur la carte géologique concernent des matériaux présentant des susceptibilités de pollution très diverses. Il peut s'agir aussi bien de déblais anciens plus ou moins naturels (comme les sables de dragage de Loire utilisés sur des quartiers nantais de bord de Loire), de déchets industriels (comme identifié sur certains quartiers nantais), de déblais de démolition ou de dépôts de déblais miniers.

A défaut d'une caractérisation, l'aléa pollution lié aux remblais est considéré comme moyen (Tableau 34).

Colorimétrie	Statut du site	Notation retenue	Aléa pollution des sols
	Remblais	2	Moyen

Tableau 34 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux remblais

9.9.3.5. Activités agricoles

Dans la méthode générique, une note d'aléa pollution des sols faible (1) a été attribuée aux cultures retenues comme générant la plus forte pression polluante (vigne, maraîchage, horticulture, arboriculture et pépinières). La méthode spécifique (Tableau 35) apporte des nuances (rapport du projet DésiVille (Prézeau et al, 2024)), en majorant la note d'aléa à 3 dès lors que la durée de culture dépasse 30 ans, correspondant alors à un aléa moyen. Au moment des développements, les surfaces en agriculture biologique n'étaient pas disponibles sous forme de couche SIG. Elles pourraient venir nuancer l'aléa.

Durée d'activité	Notation	Aléa pollution des sols
< 30 ans	1	Faible
≥ 30 ans	3	Moyen

Tableau 35 : Système de notation développé pour l'aléa pollution des sols lié à certaines activités agricoles (vigne, maraîchage, horticulture, arboriculture et pépinières), méthode spécifique.

9.9.4. Hiérarchisation des différentes sources de pression polluante

La constitution de l'aléa pollution des sols urbains nécessite le croisement de tous les critères de pollution potentielle ou avérée spatialisés, et auxquels une note d'aléa a été attribuée. Une hiérarchisation entre chaque type de pression a été réalisée. Pour rappel, les cinq critères (couches) de pollution des sols retenus sont :

- Les sites avec pollution résiduelle présentant un risque en cas de changement d'usage des sols (SIS) notés 3 (Moyen) ;



- Les sites (potentiellement) pollués actuels faisant l'objet d'un suivi par l'administration (ex-BASOL) notés 3-5 (Moyen, Fort) ;
- Les activités industrielles et de services historiques (BASIAS) notées 1-3-5 (Faible, Moyen, Fort) ;
- Les remblais anthropiques (CHARM 50) notés 3 (Moyen) ;
- Les occupations historiques des sols agricoles (MOS) notées 1-3 (Faible, Moyen) ou les activités agricoles actuelles (OCS GE) notées 1 (Faible) ;

Parmi les différentes sources de pression polluante identifiées, les SIS et ex-BASOL ressortent comme prioritaires (Figure 43). Ils présentent en effet une pollution suspectée ou avérée actuelle à risque avec suivi administratif. Leur note est retenue par défaut. Compte tenu du caractère plus potentiel, les pressions relatives aux sites BASIAS, aux durées d'activités agricoles potentiellement polluantes (MOS) (ou les activités agricoles actuelles (OCS GE), et aux remblais anthropiques (CHARM 50) sont mises sur un même plan. Les notes associées sont sommées, et retenues lorsqu'il n'y a pas de SIS ou ex-BASOL.

Notons que les Installations Classées pour l'environnement ne sont pas intégrées dans cette analyse spatiale, dans la mesure où elles sont suivies par l'inspection des installations classées.

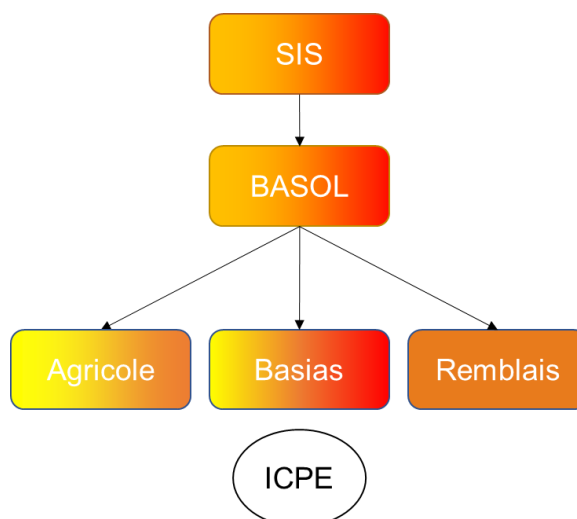


Figure 43 : Hiérarchisation des pressions liées aux différentes sources de pollutions (potentielles) prises en compte pour cartographier l'aléa pollution des sols (priorité décroissante du haut vers le bas), à l'échelle de la parcelle

9.9.5. Mise en lien avec la vulnérabilité des eaux souterraines

Vis-à-vis de la pollution des sols, la question de la vulnérabilité des eaux souterraines est à prendre en compte. Il faut en effet éviter d'infiltrer l'eau dans les zones où la vulnérabilité des nappes est forte et la pollution des sols présente.

La cartographie de la vulnérabilité simplifiée des eaux souterraines mobilise 5 critères (Vernoux et al., 2014) :

- Les pluies efficaces (PI)
- L'infiltrabilité du sol (In)
- L'Indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR)
- L'épaisseur de la zone non saturée (ZNS)
- La perméabilité selon la lithologie (Pe)



La combinaison de ces critères se fait via la formule suivante (Vernoux et al., 2014) :

$$\text{Vulnérabilité} = 0,1 * Pl + 0,25 * In + 0,3 * IDPR + 0,2 * ZNS + 0,15 * Pe$$

L'aléa pollution des sols est modulé par la vulnérabilité des eaux souterraines. Pour cela, la note de vulnérabilité est d'abord regroupée en trois classes :

- Faible : [0 à 2,4]
- Moyen :]2,4 à 3,1]
- Fort :]3,1 à 4]

Une note est ensuite attribuée pour chaque classe (Tableau 36).

Vulnérabilité des eaux souterraines	Note
Absente	1
Faible	1
Moyen	1,1
Fort	1,25

Tableau 36 : Note de vulnérabilité des eaux souterraines

Puis, les notes sont multipliées par le résultat issu du croisement de l'aléa pollution des sols. Voici les classes de note de l'aléa pollution du sol en lien avec la vulnérabilité des eaux souterraines obtenues :

- Pour la méthode générique :
 - o Faible : [1,25 à 2,5]
 - o Moyen :]2,5 à 5]
 - o Fort :]5 à 10]
- Pour la méthode spécifique :
 - o Faible [1,25 à 2,5]
 - o Moyen]2,5 à 5]
 - o Fort]5 à 13,75]

Ensuite, chaque classe se voit attribuer une note en vue de l'intégration dans l'analyse multicritère de la thématique des contraintes environnementales (Tableau 37).

Aléa pollution des sols intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines	Note
Absente	-0,5
Faible	-1
Moyen	-3
Fort	-5

Tableau 37 : Tableau de note du critère aléa pollution du sol intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines

9.10. Méthodologie de l'aléa géotechnique

L'aléa géotechnique regroupe trois critères :

- Retrait gonflement des argiles
- Mouvement de terrain / chute de bloc



- Cavités souterraines

Chaque critère a le même système de notation que les autres critères pris en compte dans les contraintes environnementales. Une note nulle est attribuée aux zones qui ne sont a priori pas concernées par le critère. Une note négative est utilisée lorsqu'un aléa est connu. Ils sont ensuite combinés à poids égal pour créer l'aléa géotechnique

A la suite de la normalisation des notes de chacun des trois critères, la somme des notes s'étale entre 0 et -11 Elle est rattachée à l'une des 3 classes d'aléa suivantes :

- Faible : [0 à -5]
- Moyen :]-5 à -10]
- Fort :]-10 à -11]

9.10.1. Retrait-gonflement des argiles

Pour le critère retrait-gonflement des argiles, la couche SIG d'aléa disponible sur georisque.gouv.fr est mobilisée. Le système de notation appliqué est décrit dans le Tableau 38.

Retrait gonflement des argiles	Note
A priori non concerné	0
Aléa Faible	-1
Aléa Moyen	-3
Aléa Fort	-5

Tableau 38 : Système de notation du critère Retrait-Gonflement des argiles

9.10.2. Mouvement de terrain / chute de bloc

Pour le critère mouvement de terrain/chute de bloc, la base de données disponible sur georisque.gouv.fr est mobilisée au format point, elle recense différents types d'informations sur les risques. Certains points donnent une information historique alors que d'autres correspondent à une mise en garde. La localisation de ces points présente des approximations. Ils sont renseignés avec une incertitude sur leur nature ou leur localisation. Par exemple, certains points correspondent en fait à un linéaire de front rocheux pouvant s'étendre sur 2 km.

Afin de donner une information surfacique malgré la donnée ponctuelle, une zone tampon de 10 m autour de ces points a été créée. Cependant, pour avoir une meilleure représentation de la réalité, il serait préférable dans la mesure du possible de numériser des surfaces ou des volumes pour cartographier les risques liés aux mouvements de terrain/chute de bloc.

Compte-tenu des incertitudes sur cette donnée, il a été décidé d'attribuer une note de -1 aux zones de mouvements de terrain / chute de bloc.

Mouvement de terrain / Chute de bloc	Note
Non	0
Oui	-1

Tableau 39 : Système de notation du critère Mouvement de terrain / Chute de bloc



9.10.3. Cavités souterraines



















Les données sur les cavités souterraines disponibles sur Géorisques sont au format points. Cependant, l'emplacement de ces points est variable par rapport à la géométrie de la cavité. Certains sont situés à l'entrée, d'autres au centre de la cavité. De plus, il est difficile de passer d'une représentation ponctuelle à surfacique avec cette base de données. Ainsi, il a été décidé de faire une zone tampon autour de ces points, en se basant sur le champ « précisionXY ». **Attention**, ceci ne représente pas la réalité et il est difficile de représenter de façon surfacique toute la superficie de la cavité.

Cavités souterraines / Karst	Note
Non	0
Oui	-5

Tableau 40 : Système de notation du critère Cavités souterraines / Karst

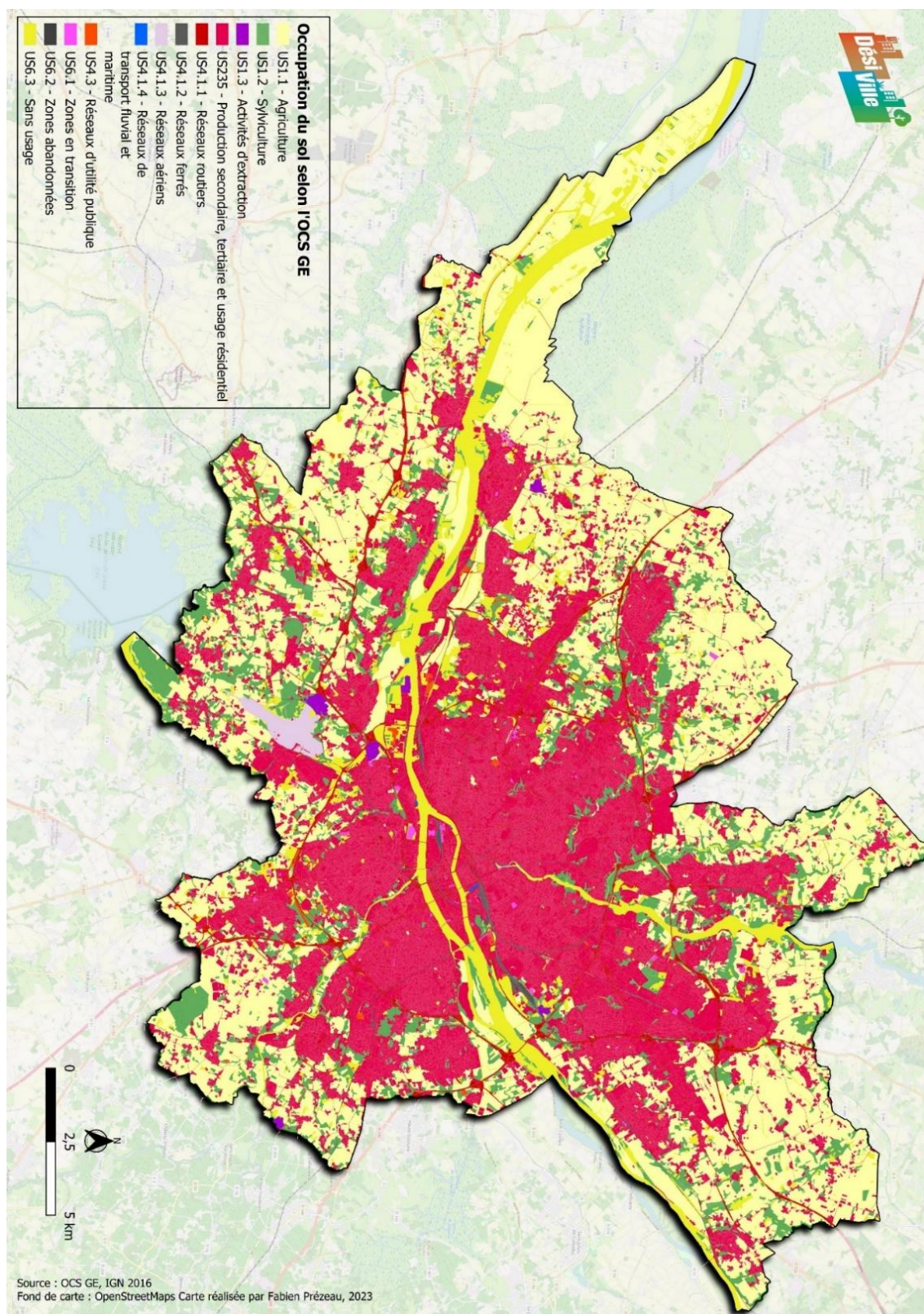


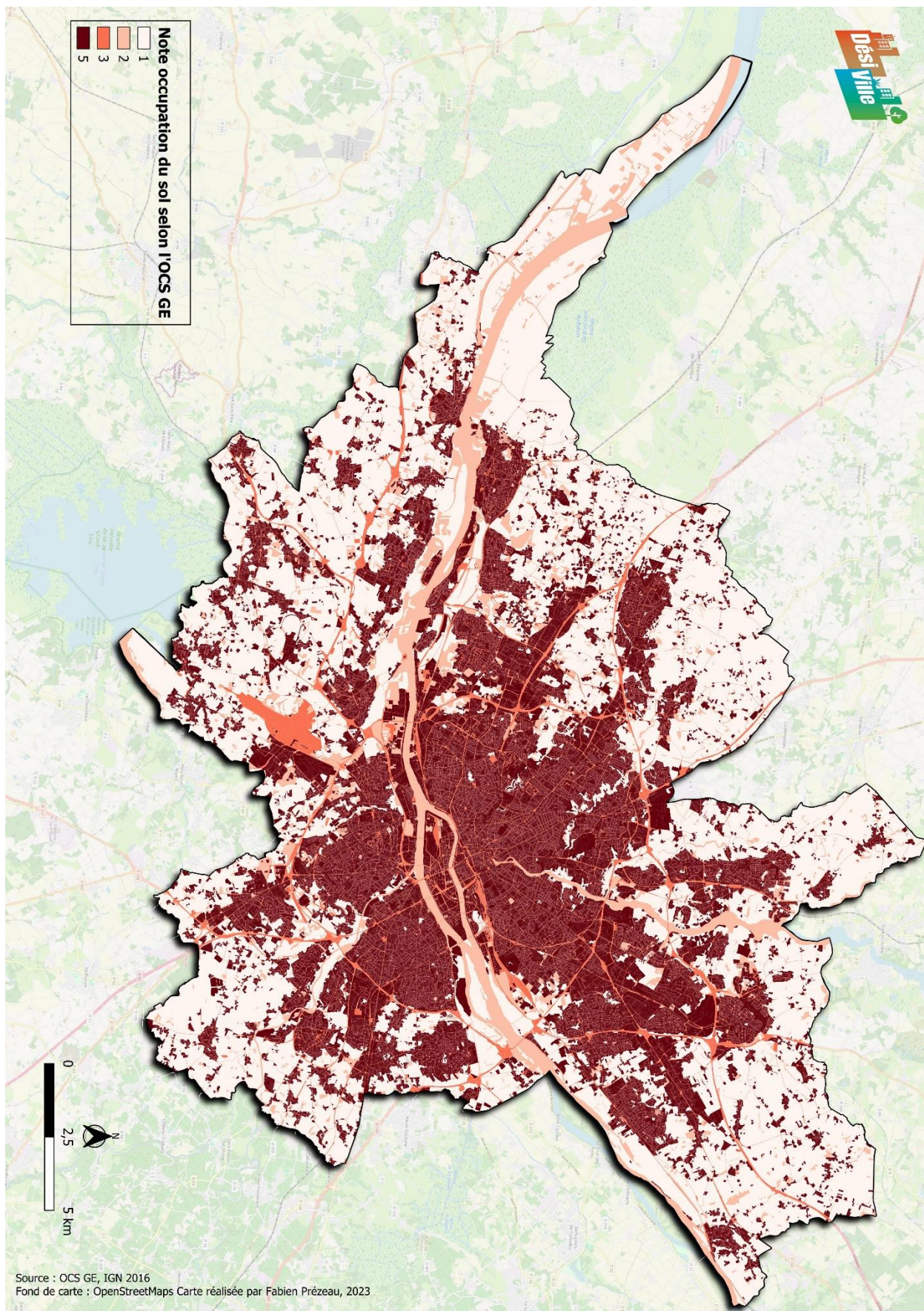
9.11. Présentation des classes de zones climatiques locales (LCZ)

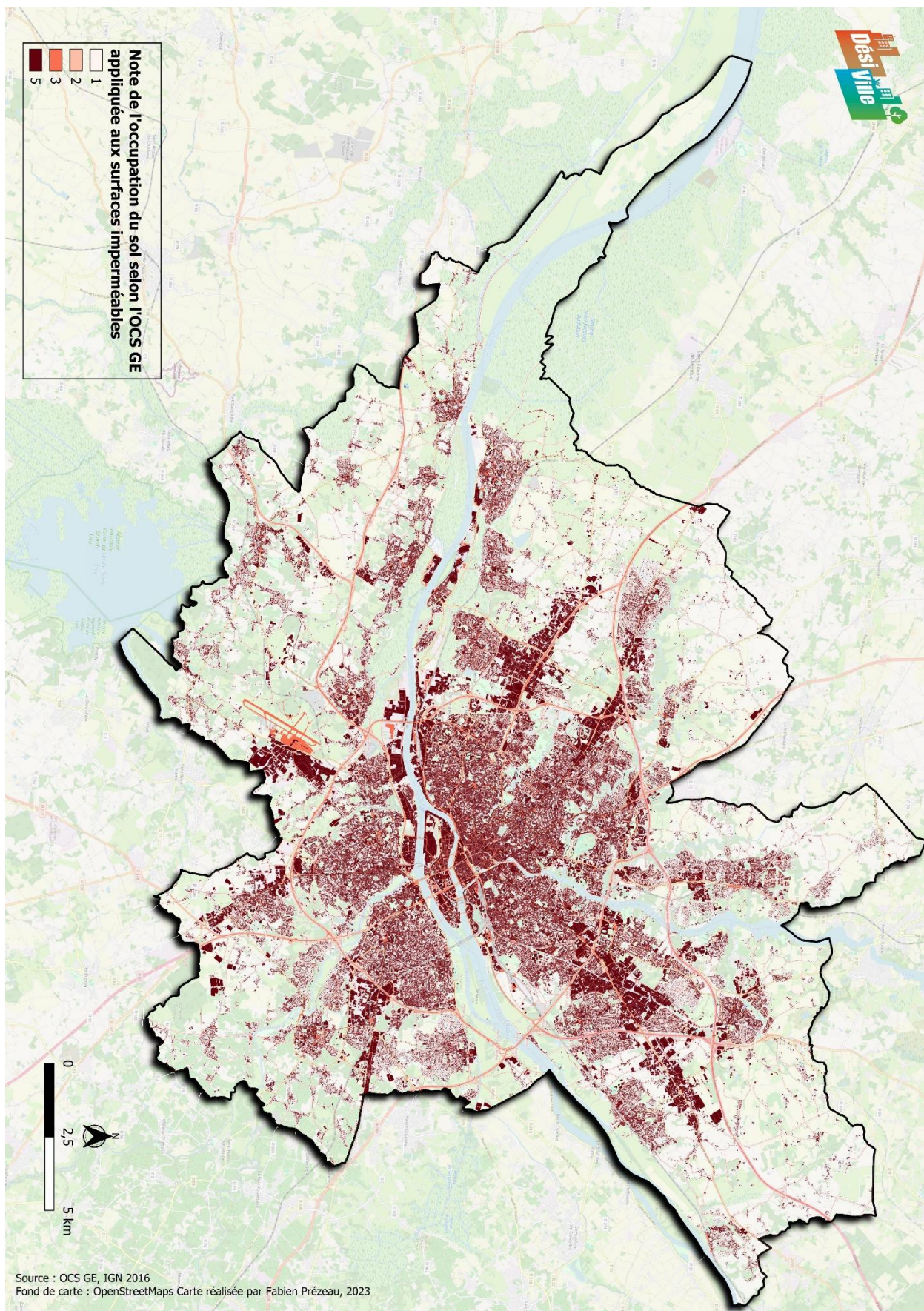
Les zones climatiques locales (LCZ)			
Stewart et Oke (2012) — Traduction Cerema			
Classes bâties	Définitions	Classes non bâties	Définitions
1. Ensemble compact de tours 	<p>Mélange dense de grands immeubles avec des dizaines d'étages. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.</p>	A. Espace densément arboré 	<p>Paysage fortement boisé composé d'arbres à feuilles caduques et/ou à feuilles persistantes. Couverture du sol principalement perméable (plantes basses). Fonction de la zone : forêt, arboriculture, parc urbain.</p>
2. Ensemble compact d'immeubles 	<p>Mélange dense de bâtiments de hauteur moyenne (3 à 9 étages). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : pierre, brique, tuile, béton.</p>	B. Espace arboré clairsemé 	<p>Paysage légèrement boisé composé d'arbres à feuilles caduques et/ou à feuilles persistantes. Couverture du sol principalement perméable (plantes basses). Fonction de la zone : forêt, arboriculture, parc urbain.</p>
3. Ensemble compact de maisons 	<p>Mélange dense de bâtiments de faible hauteur (1 à 3 étages). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction : pierre, brique, tuile, béton.</p>	C. Espace végétalisé hétérogène 	<p>Buissons, arbustes et ligneux espacés. Couverture du sol principalement perméable (sol nu ou sable). Fonction de la zone : maquis, agriculture.</p>
4. Ensemble de tours espacées 	<p>Tours espacées de plus de 10 étages. Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.</p>	D. Végétation basse 	<p>Paysage plat composé d'herbe ou plantes herbacées, de cultures. Peu ou pas d'arbres. Fonction de la zone : prairie, agriculture, parc urbain.</p>
5. Ensemble d'immeubles espacés 	<p>Bâtiments de hauteur moyenne espacés (3 à 9 étages). Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : béton, acier, pierre, verre.</p>	E. Sol imperméable naturel ou artificiel 	<p>Paysage plat rocheux ou revêtu. Peu ou pas d'arbres ou de plantes. Fonction de la zone : désert naturel (roche) ou route.</p>
6. Ensemble de maisons espacées 	<p>Bâtiments de faible hauteur espacés (1 à 3 étages). Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars). Matériaux de construction : bois, brique, pierre, tuile, béton.</p>	F. Sol nu 	<p>Paysage plat composé de sol nu ou de sable. Peu ou pas d'arbres ou de plantes. Fonction de la zone : désert naturel ou agriculture.</p>
7. Ensemble dense de maisons ou constructions légères 	<p>Mélange dense de bâtiments à un étage. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement compacté. Matériaux de construction légers : bois, chaume, tôle ondulé, etc.</p>	G. Eau 	<p>Plans d'eau (mers, lacs, rivières, bassins, lagons).</p>
8. Bâtiments bas de grande emprise 	<p>Bâtiments bas (1 à 3 étages) de grande emprise, et espacés. Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu. Matériaux de construction en acier, béton, métal et pierre.</p>	10. Industrie lourde 	<p>Structure industrielle basse ou de hauteur moyenne (tours, réservoirs, cheminées). Peu ou pas d'arbres. Sol principalement revêtu ou compacté. Matériaux de construction : métal, acier, béton.</p>
9. Implantation diffuse et espacée de maisons 	<p>Bâtiments de petite ou moyenne hauteur et éloignés dans un cadre naturel ou végétalisé. Sol perméable végétalisé en abondance (plantes basses, arbres épars).</p>		

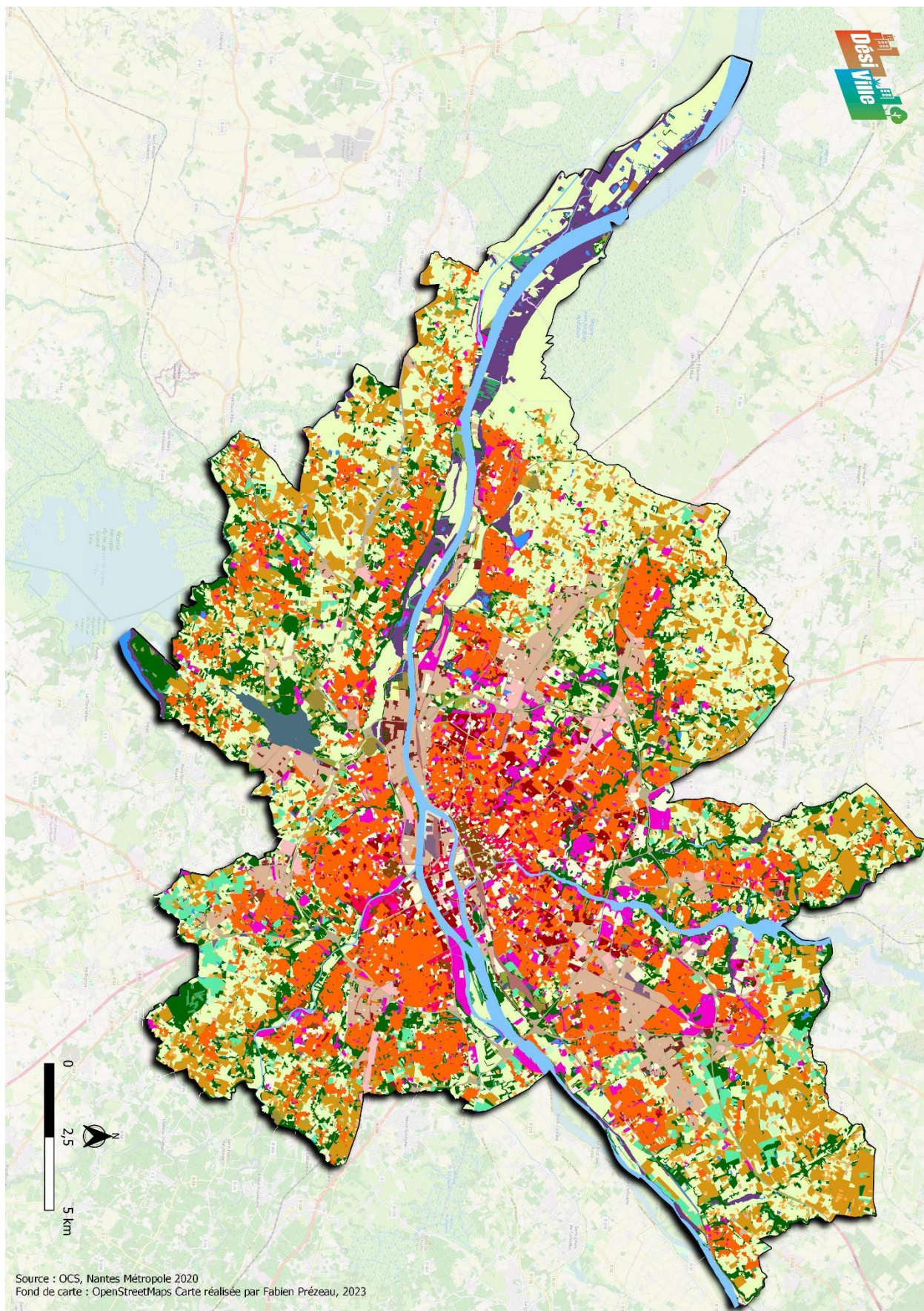


9.12. **Cartes par critère sur Nantes Métropole pour la thématique des caractéristiques des surfaces imperméables**







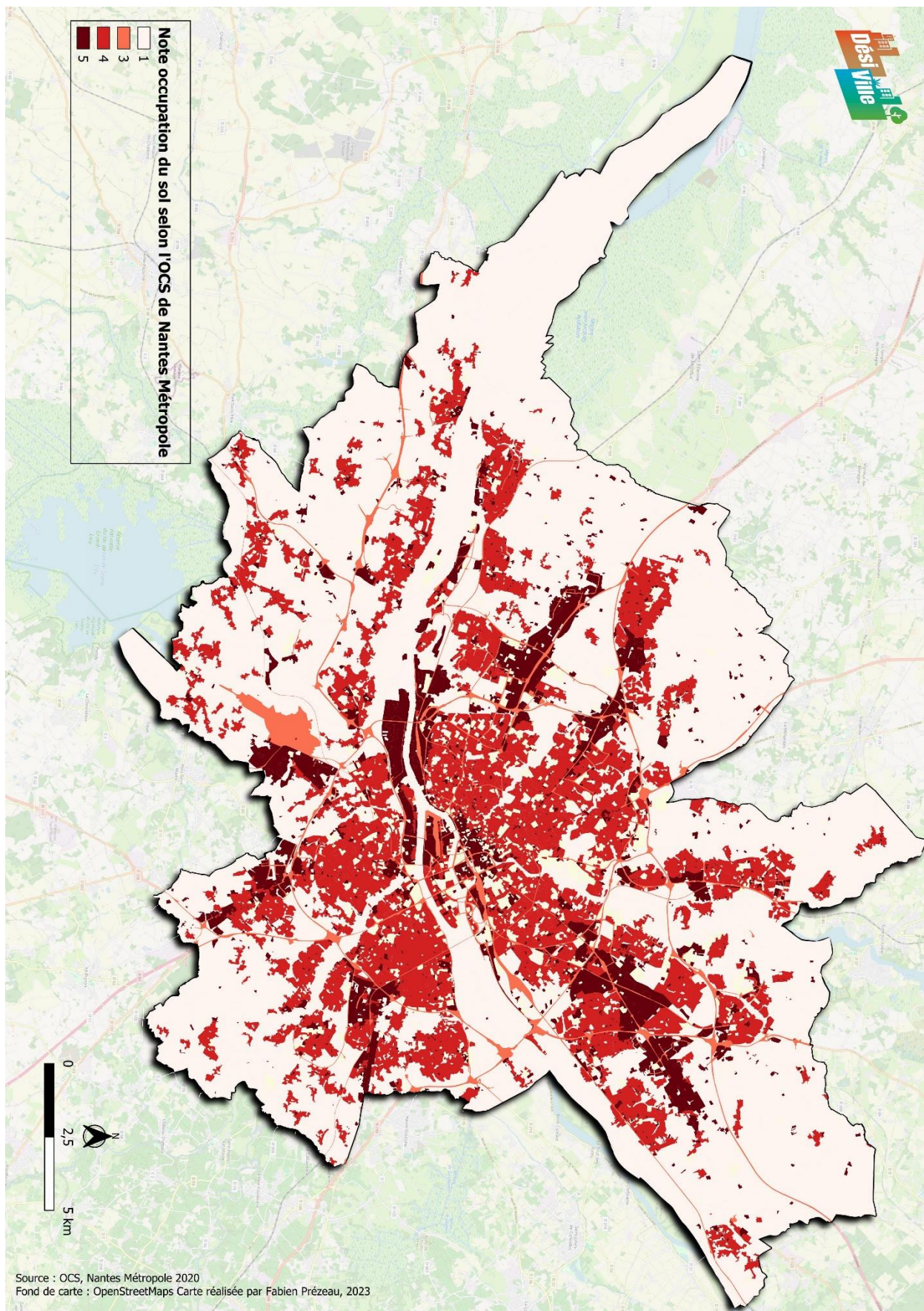


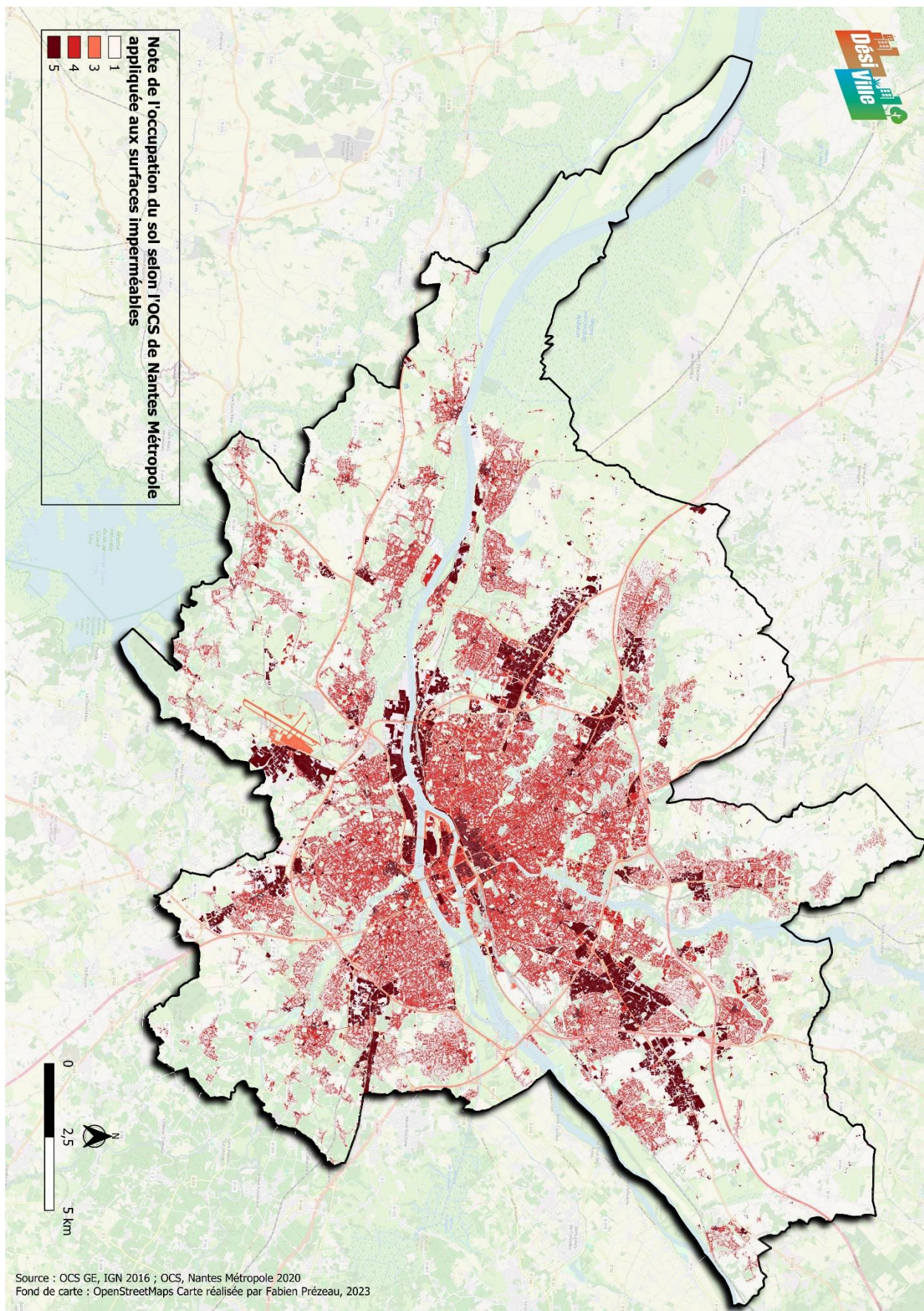
Source : OCS, Nantes Métropole 2020
Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023

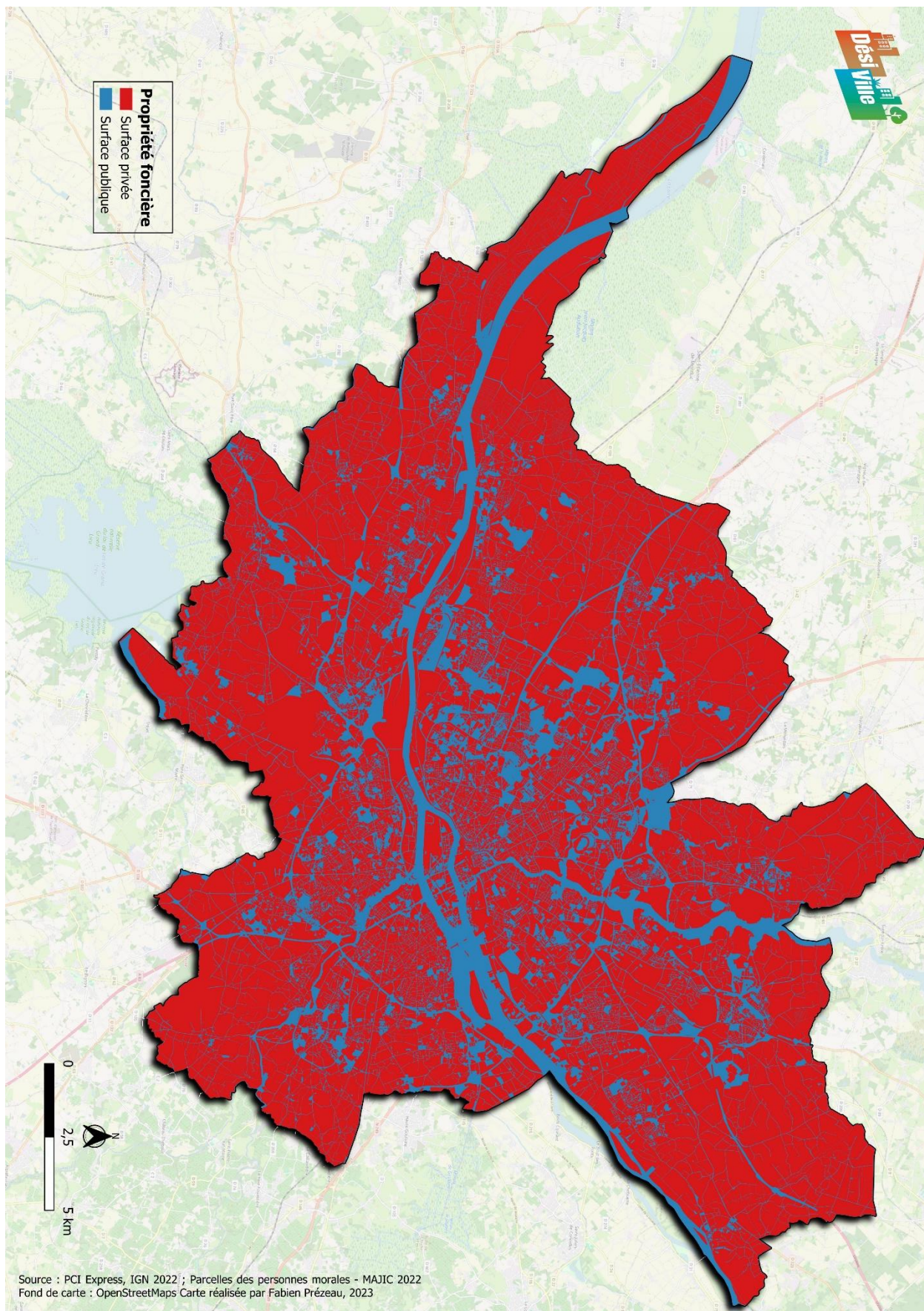


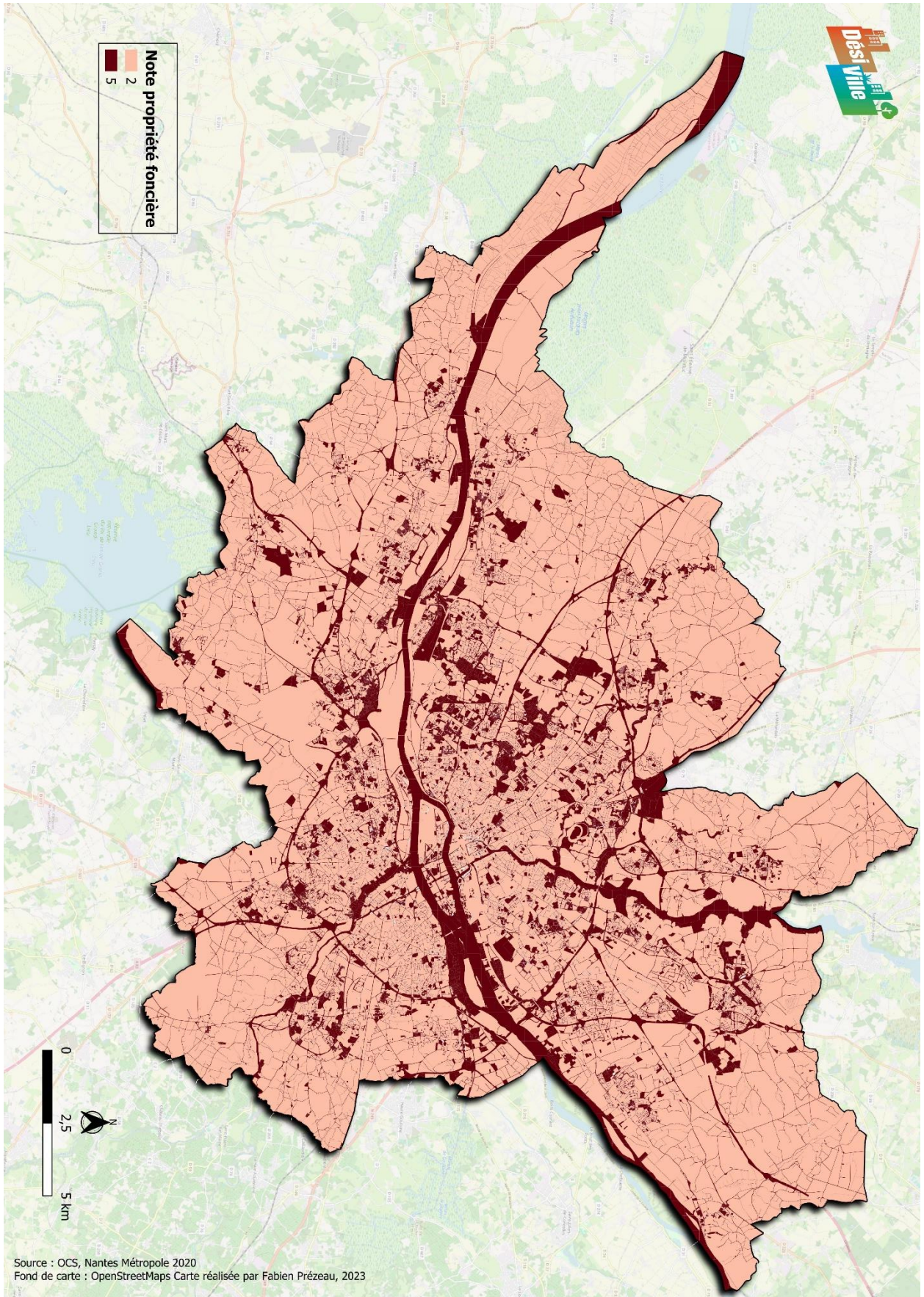
- Occupation du sol selon l'OCS de Nantes Métropole**
- Arboriculture, pépinières
 - Boies et étiers
 - Bois et forêts
 - Campings, caravaning
 - Carières, sablières
 - Centre bourg, centre-ville
 - Charrier, terrains en mutation
 - Cultures annuelles et terres labourées
 - Décharges
 - Emprises aéronautiques
 - Emprises ferroviaires
 - Emprises routières
 - Equipements sportifs et de loisirs
 - Friche
 - Grands services urbains : eau, assainissement, électricité, écoles, santé
 - Habitat collectif
 - Habitat mixte (individuel et collectif)
 - Habitat pavillonnaire
 - Hameau rural
 - Lande et broussailles
 - Maraîchage, horticulture
 - Mérisis, marécages, tourbières
 - Percs et jardins urbains
 - Plage, sable et dunes
 - Plans d'eau et étangs
 - Prairies naturelles
 - Rivières et cours d'eau divers (canaux, etc.)
 - Rosellères
 - Surfaces commerciales
 - Sylviculture et peupleraies
 - Terrains vacants et friches urbaines
 - Vignoble
 - Zones d'activités
 - Zones portuaires

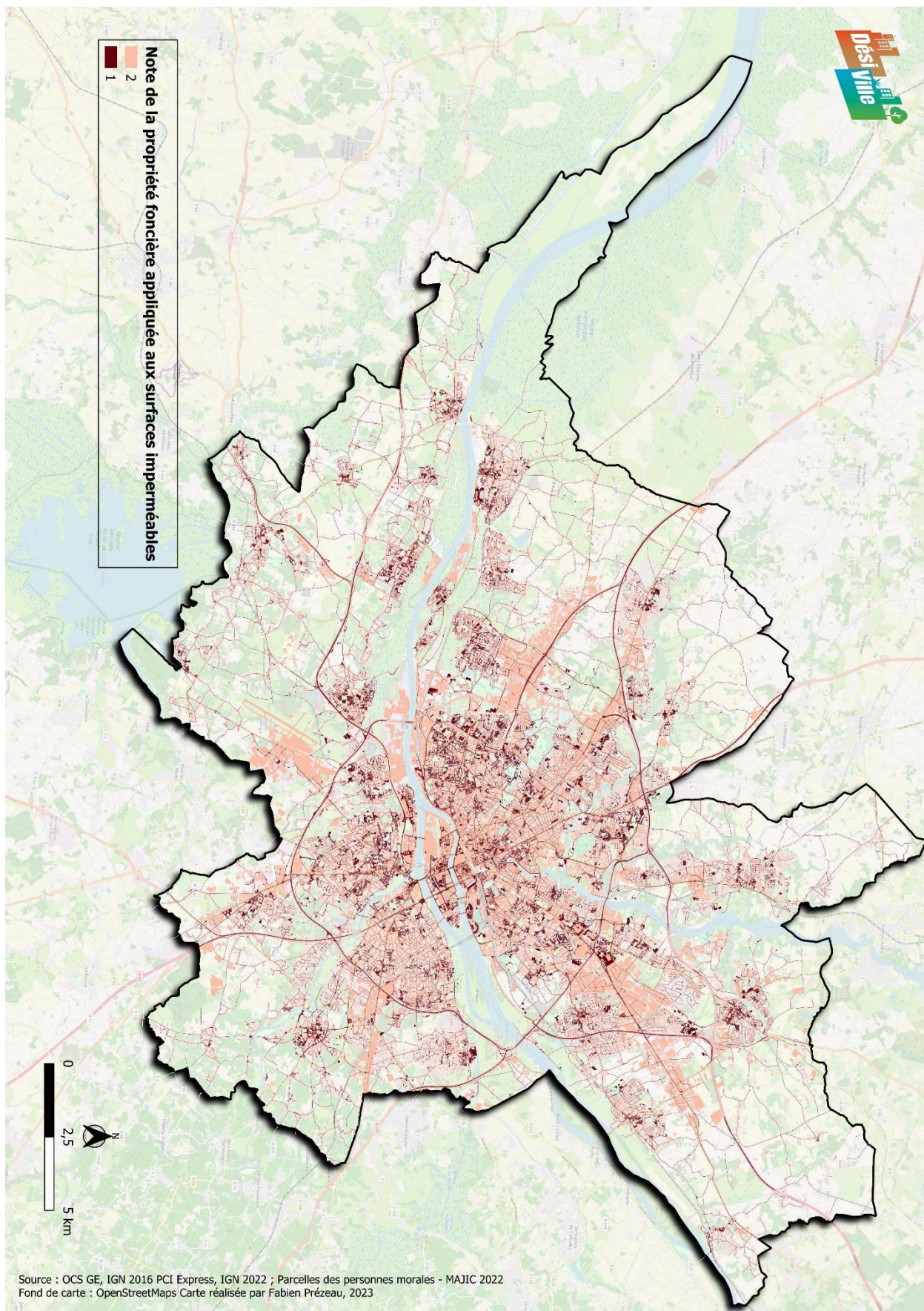


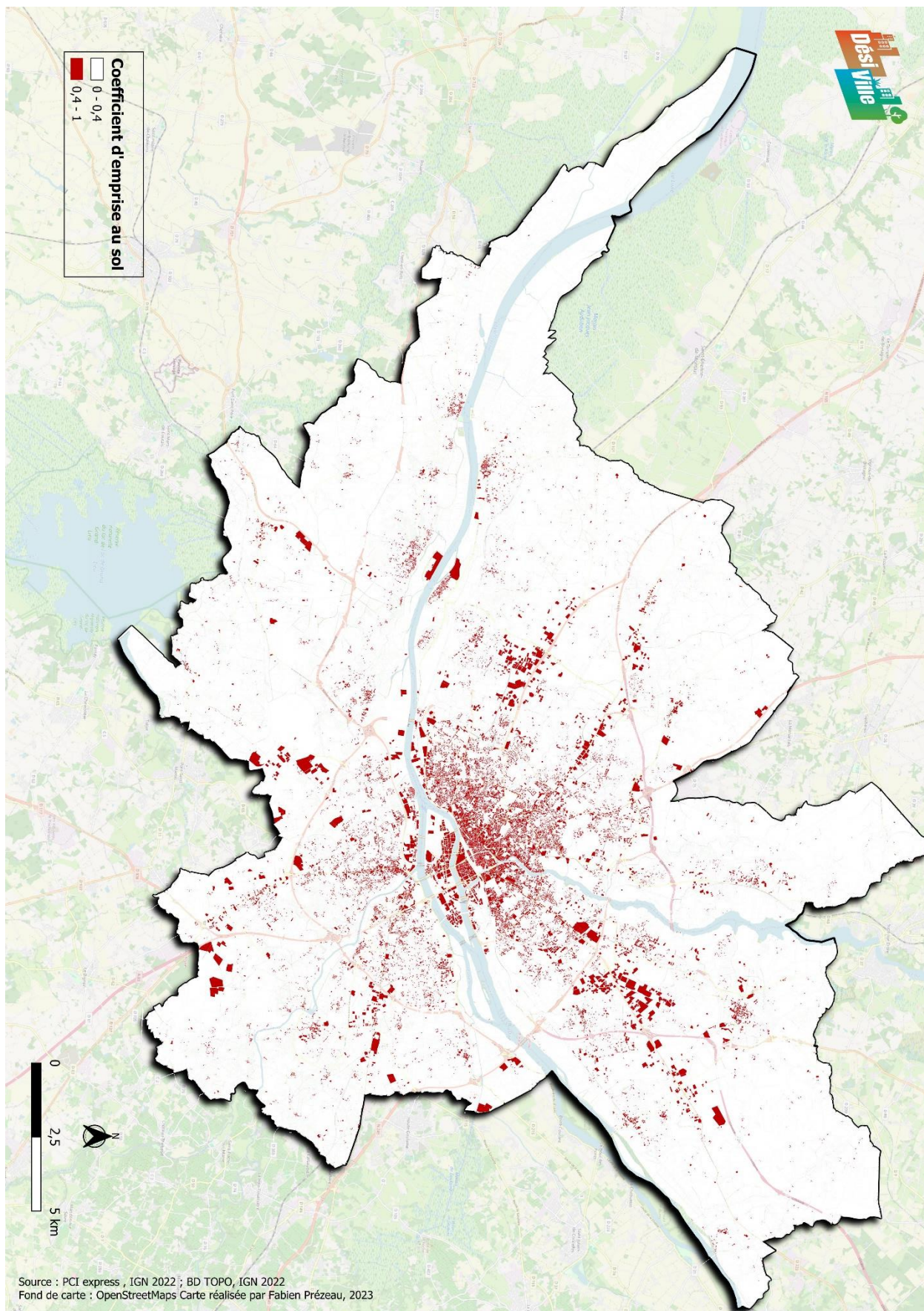


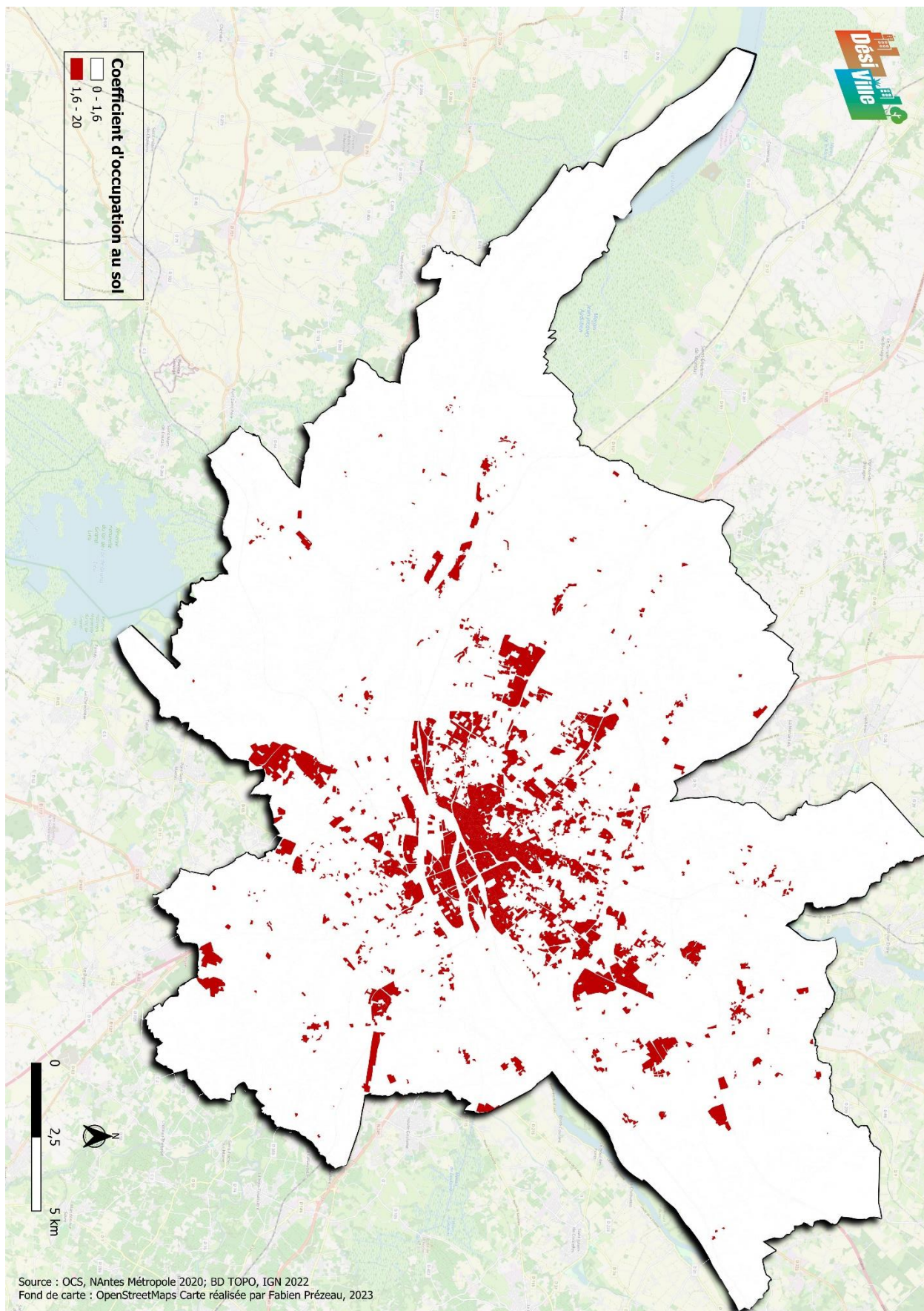


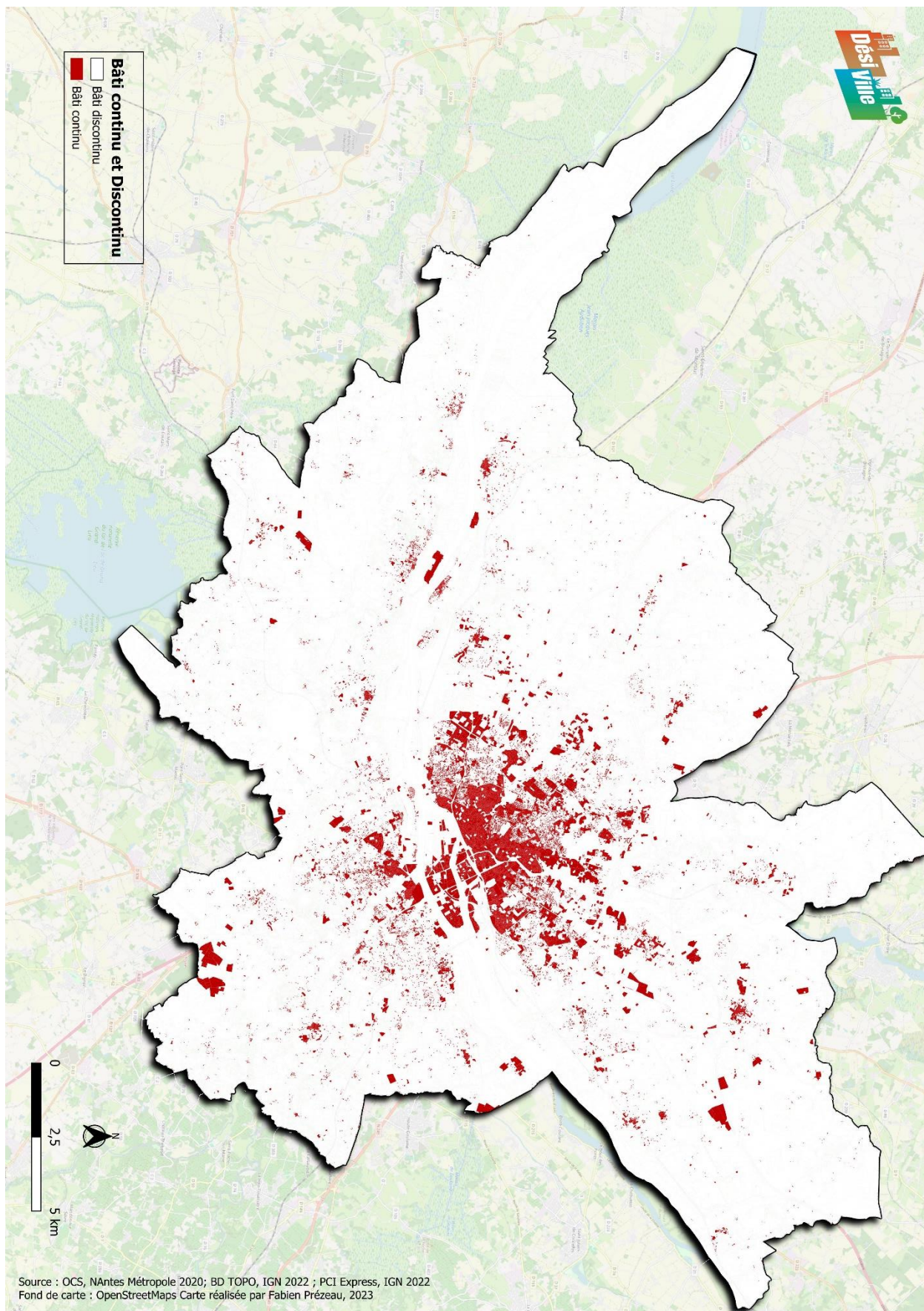


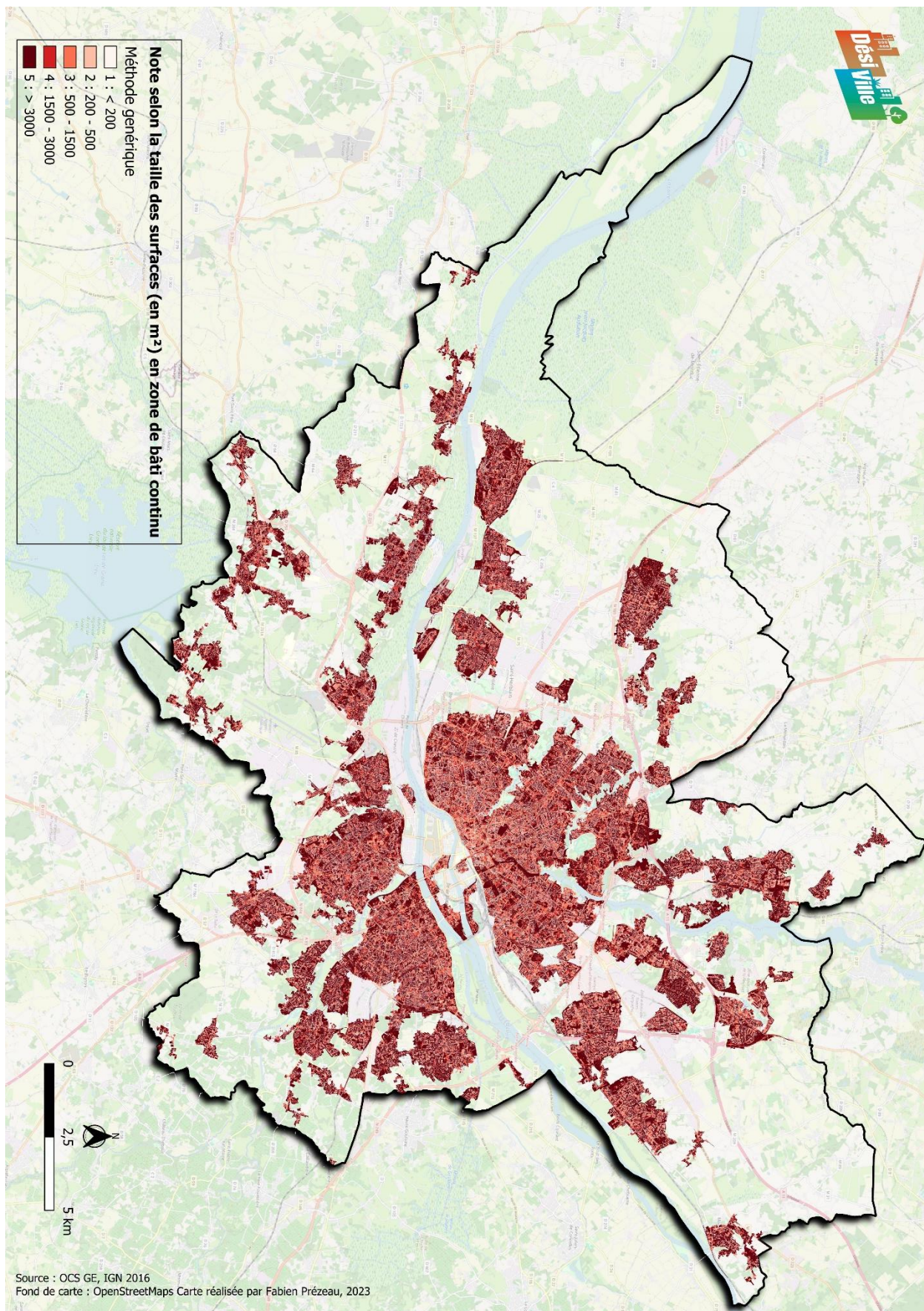


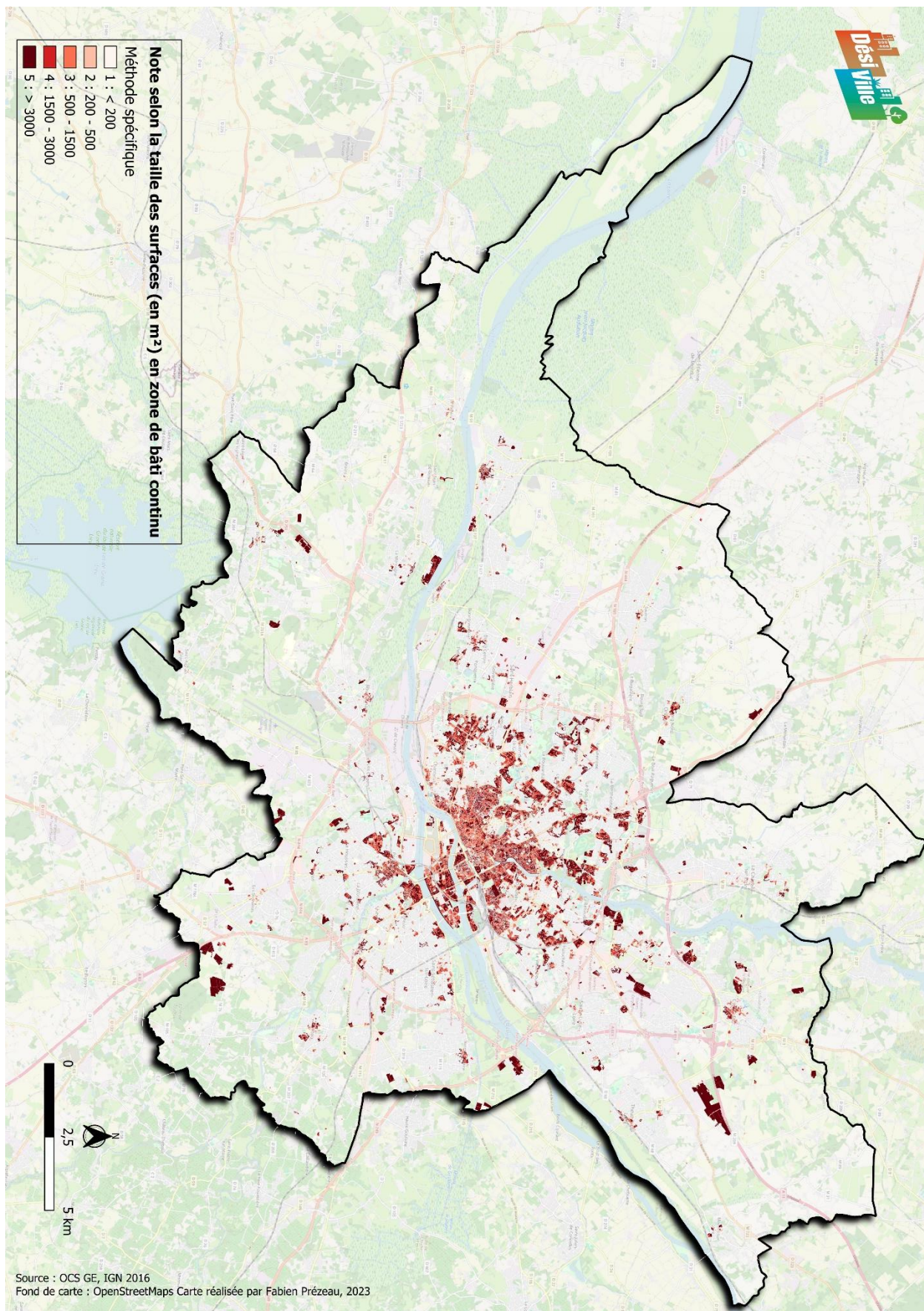


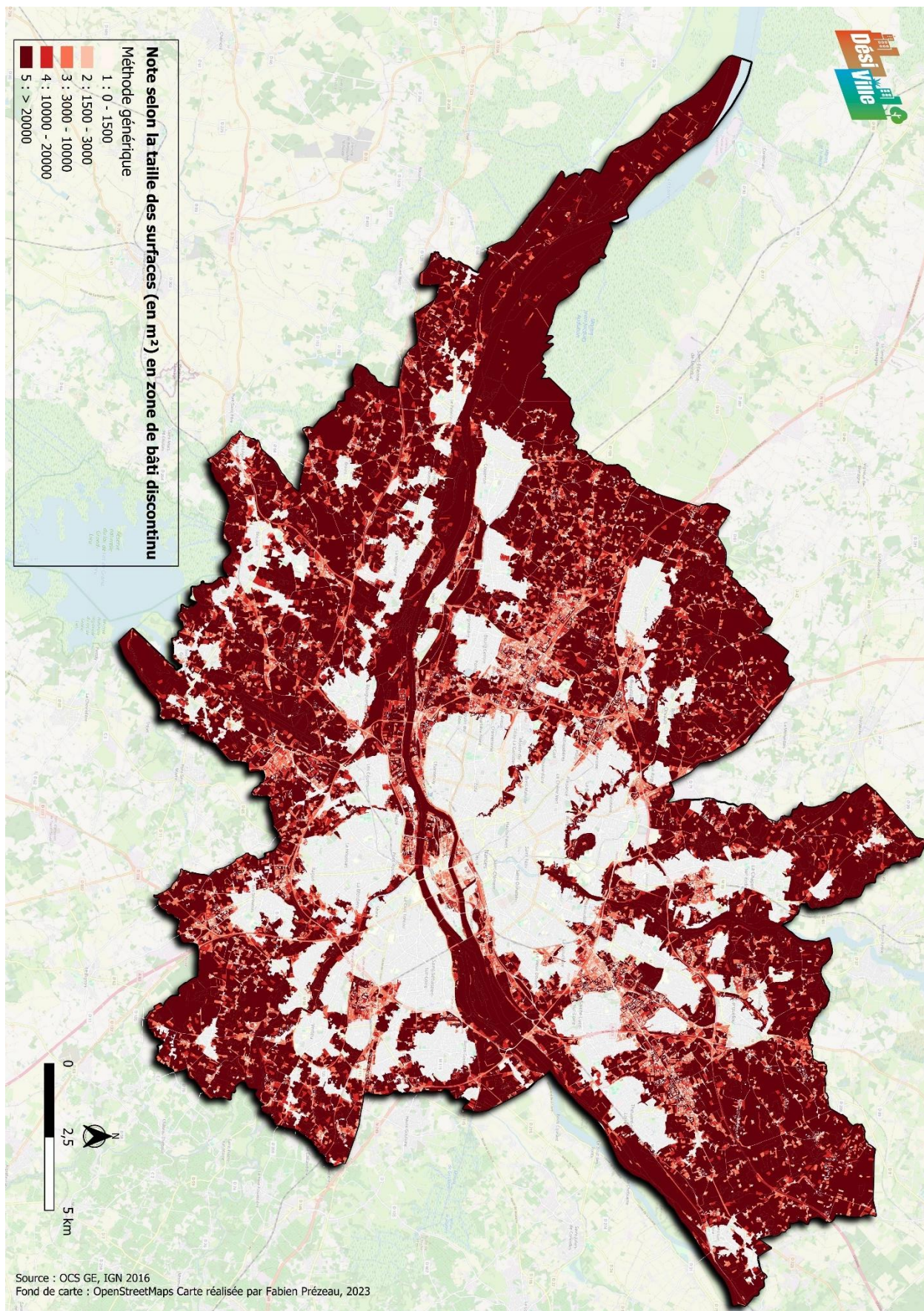


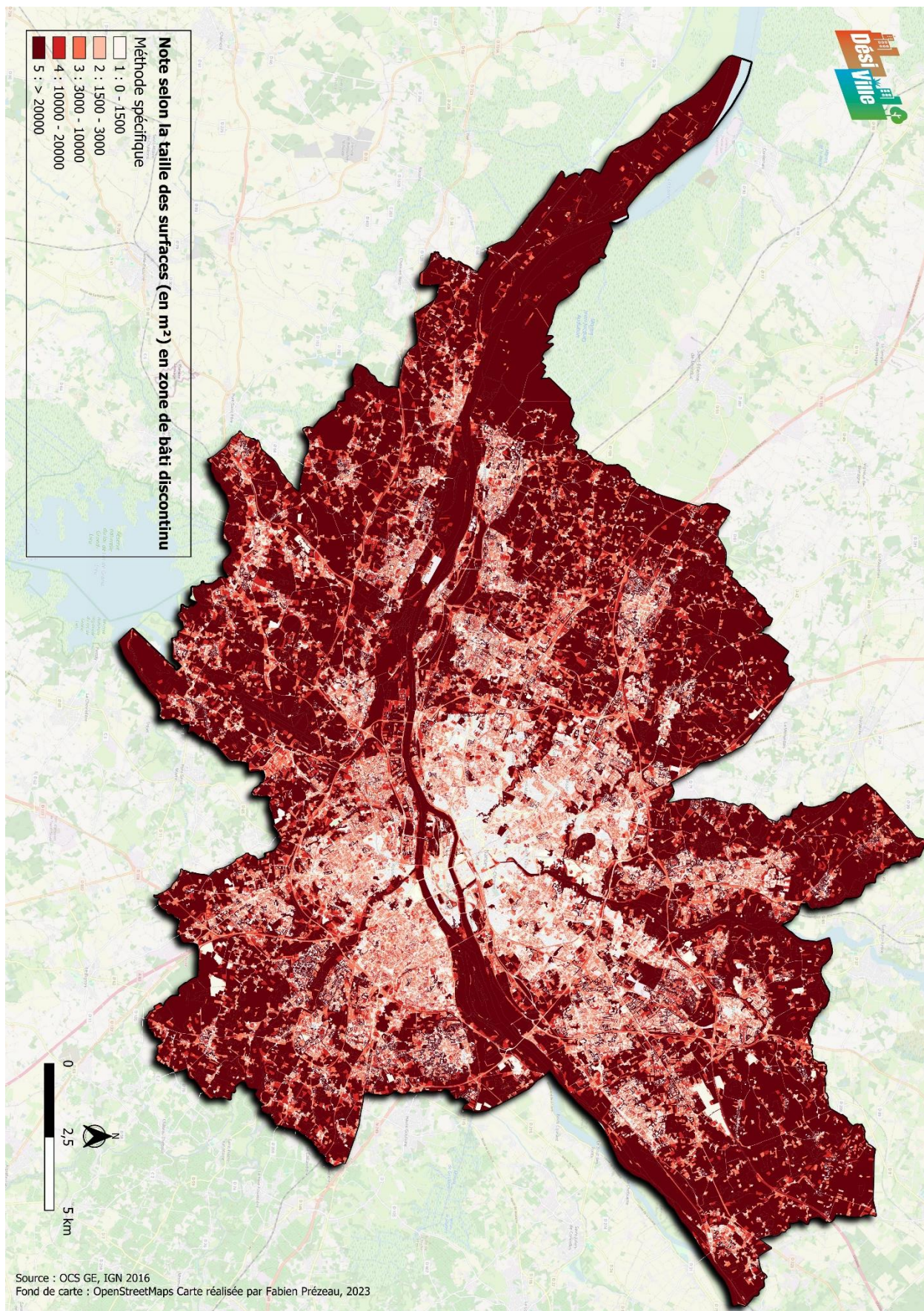


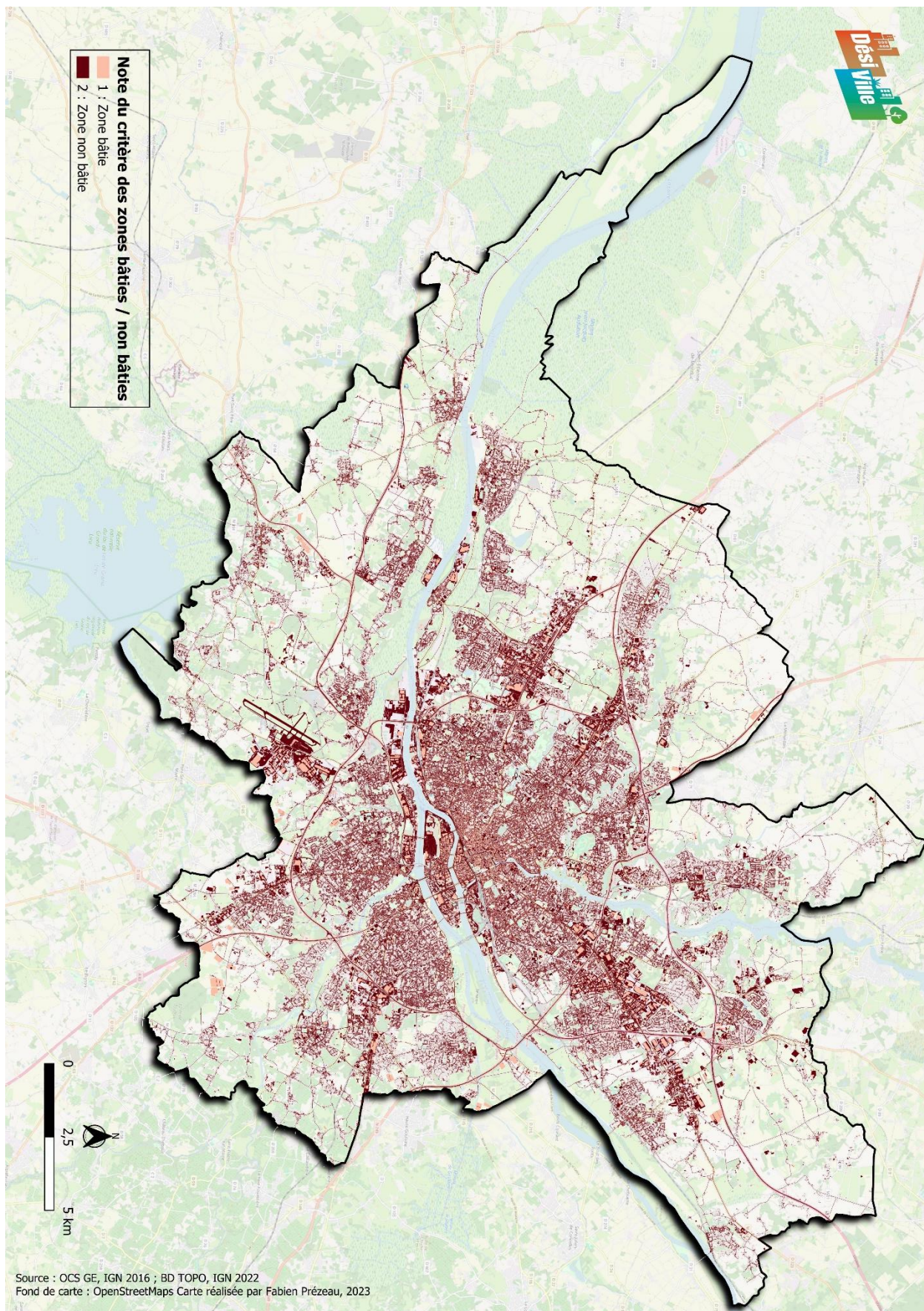








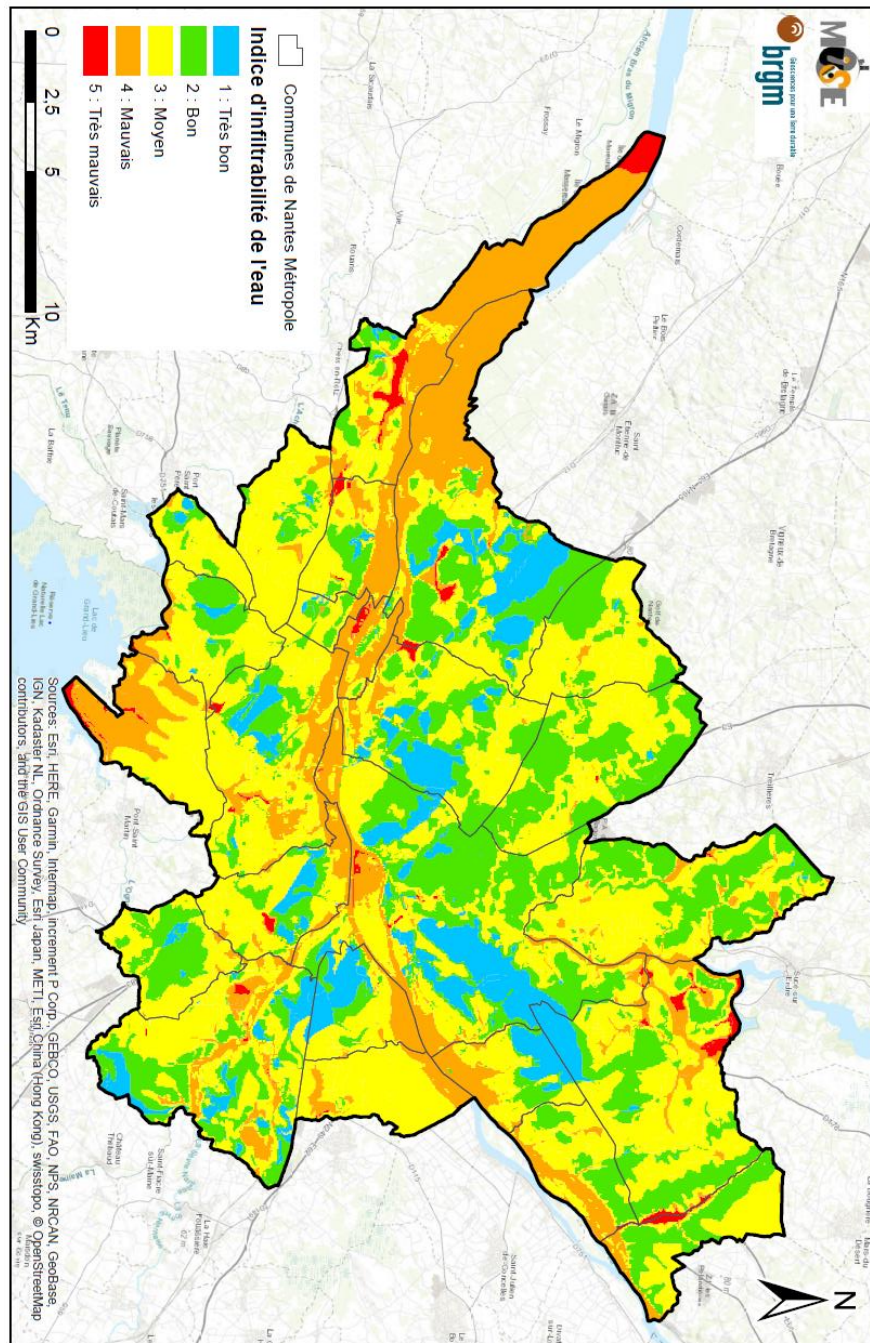




9.13. Cartes d'infiltrabilité intrinsèque du sol sur Nantes Métropole

La carte d'infiltrabilité intrinsèque du sol disponible sur Nantes Métropole est issue de Conil et Plat (2015). La méthode utilisée, qui a servi de base à l'élaboration de la méthode Phoebus, apparaît simplifiée par rapport à cette dernière. Les cartes par critère sont disponibles dans le rapport d'étude. La carte ci-après correspond à une version retravaillée dans le cadre du projet MUSE (Branchu et al, 2021) par T. Leroi (2019) pour représenter 5 classes d'infiltrabilité.

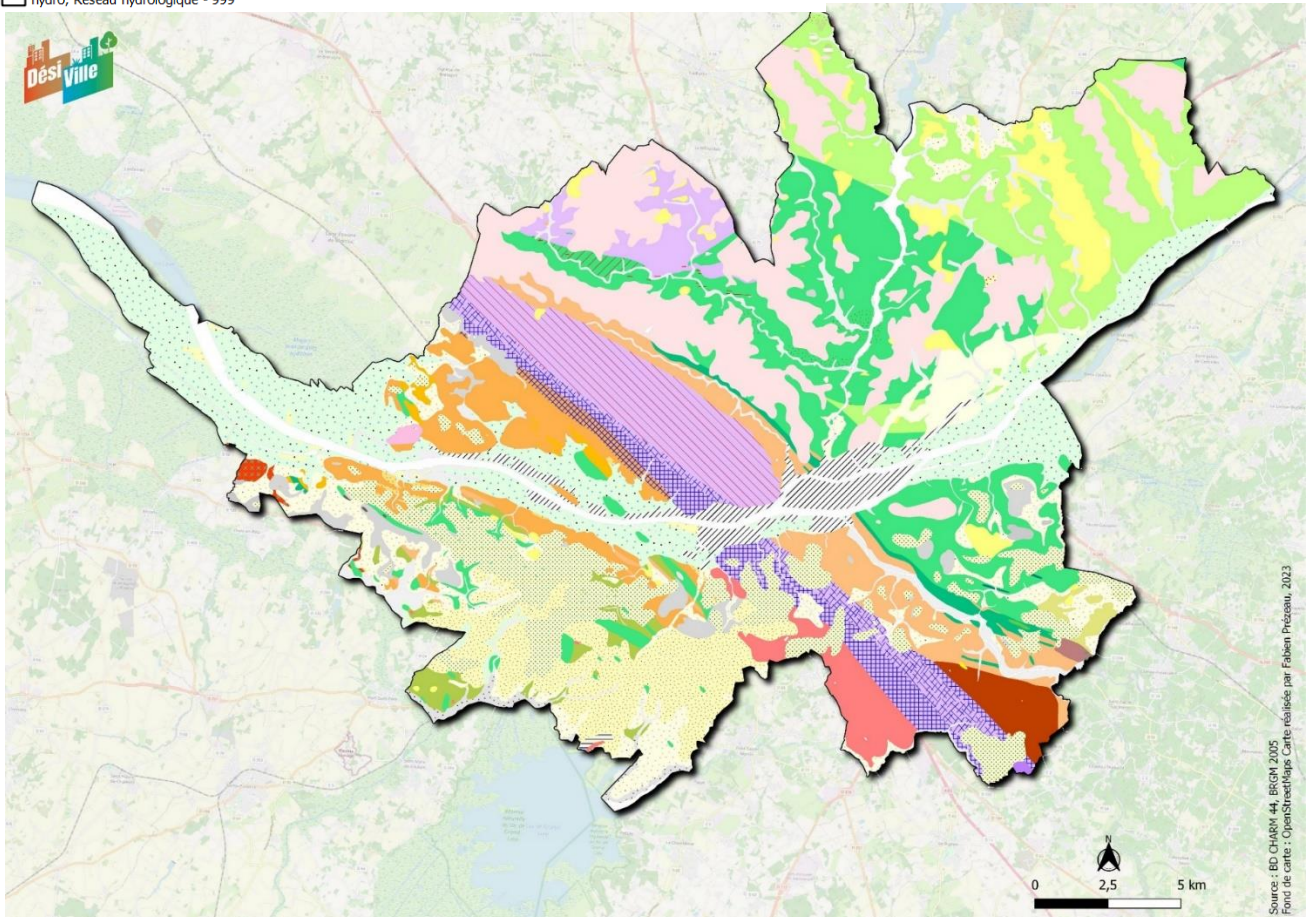
Conil P. et Plat E. (2015). Aptitude des sols à l'infiltration des eaux pluviales sur le territoire de Nantes Métropole. Rapport final BRGM/RP-65025-FR, 63 p., 32 ill., 2 ann.

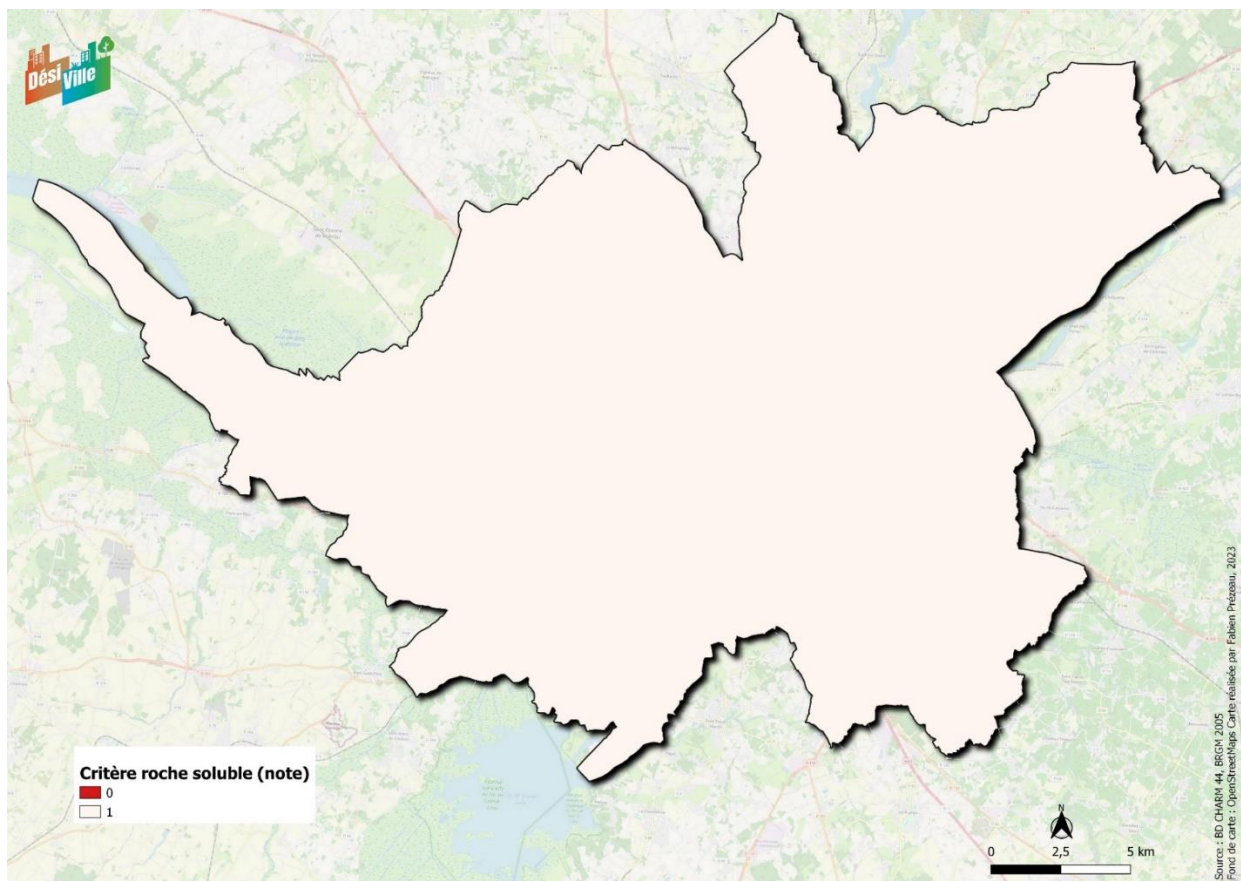


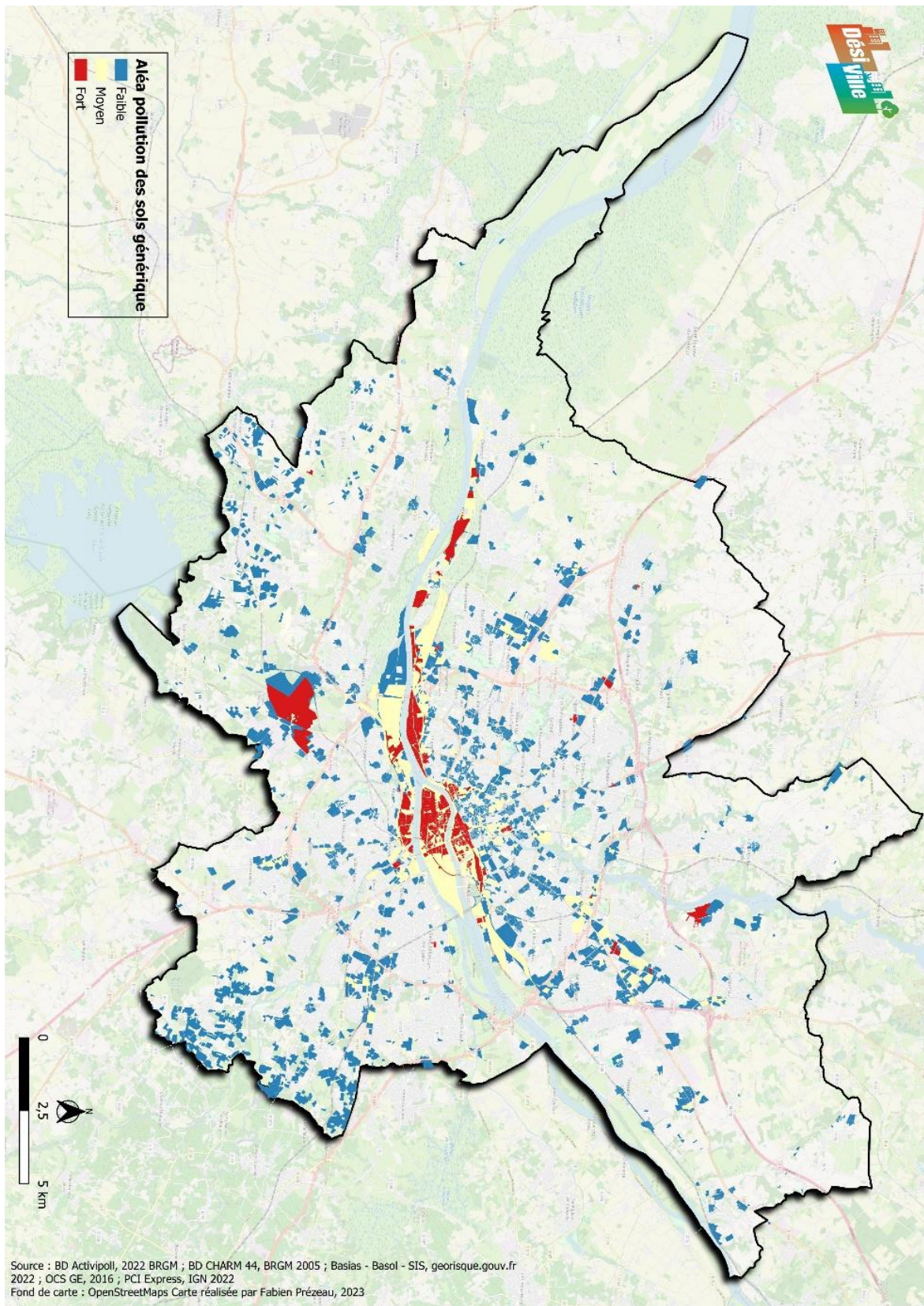
9.14. Cartes par critère sur Nantes métropole pour la thématique des contraintes environnementales

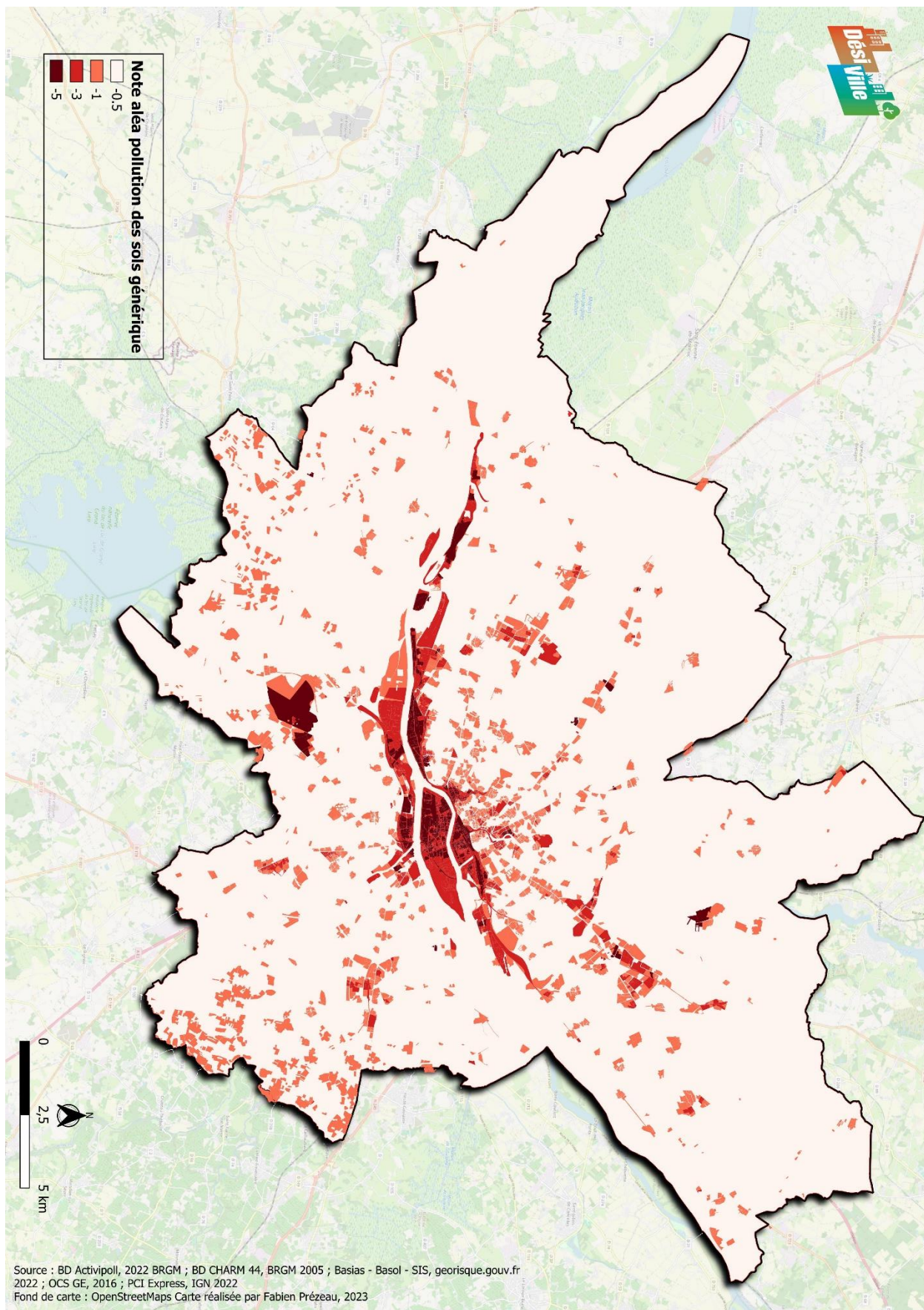
Formations géologiques (remblais en hachurés)

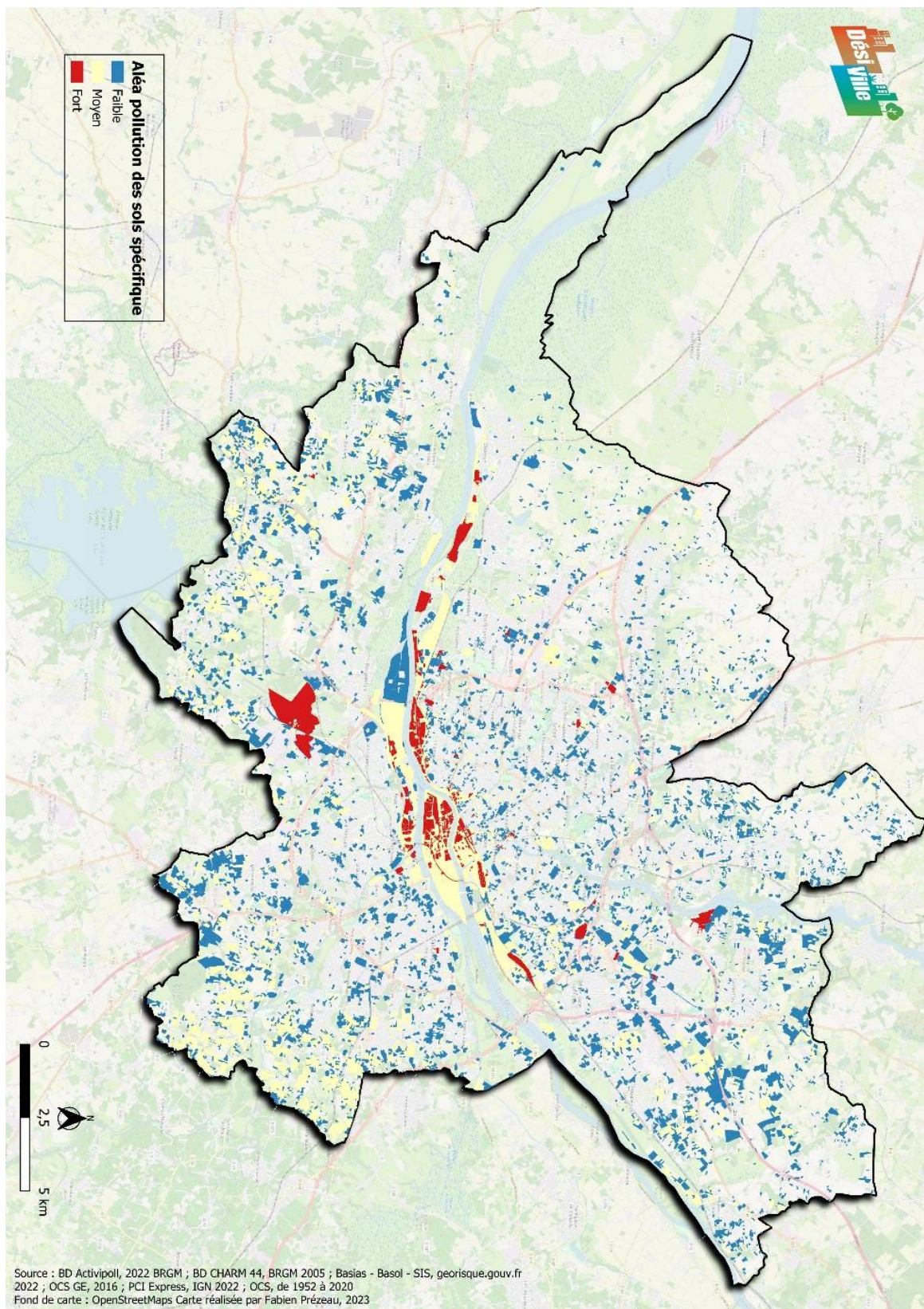
- œäLaR, Formation du Landreau, Orthogneiss ocellé de La Ramée - 366
- Ù, Péridotites, serpentinites - 380
- íCh, Formation de Champtoceaux, leptynites à biotite et muscovite - 383
- kCe, Formation du Cellier, enclaves de cornéennes - 394
- řMv2, Formation de Mauves-sur-Loire, micaschistes albitiques à muscovite et chlorite - 398
- řgrMv2, Formation de Mauves-sur-Loire, micaschistes albitiques, passées riches en grenat - 399
- řMv1, Formation de Mauves-sur-Loire, micaschistes albitiques à biotite et muscovite - 400
- æřMv1, Formation de Mauves-sur-Loire, micaschistes albitiques à biotite et muscovite avec intercalations de paragneiss à digodase
- ÛMv1, Formation de Mauves-sur-Loire, micaschistes siliceux, quartzites - 402
- ãMv, Formation de Mauves-sur-Loire, amphibolites - 404
- řã1PR, Massif de Saint-Père-en-Retz, granite de Frossay, facès alcalin à biotite - 418
- ã2OB, Massifs de l'Ortay et du Bignon, granite à biotite et muscovite - 420
- řãOB, Massifs de l'Ortay et du Bignon, microgranite de Saint-Aignan-de-Grand-Lieu - 421
- æãPM, Formation du Pellerin-Montaigu, orthogneiss à biotite - 465
- æãIPM, Formation du Pellerin-Montaigu, orthogneiss ocellés leucocrates et gneiss feuilletés à muscovite - 466
- æãIPM, Formation du Pellerin-Montaigu, orthogneiss ocellés à muscovite et biotite - 467
- æãIPM, Formation du Pellerin-Montaigu, leptynites et gneiss anatectiques - 468
- myPM, Formation du Pellerin-Montaigu, mylonites hétérogènes - 469
- ãM, Formation de Montaigu, amphibolites massives - 470
- æãPa, Formation de Paimboeuf, gneiss leptynitiques à sillimanite - 471
- řSP, Formation de Saint-Paul-en-Pareds, micaschistes à biotite et grenat - 472
- æã3CAM, Formation de Chauvé-l'Angle-Mervent, orthogneiss à deux micas - 630
- Ûò, Péridotites et serpentinites - 653
- Q, Filons de quartz - 700
- Pbr1, Filons de pegmatite à béryl - 702
- Ppdl, Filons de pegmatite à lépidolite - 703
- hydro, Réseau hydrologique - 999

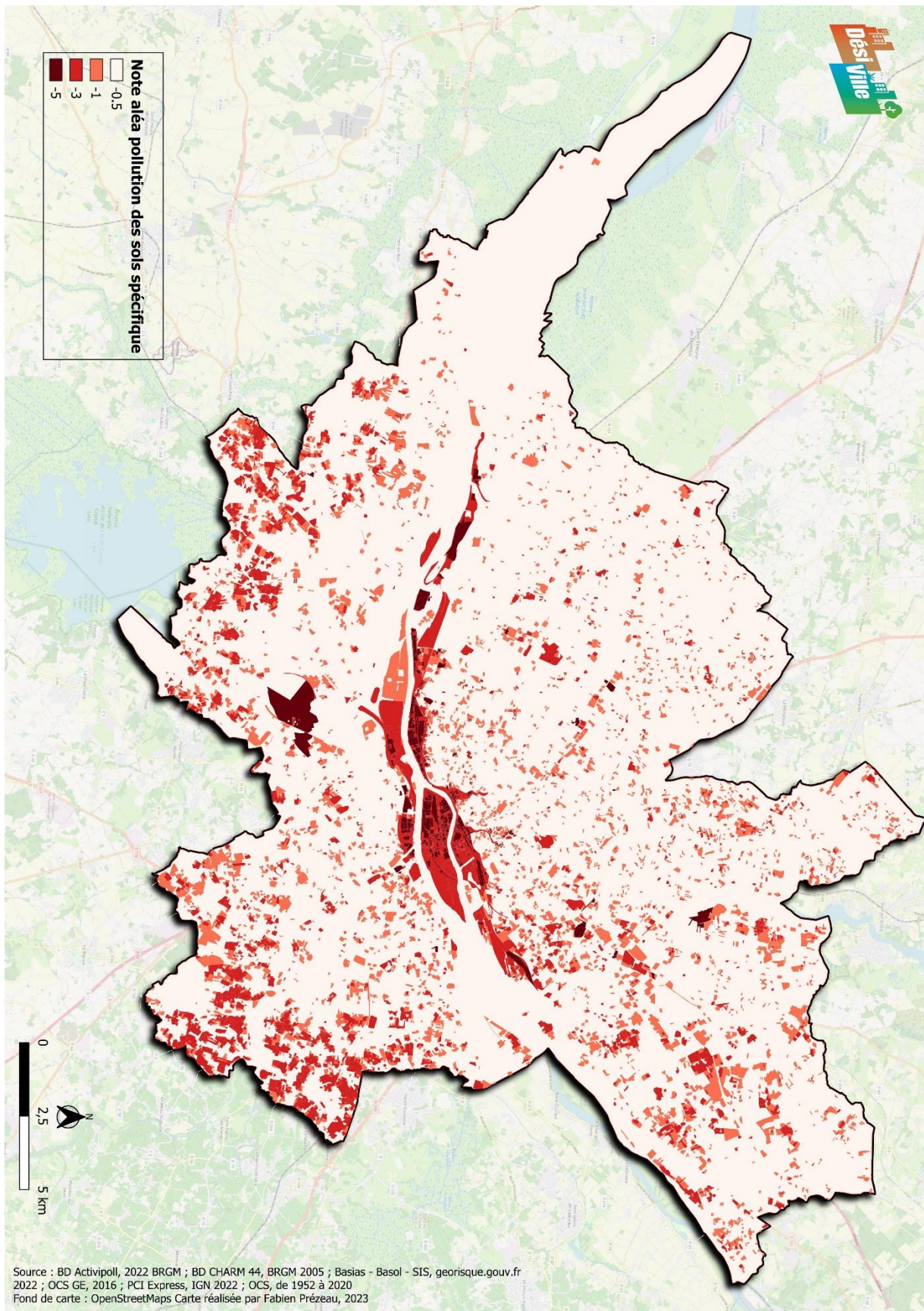


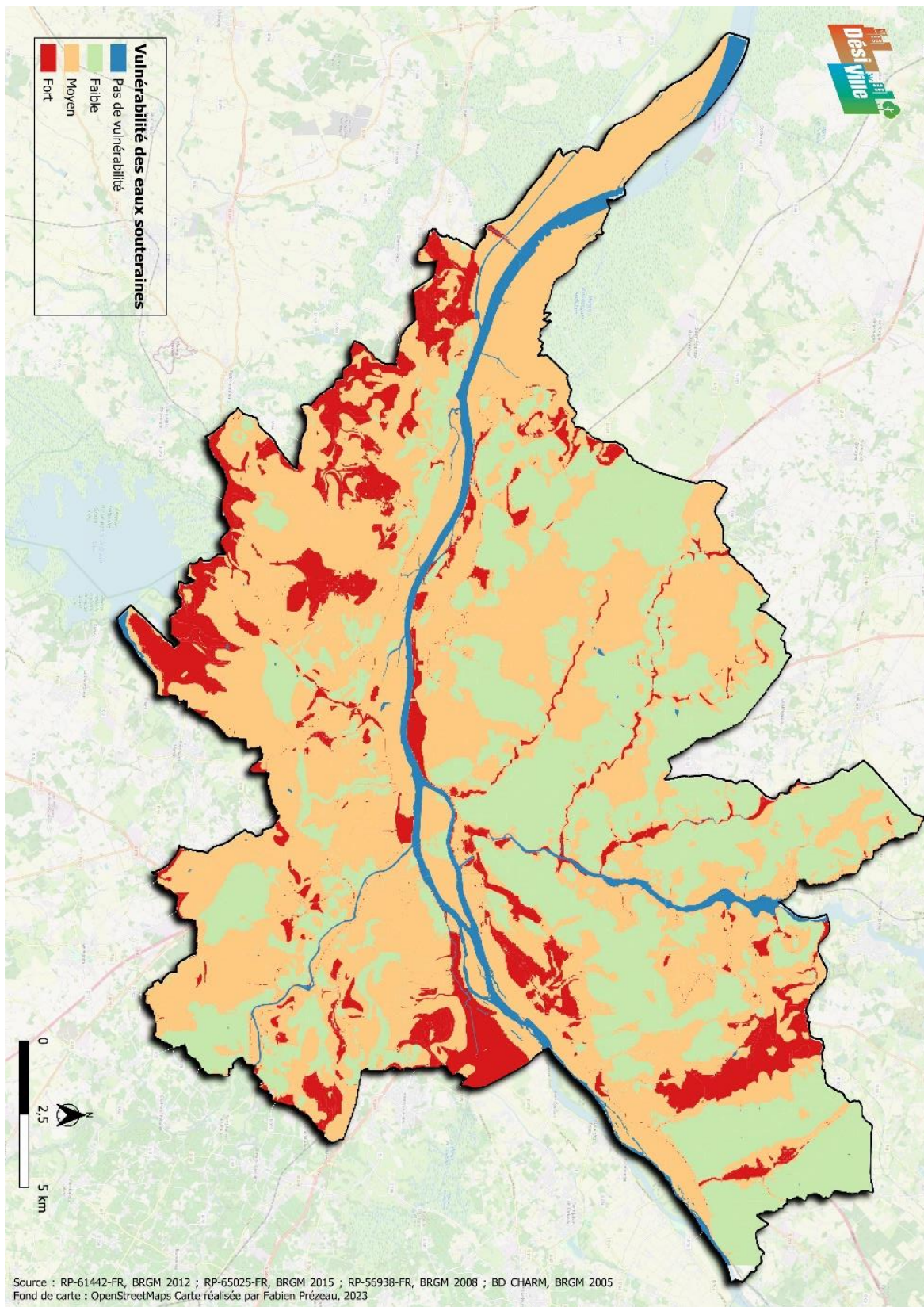


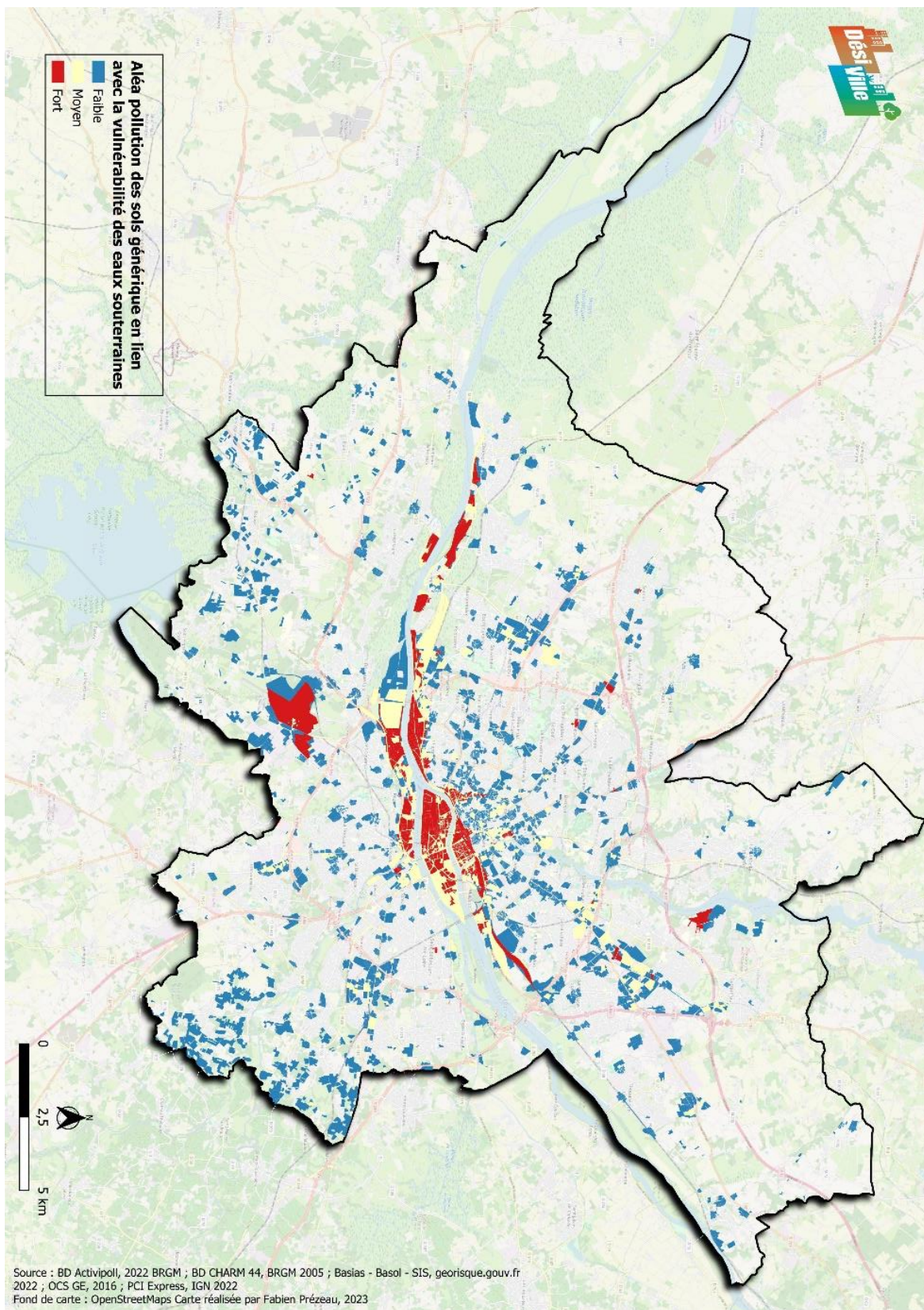


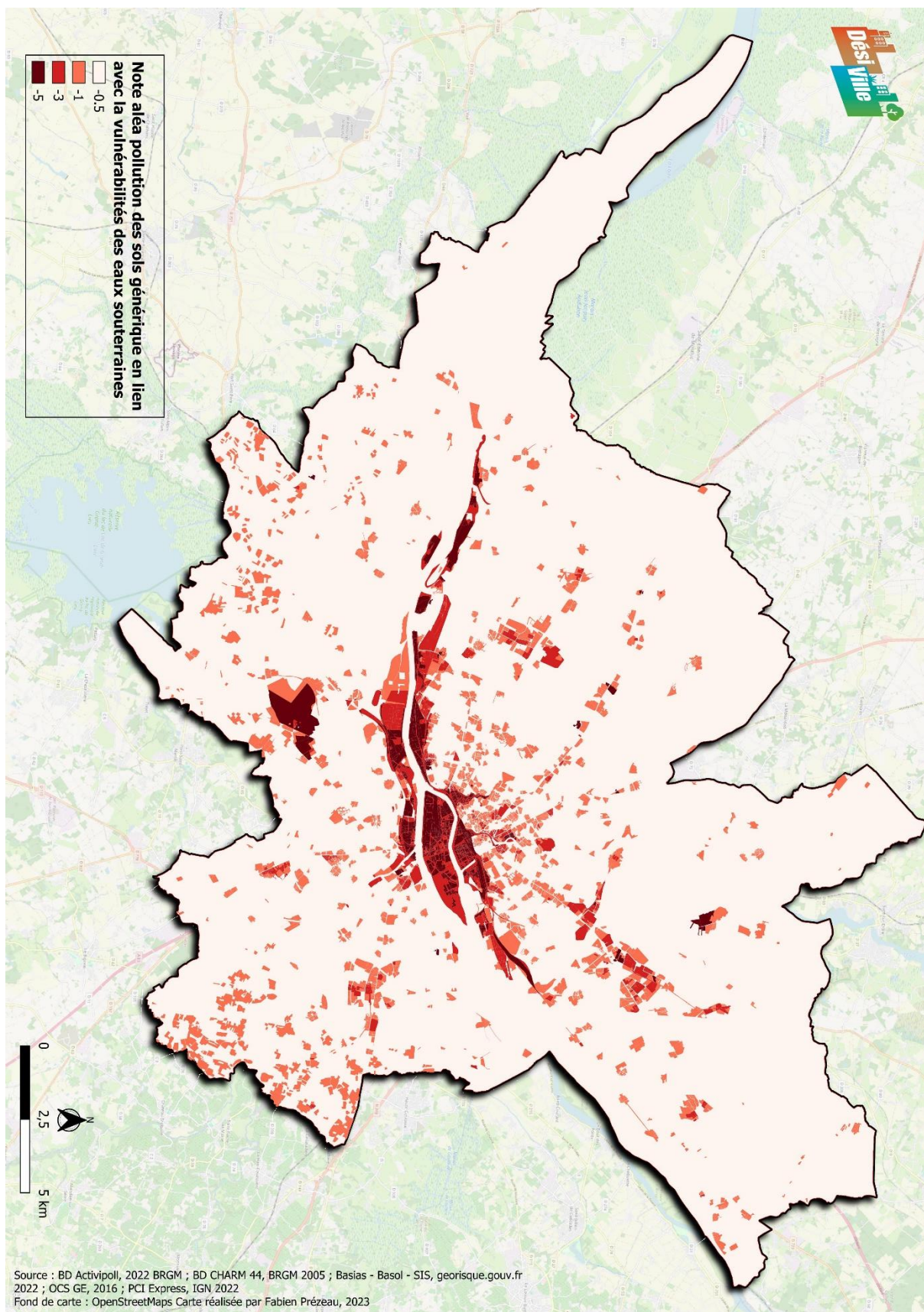


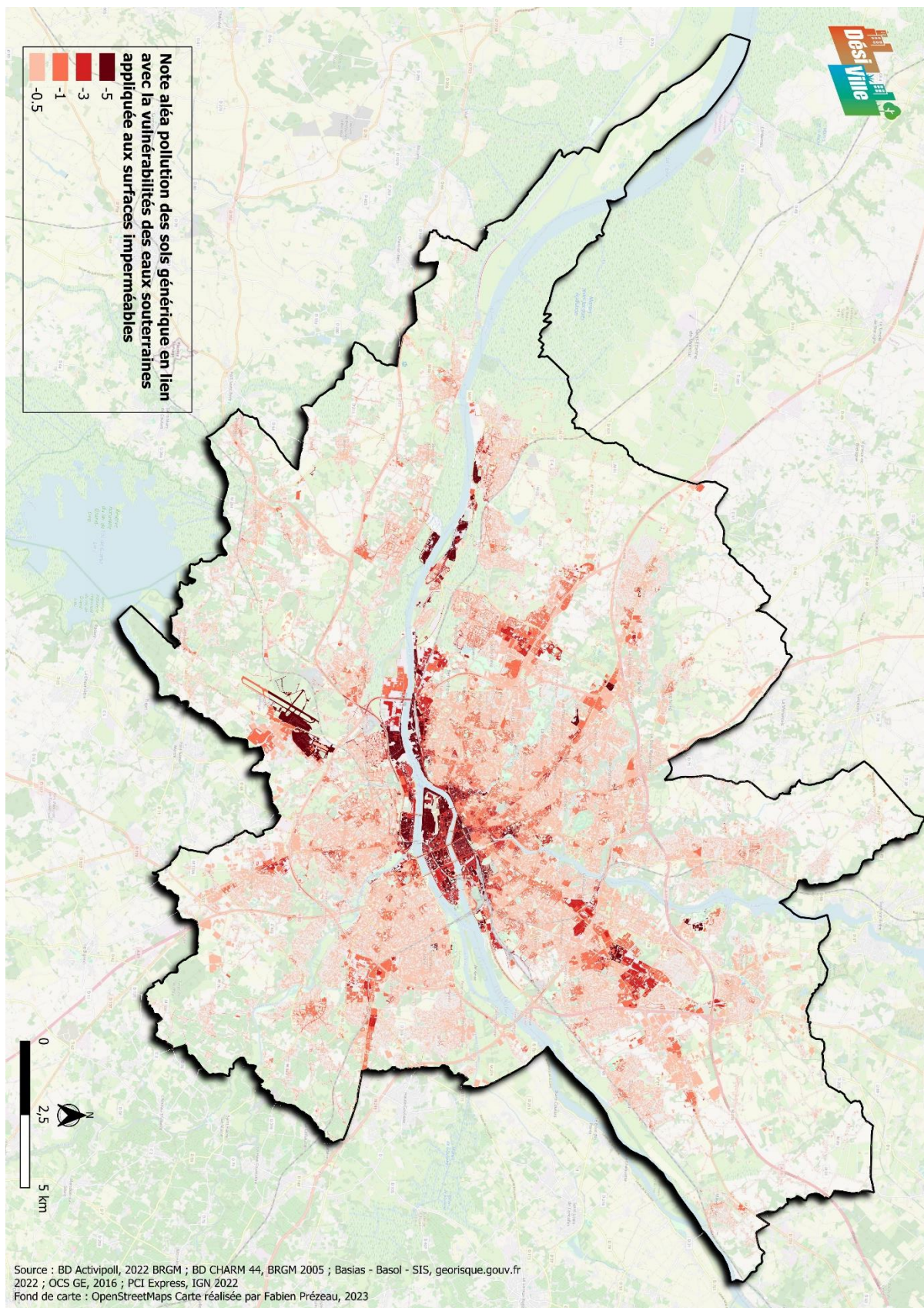


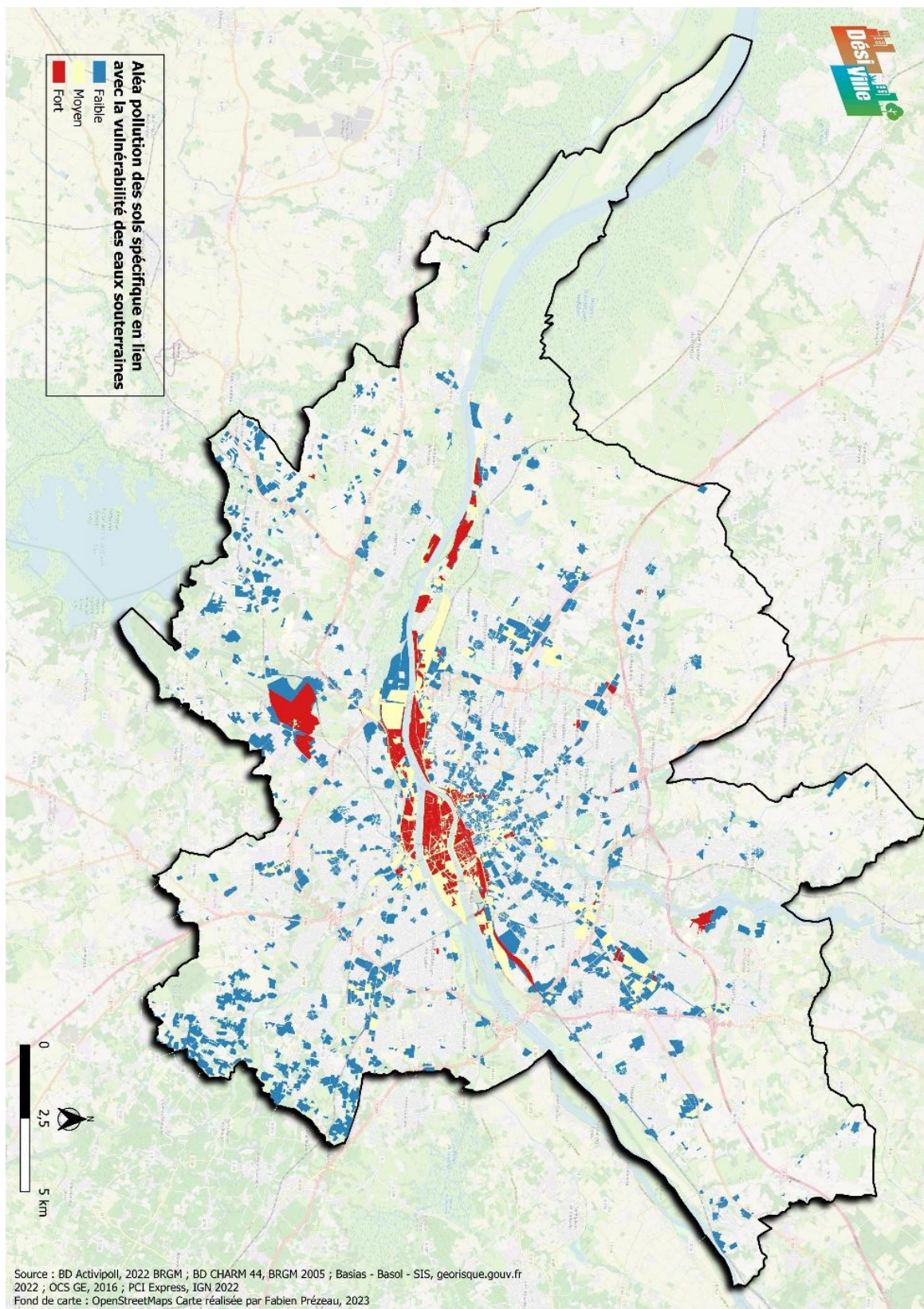


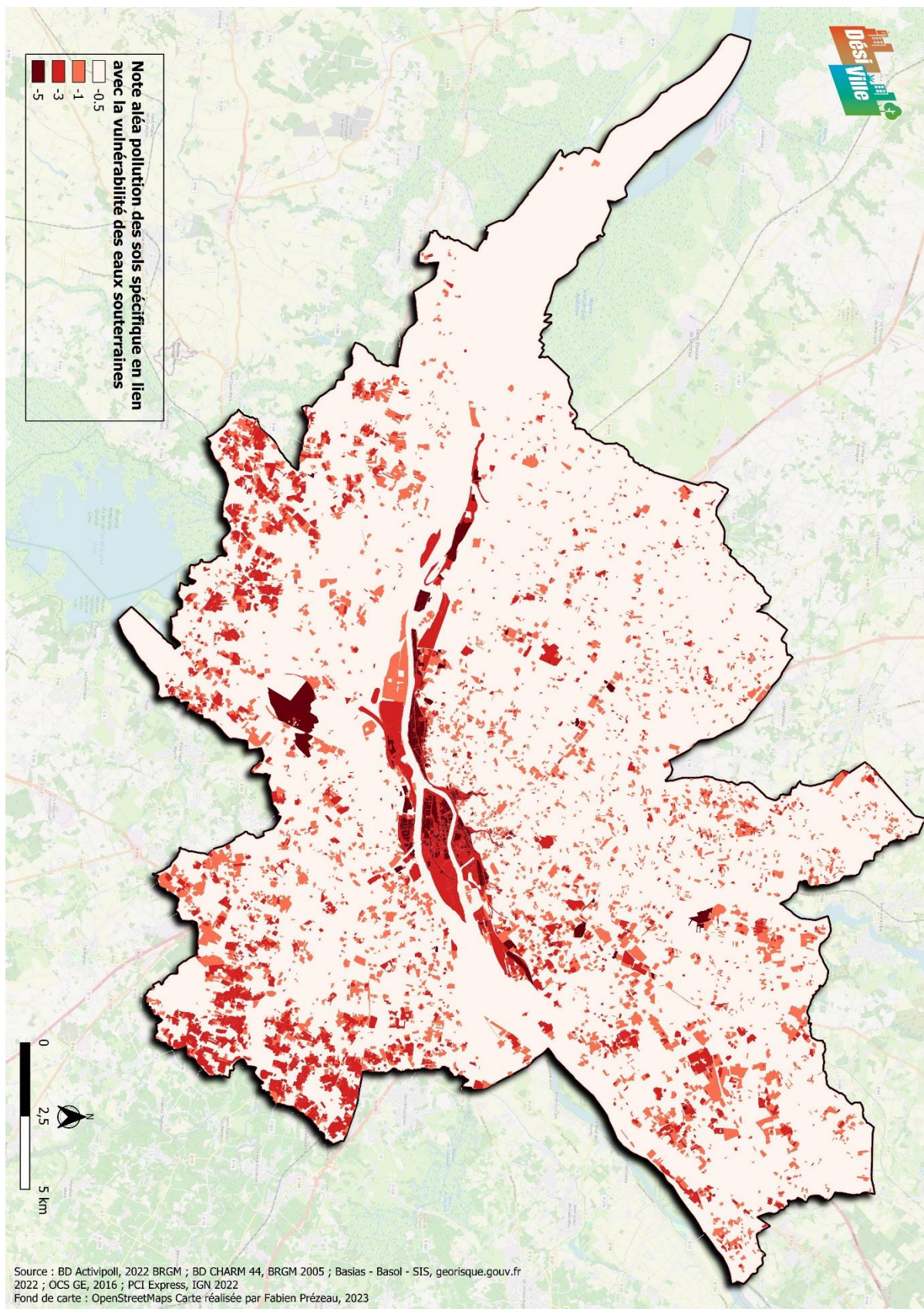


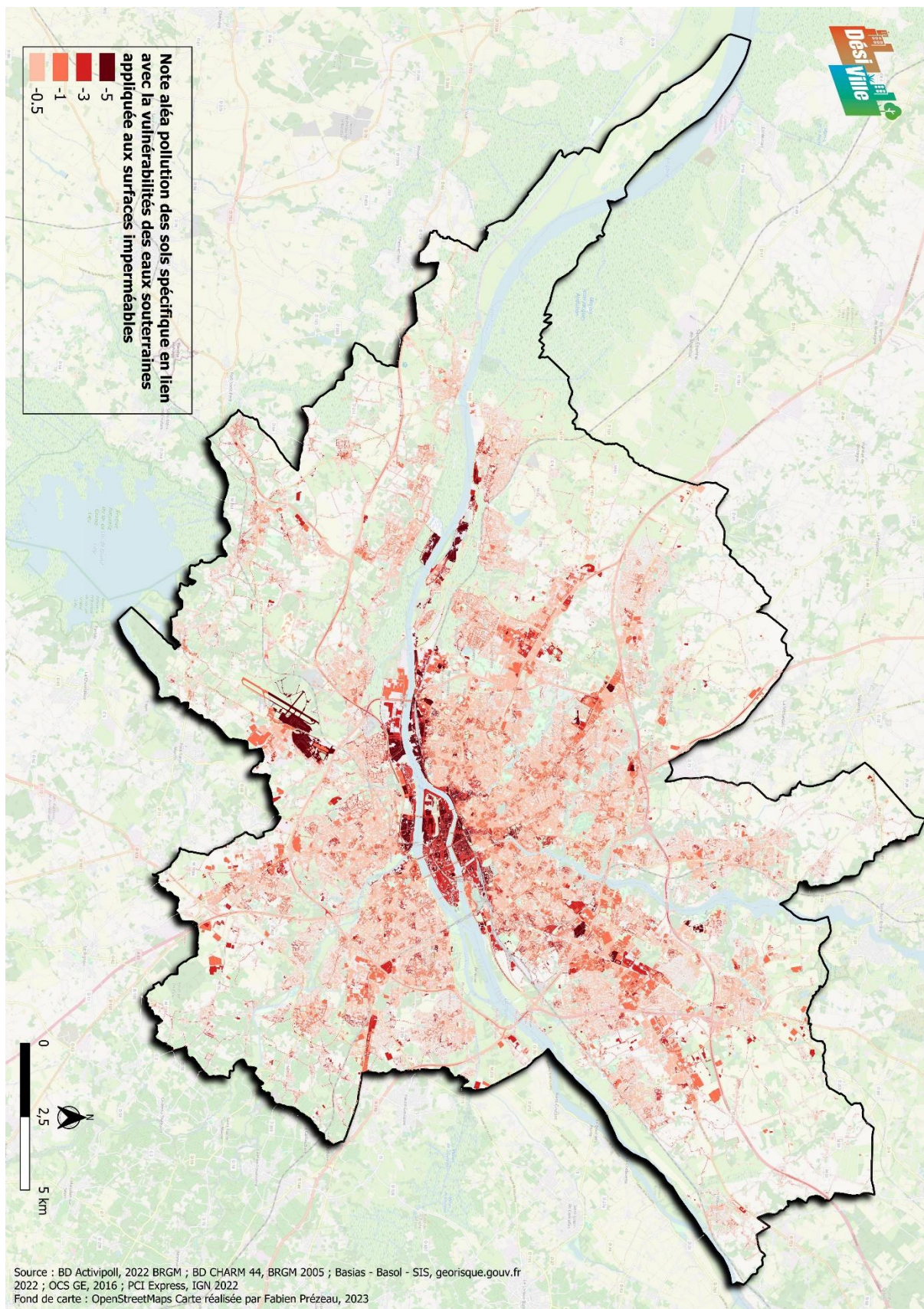


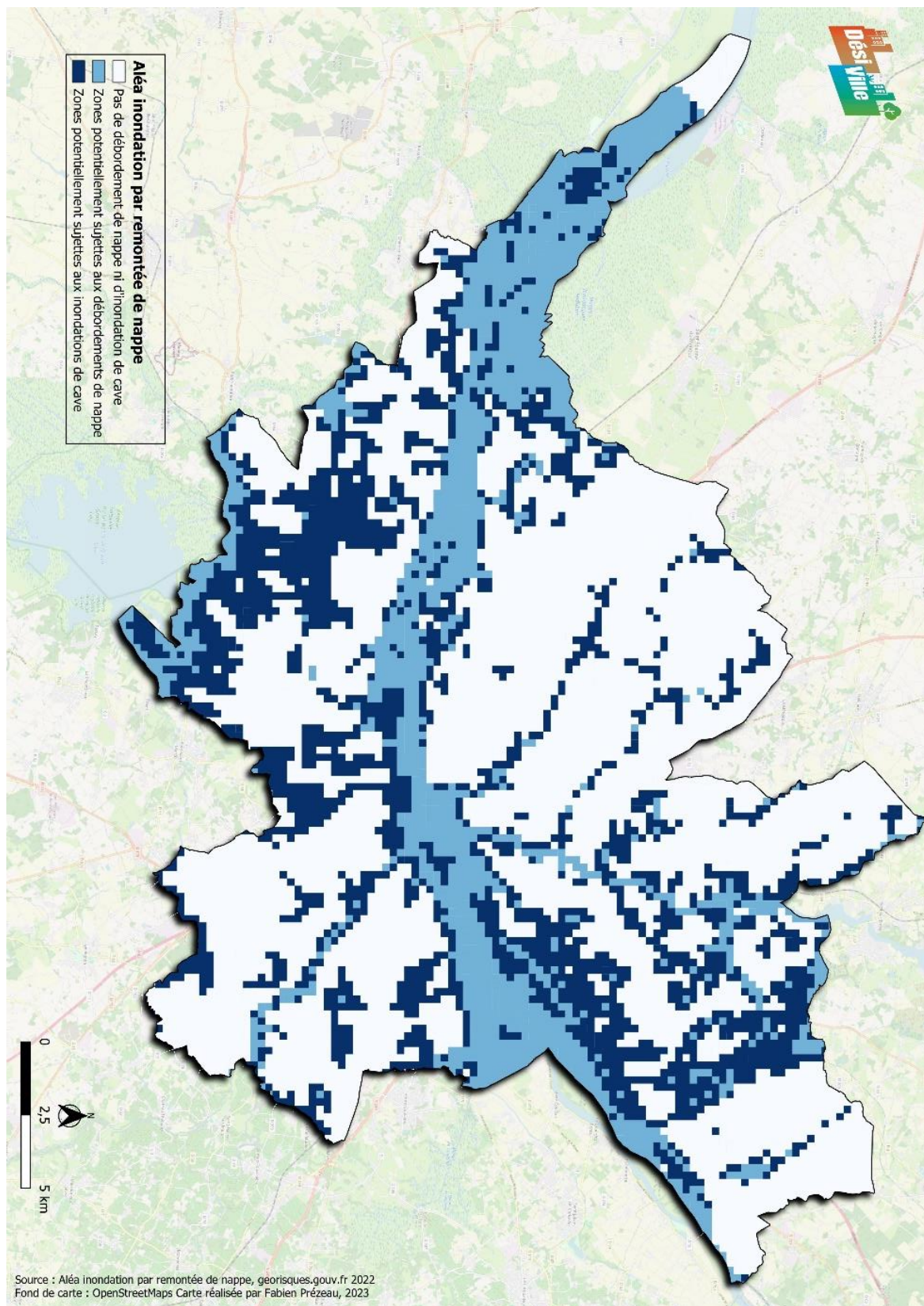


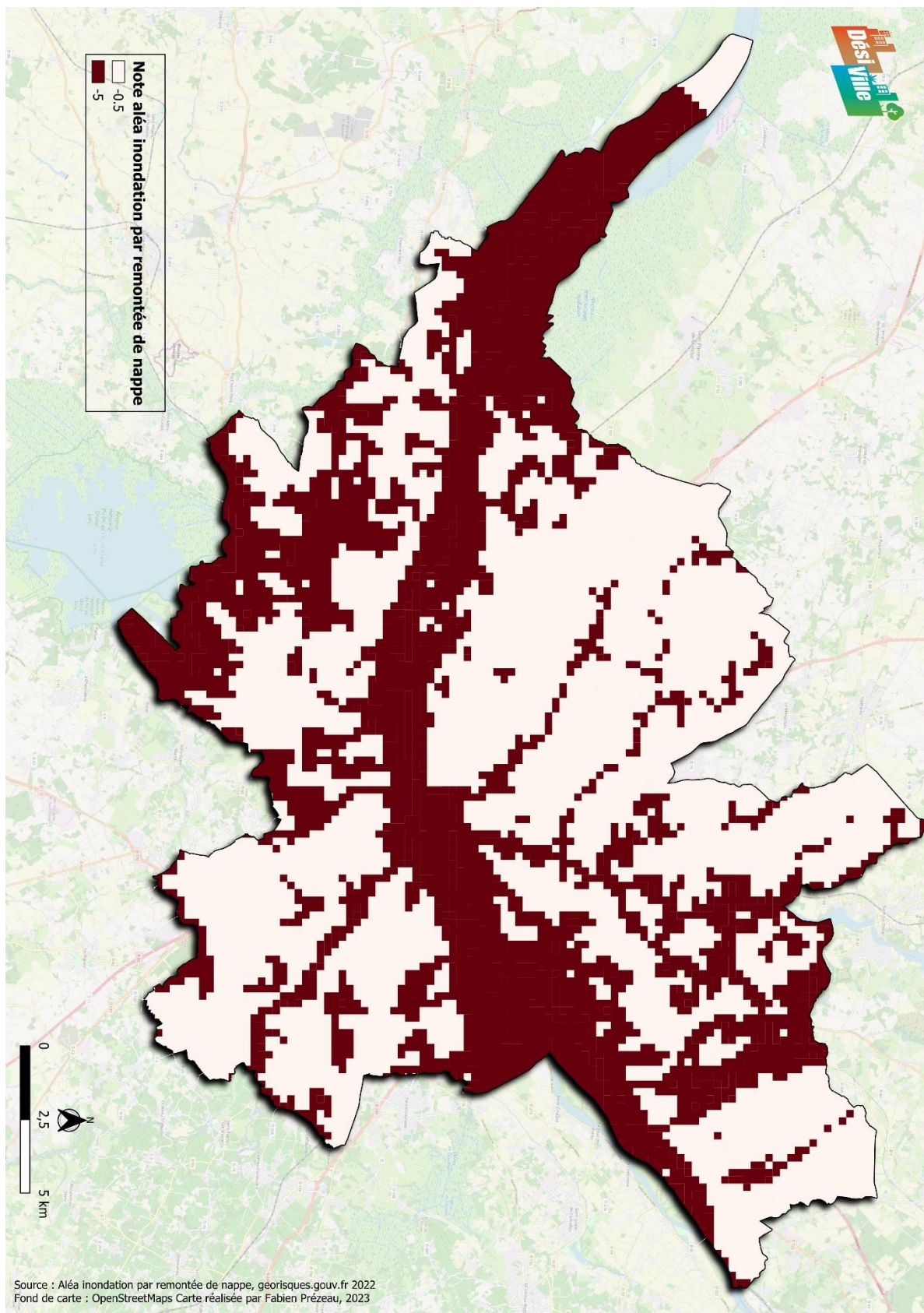


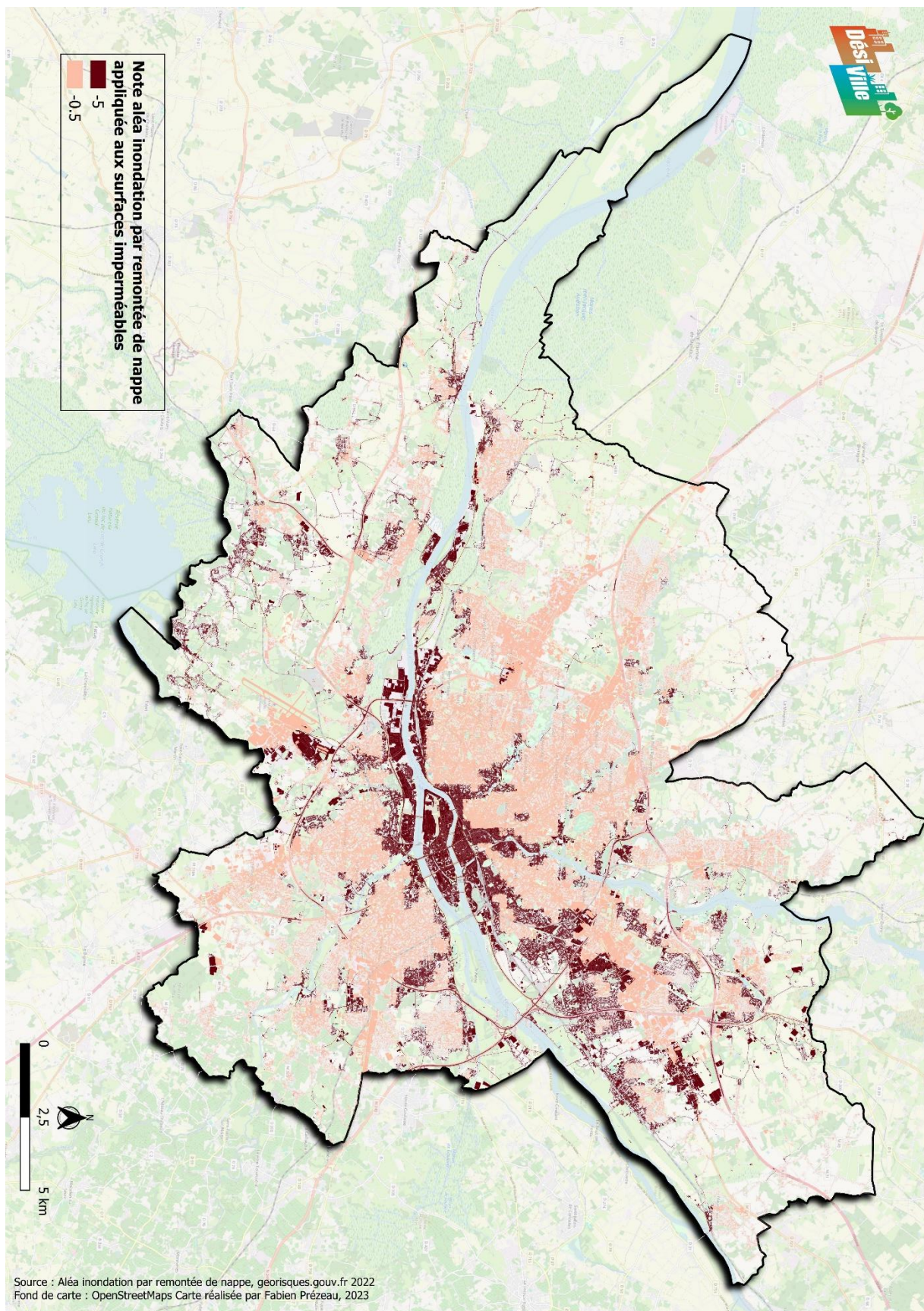


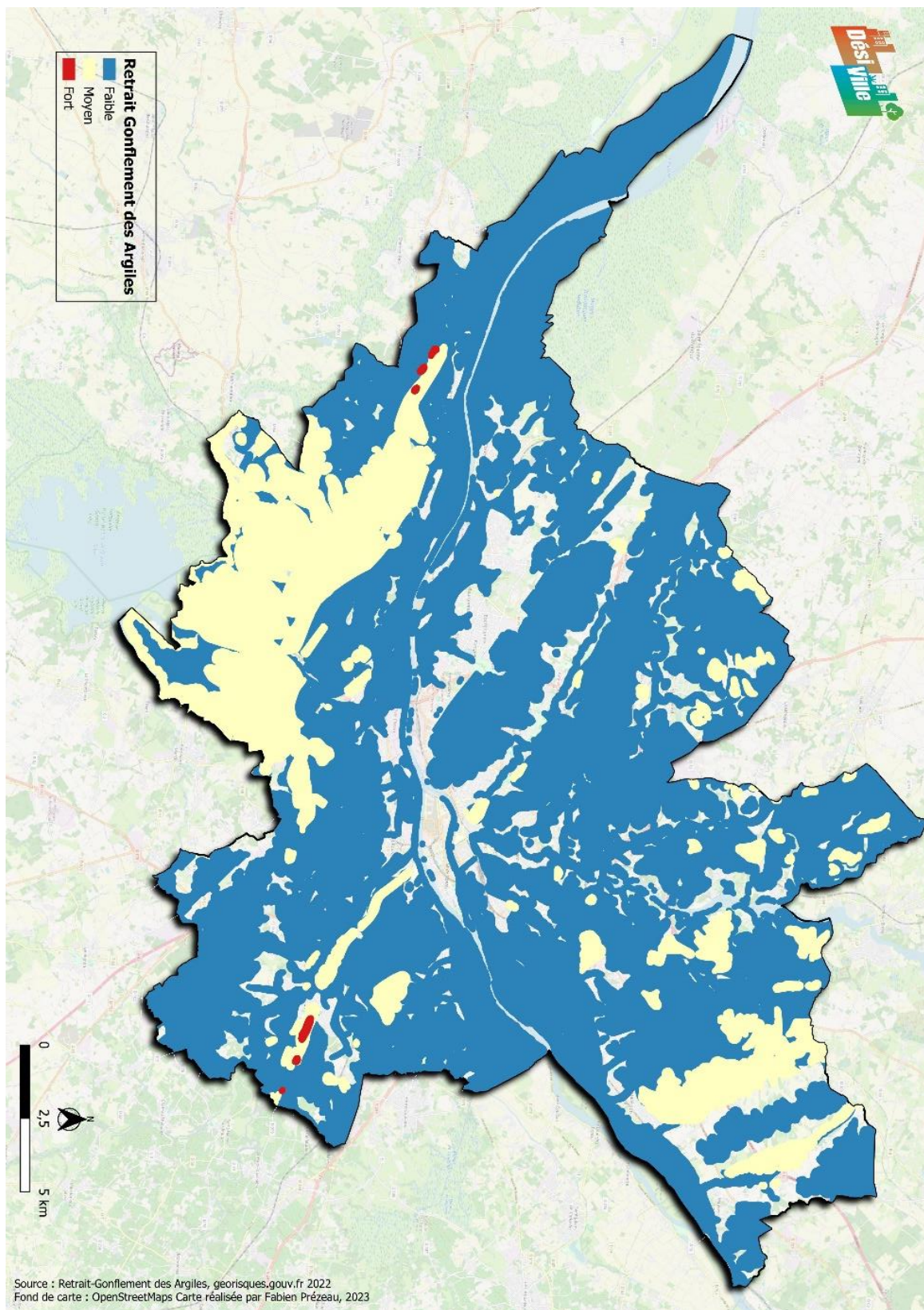


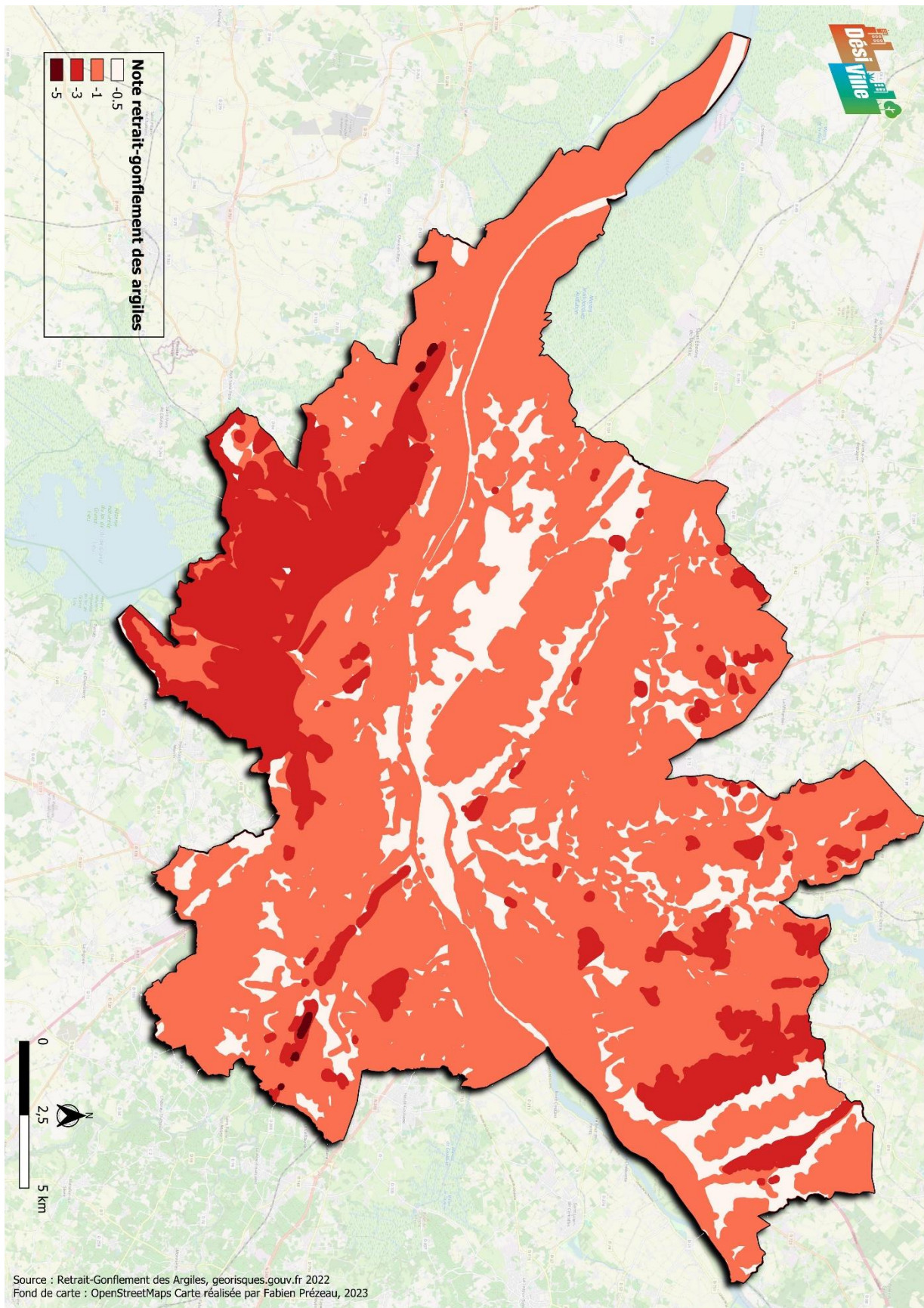


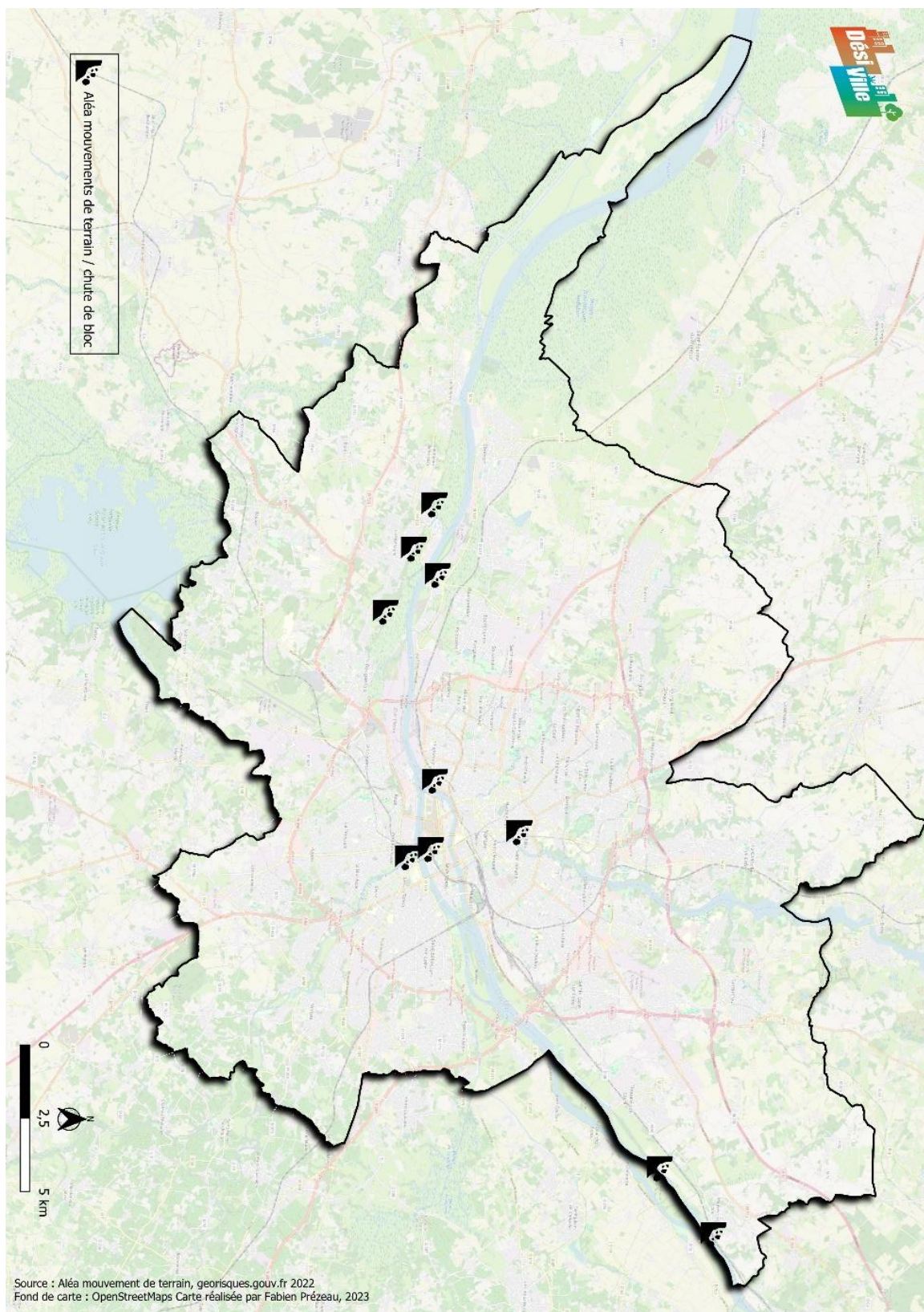


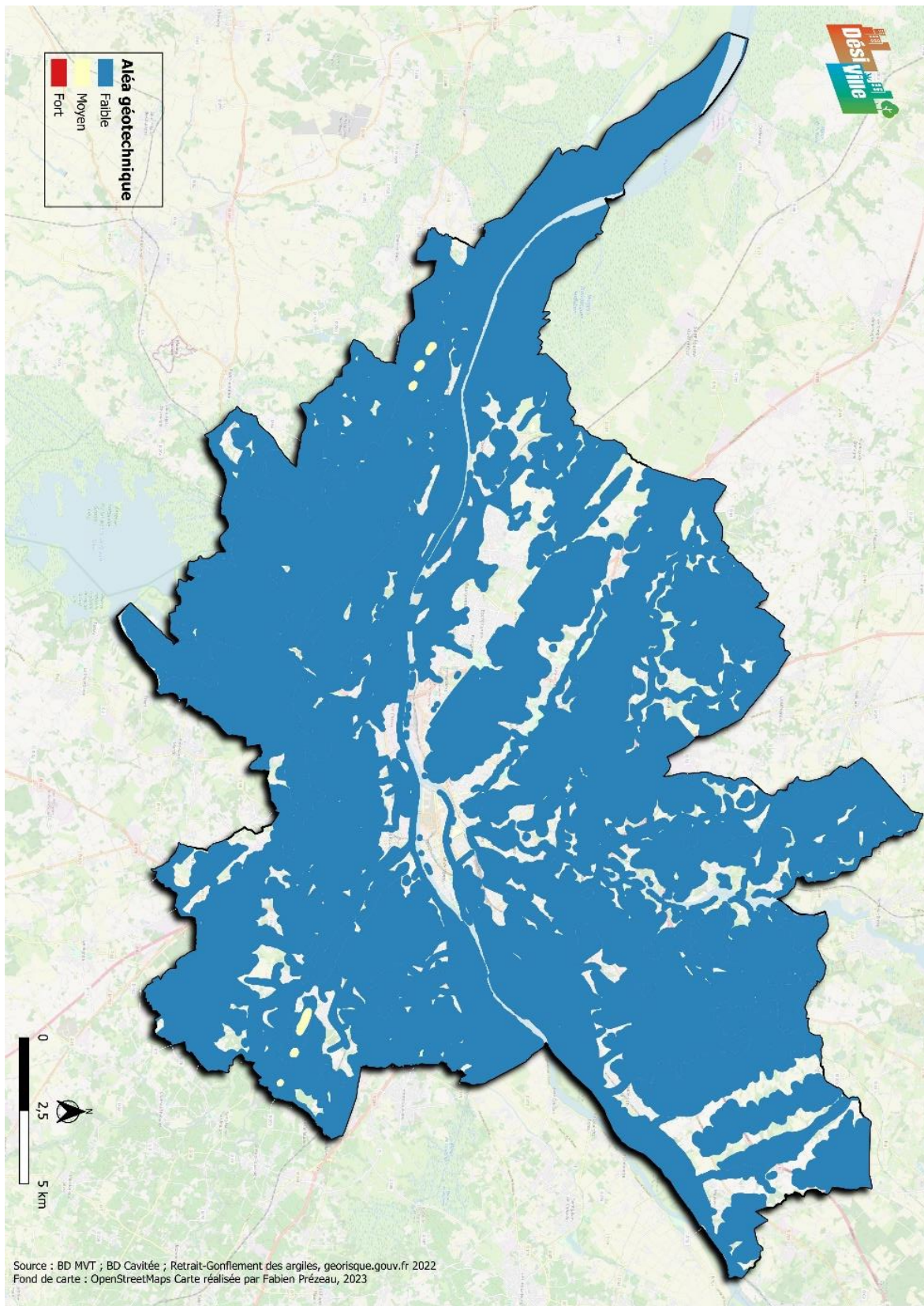


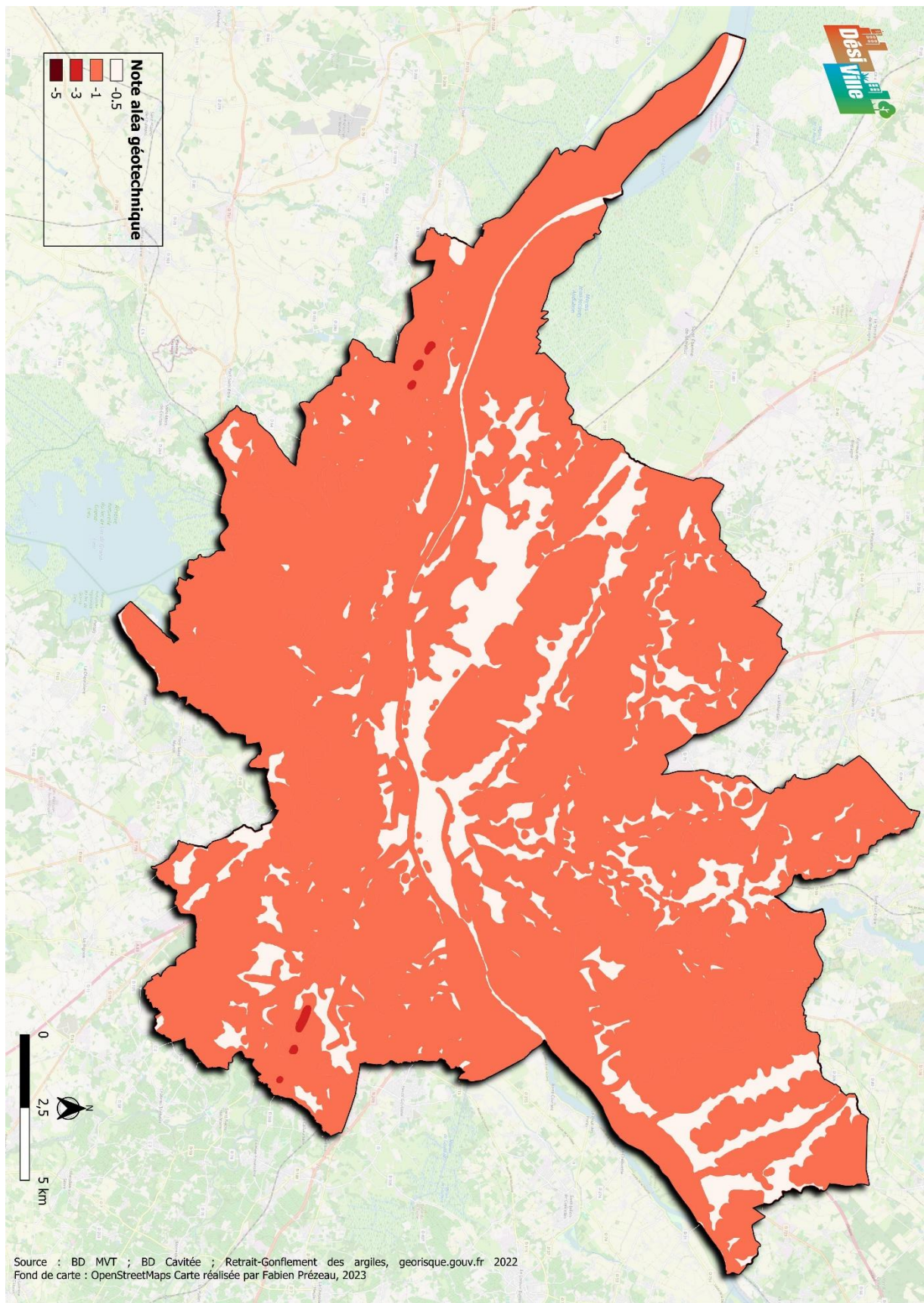


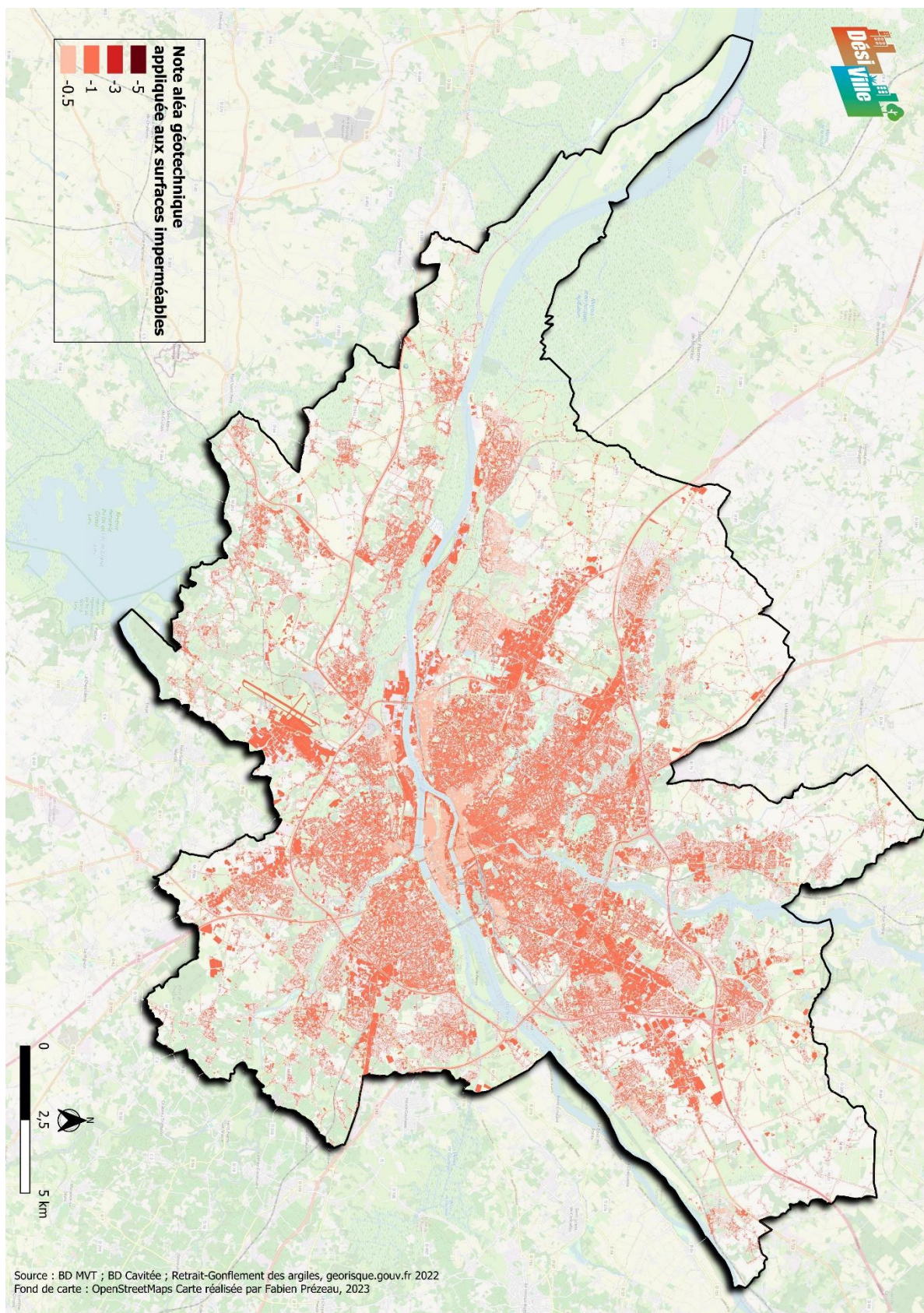




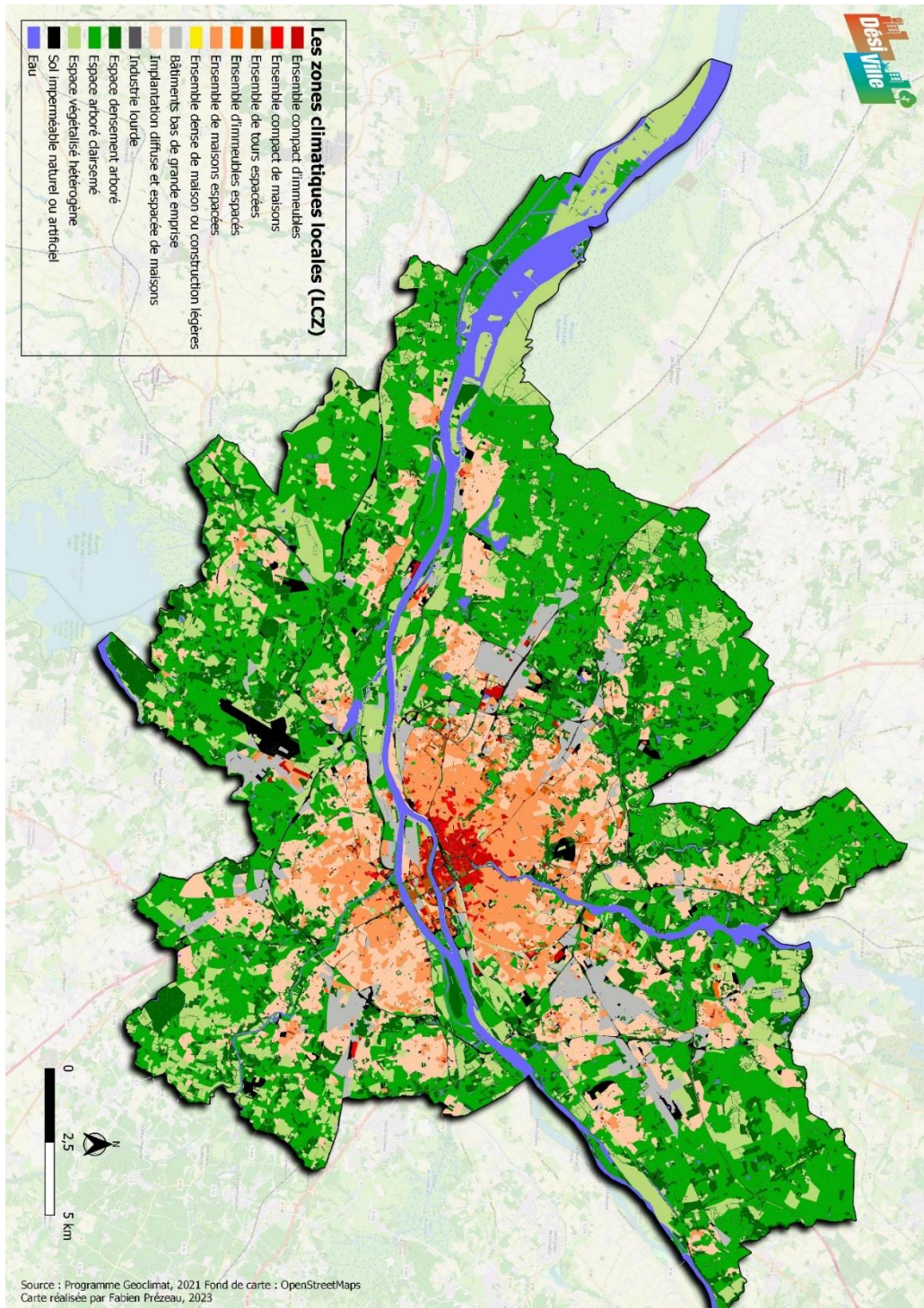


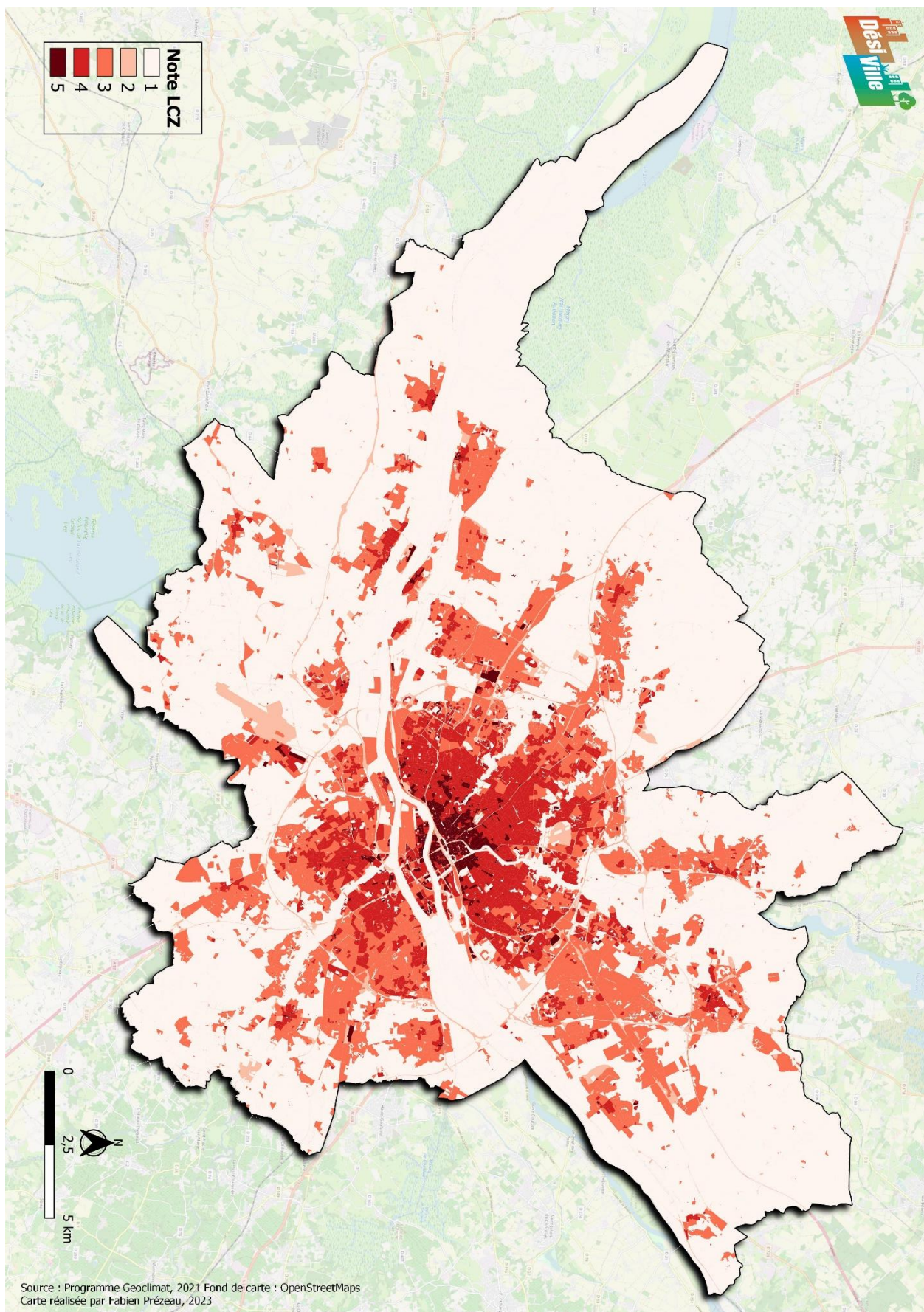


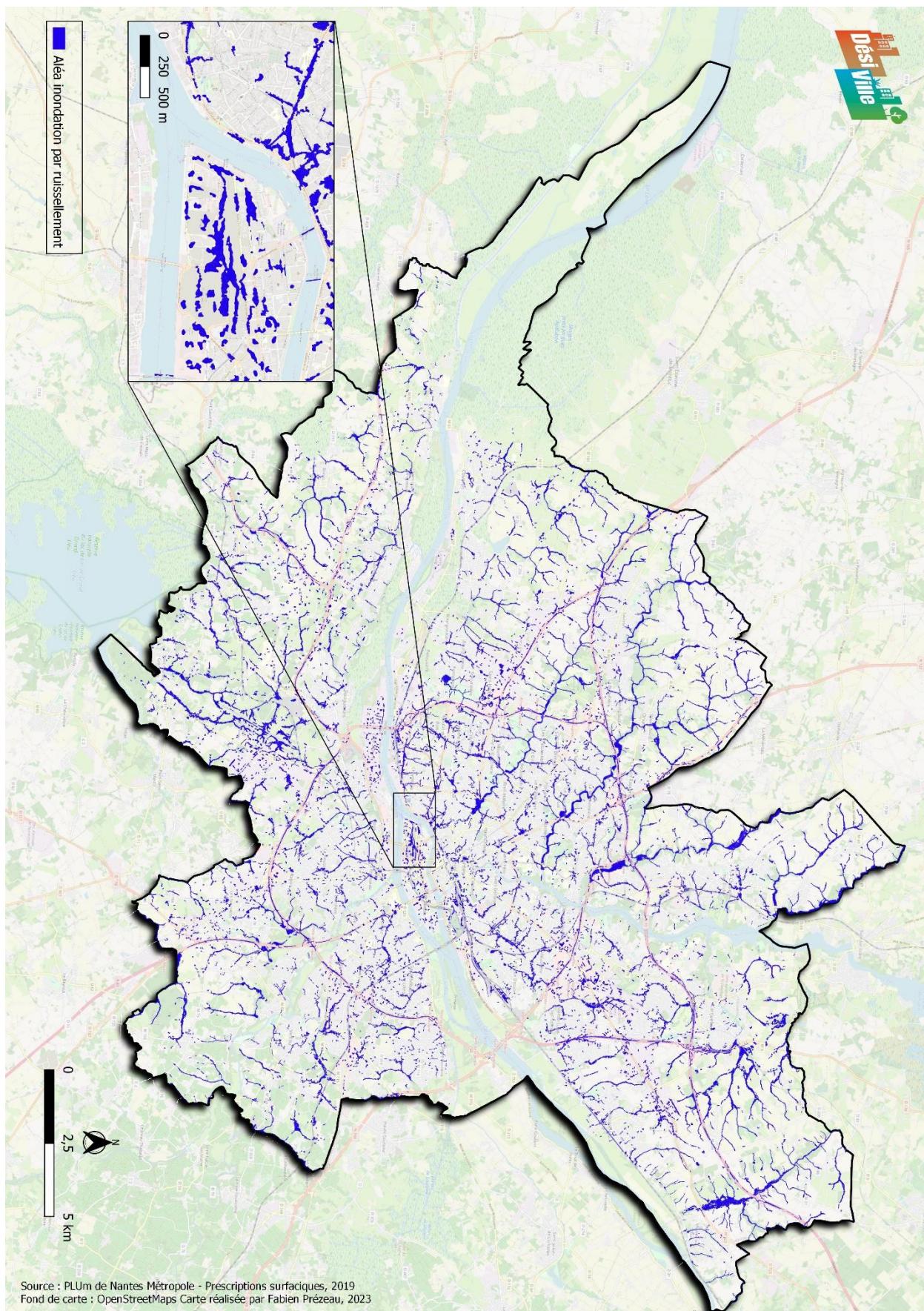




9.15. Cartes par critère pour la thématique des atouts et bénéfices de la désimperméabilisation

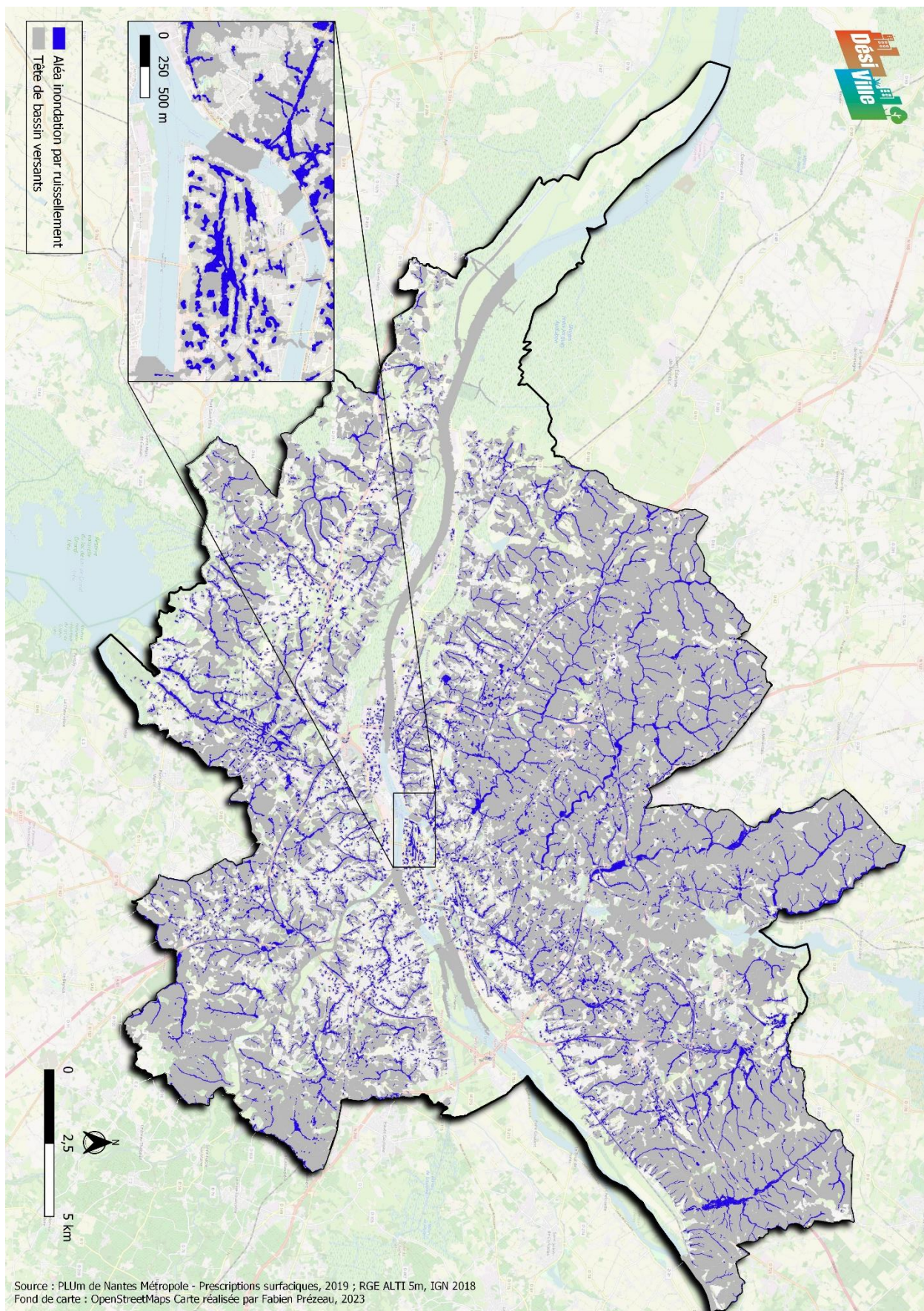


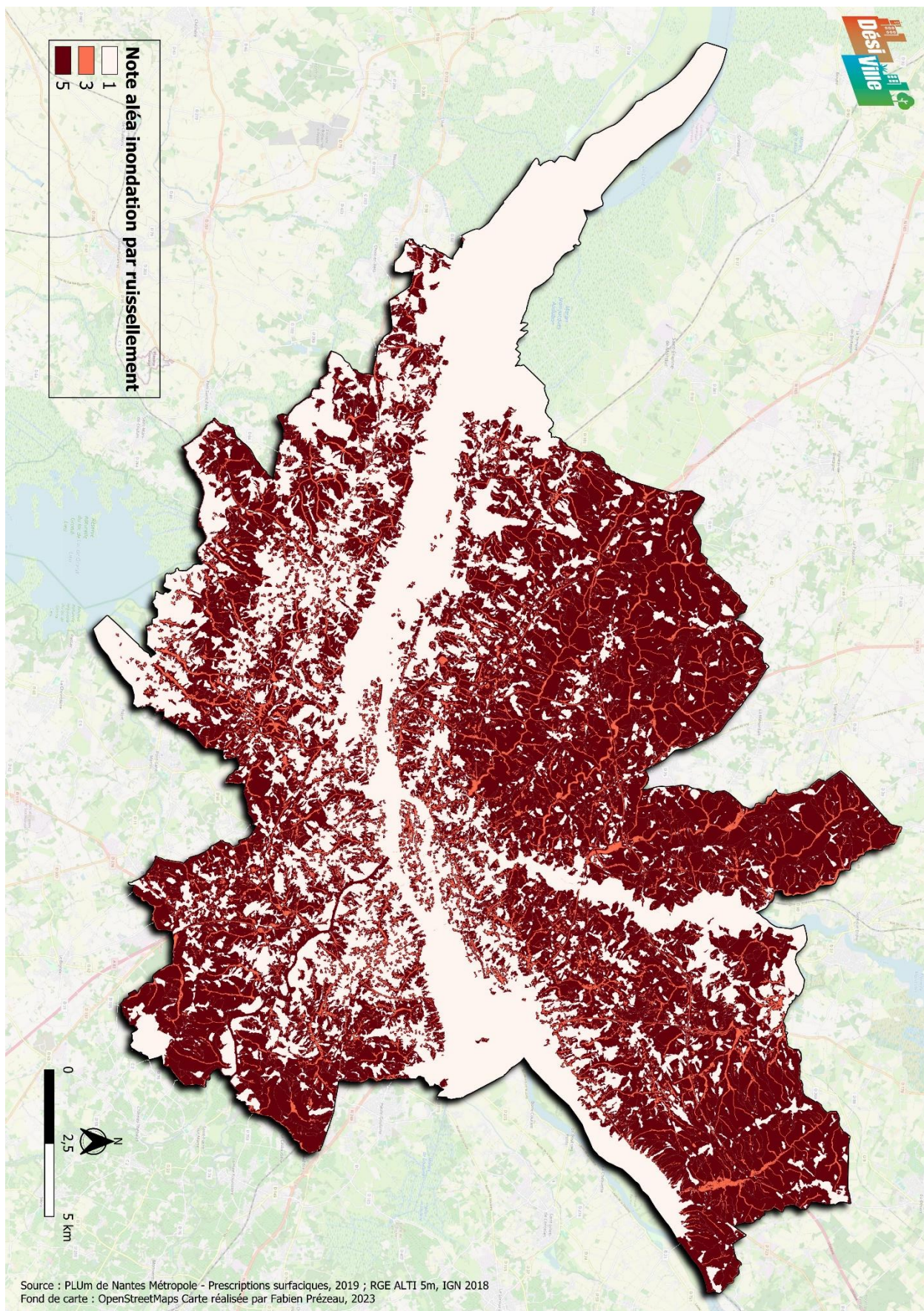


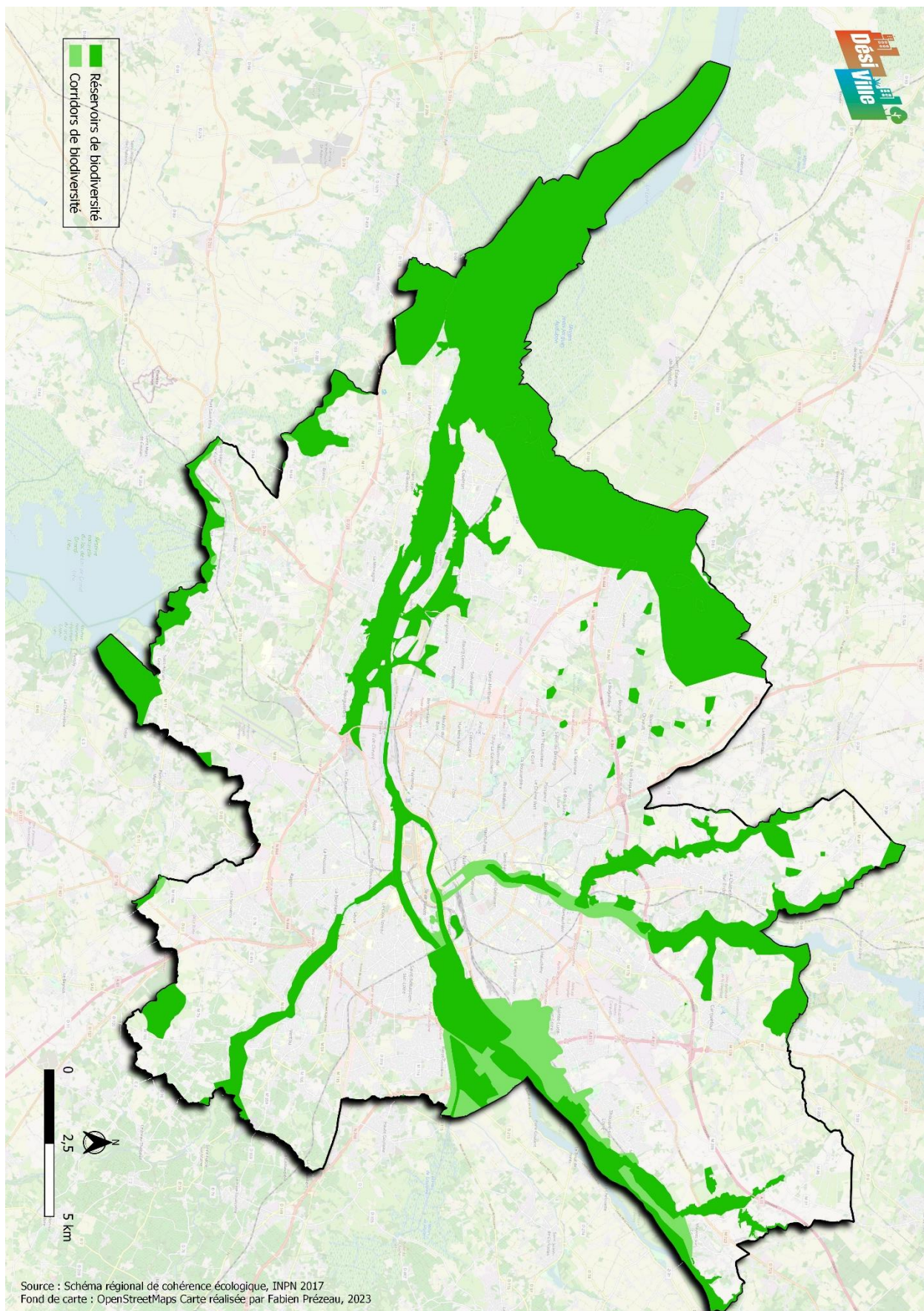


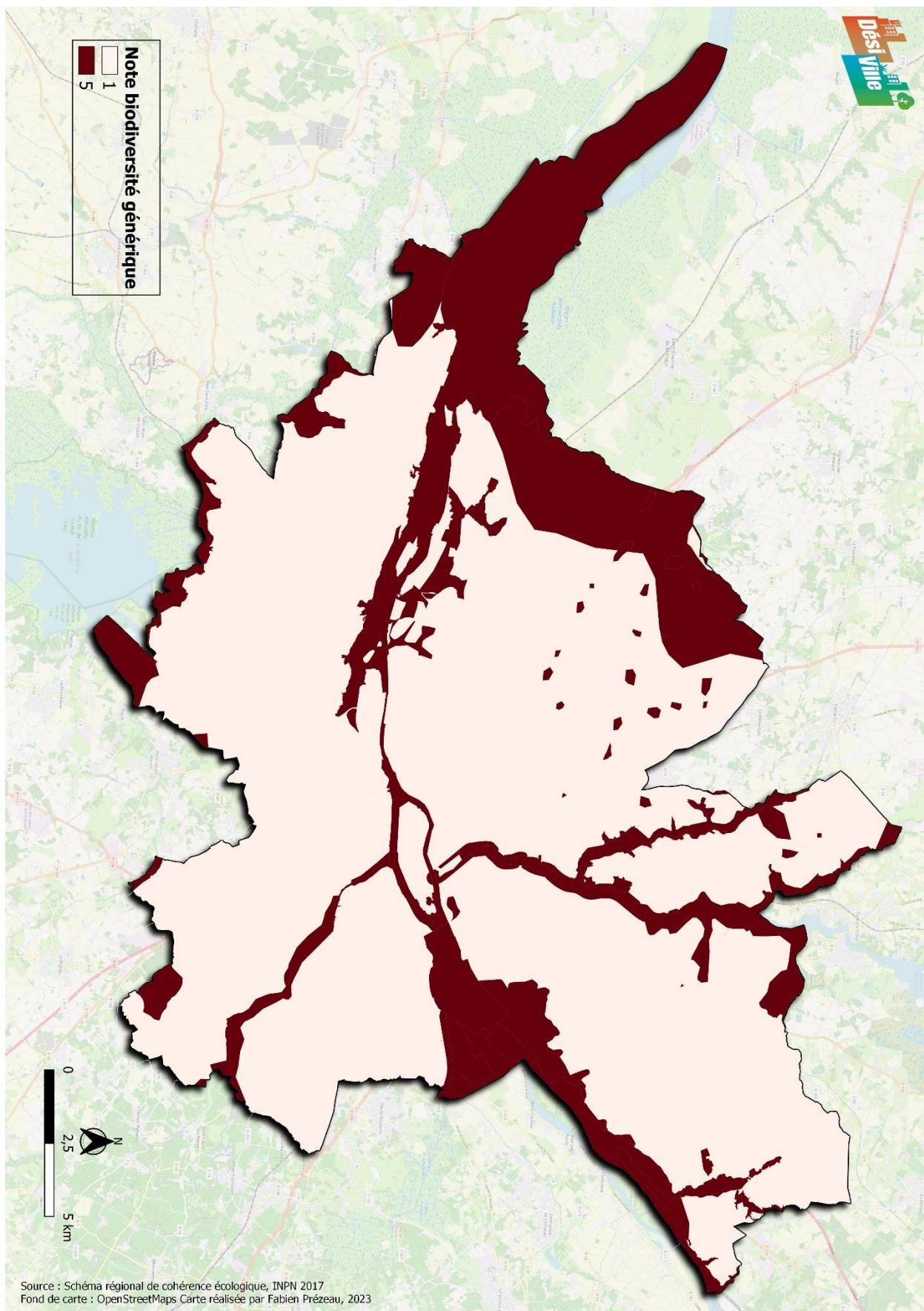
Source : PLUm de Nantes Métropole - Prescriptions surfaciques, 2019
 Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023





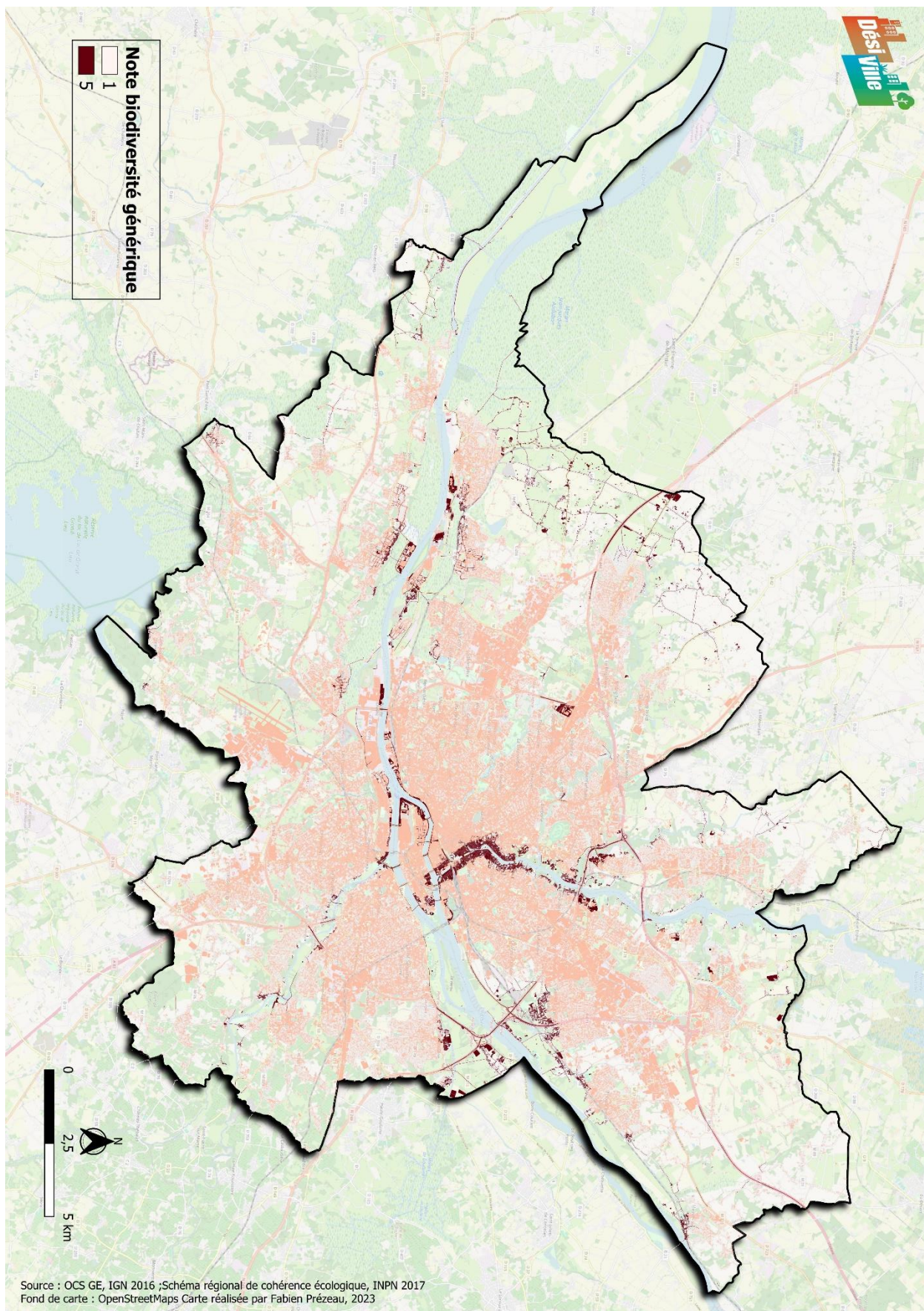






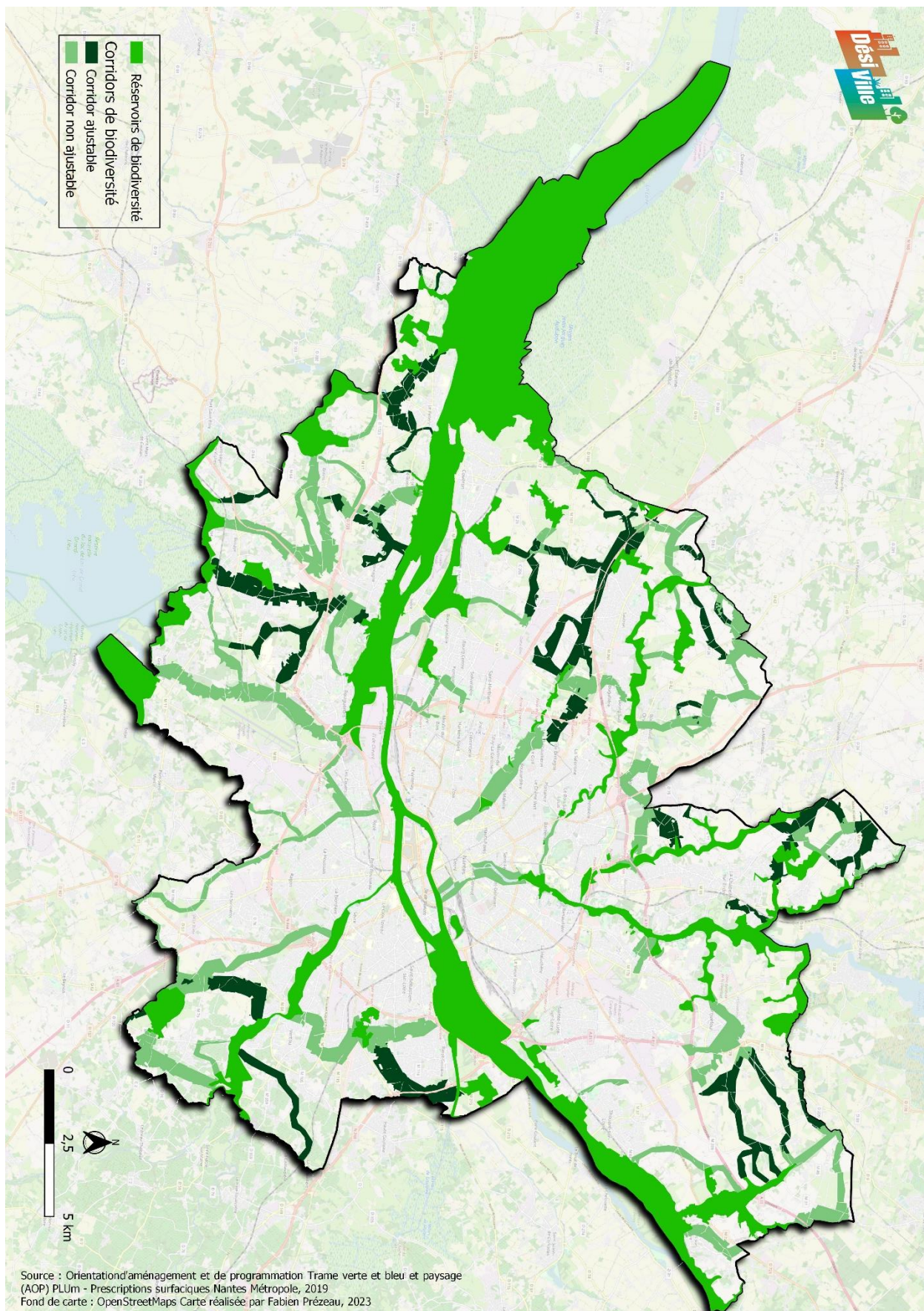
Source : Schéma régional de cohérence écologique, INPN 2017
 Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023

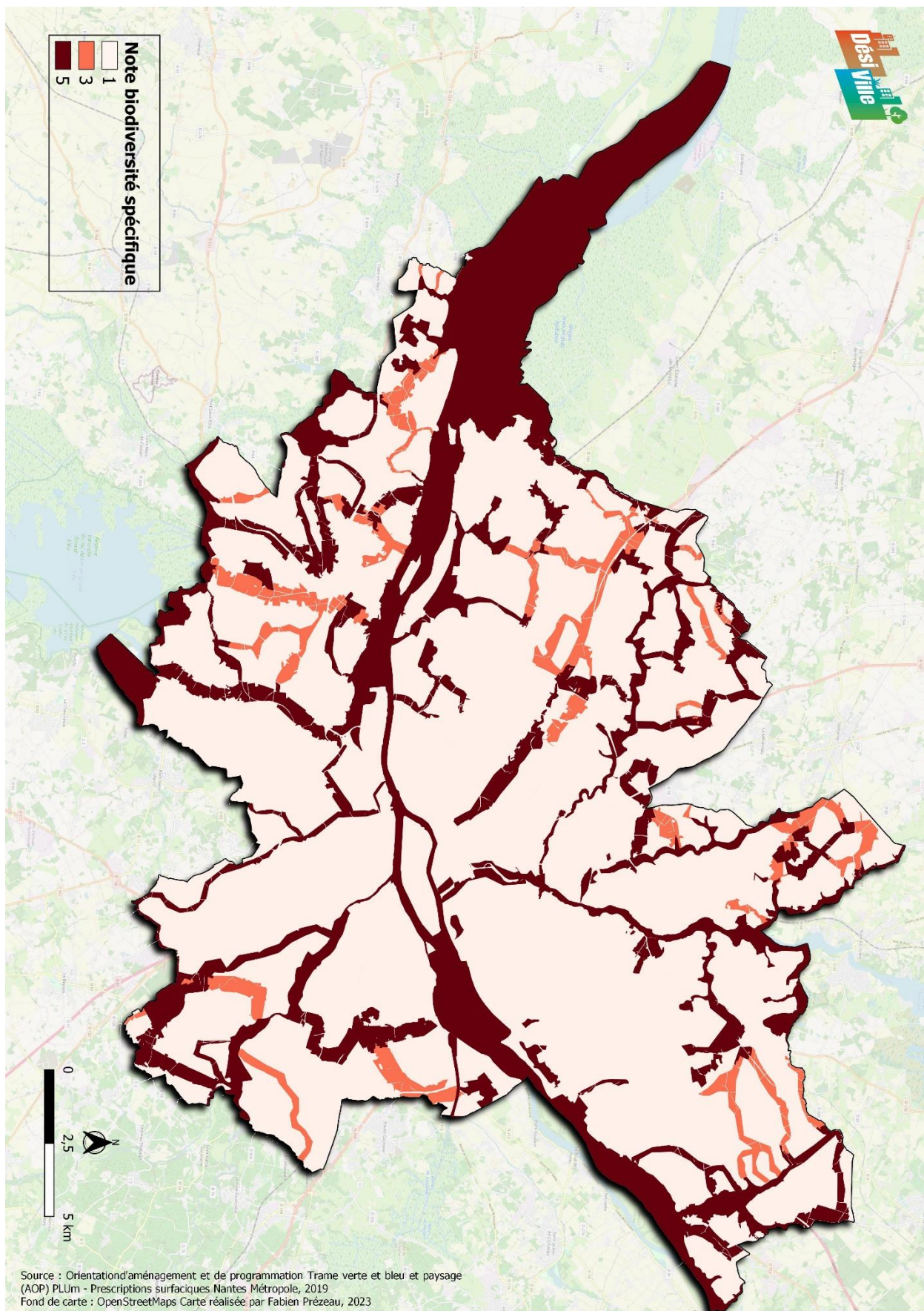


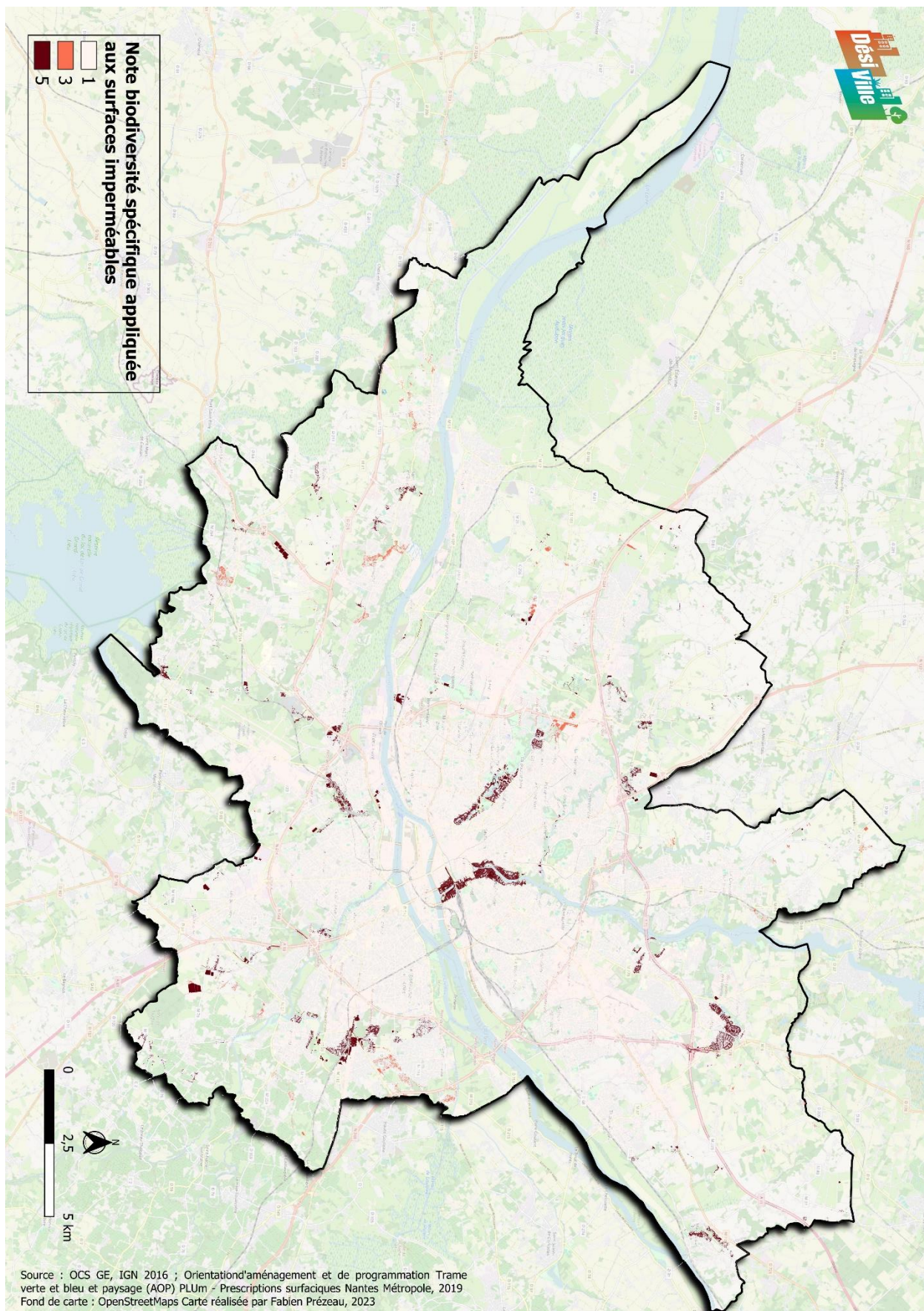


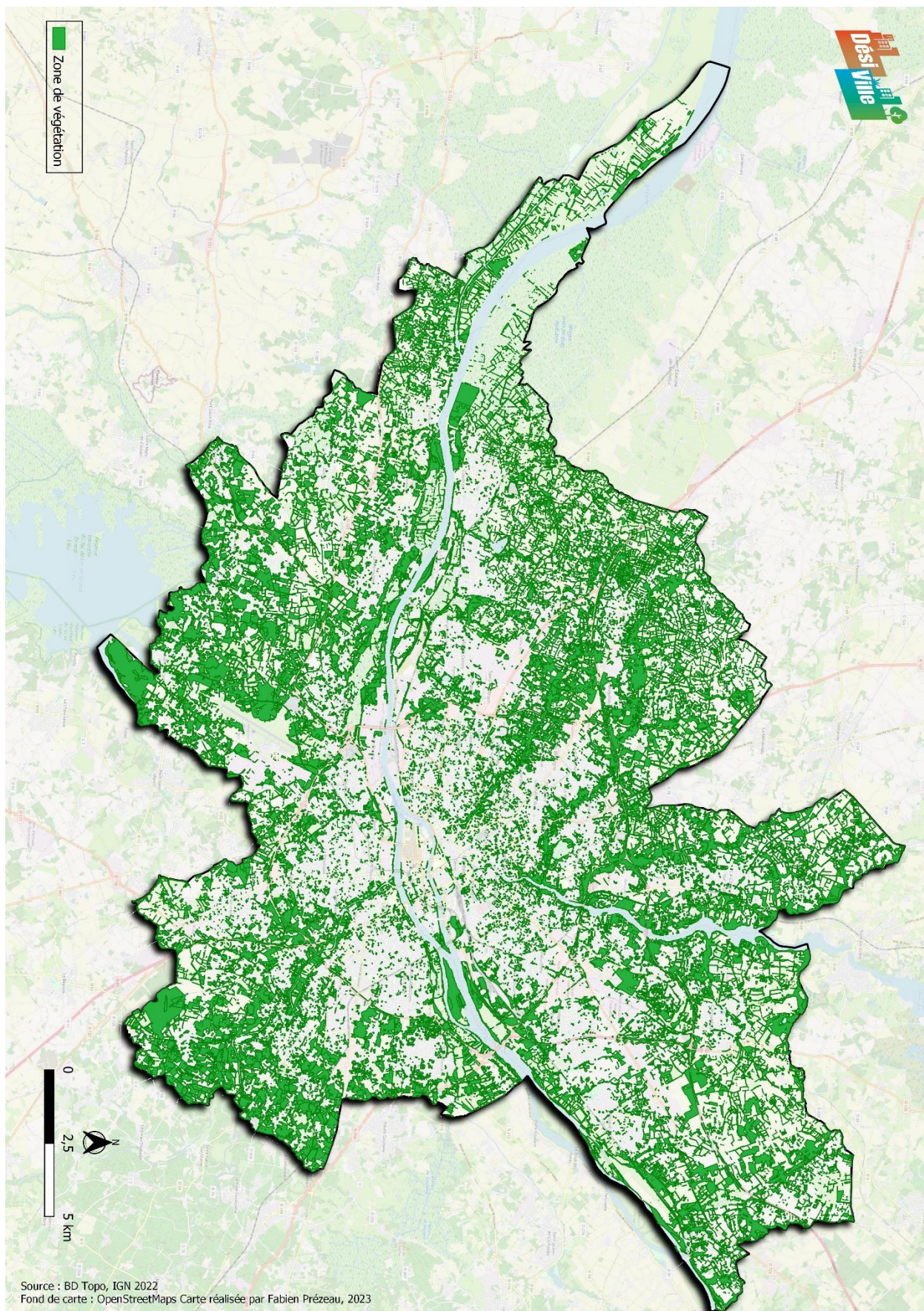
Source : OCS GE, IGN 2016 ; Schéma régional de cohérence écologique, INPN 2017
 Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023

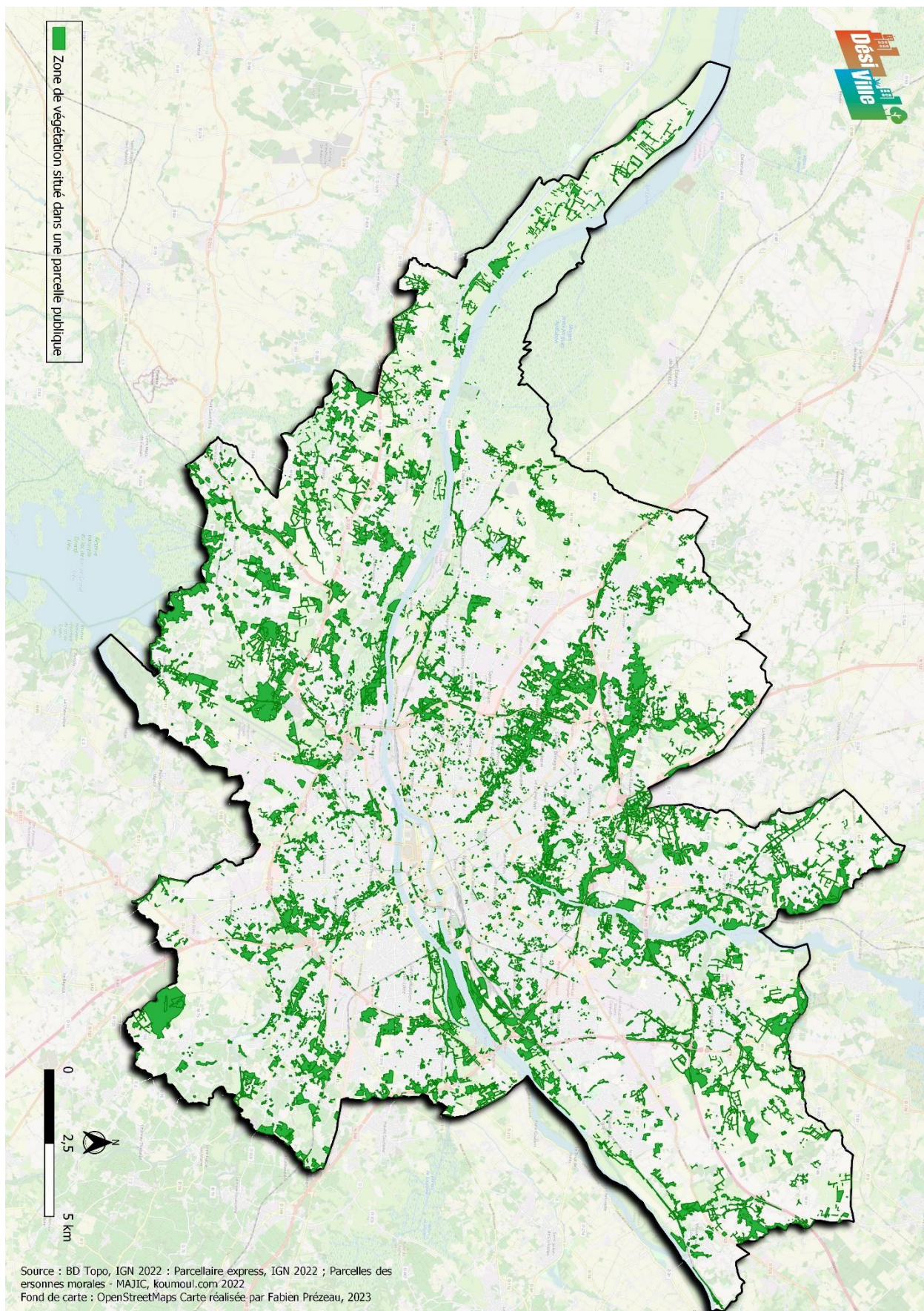






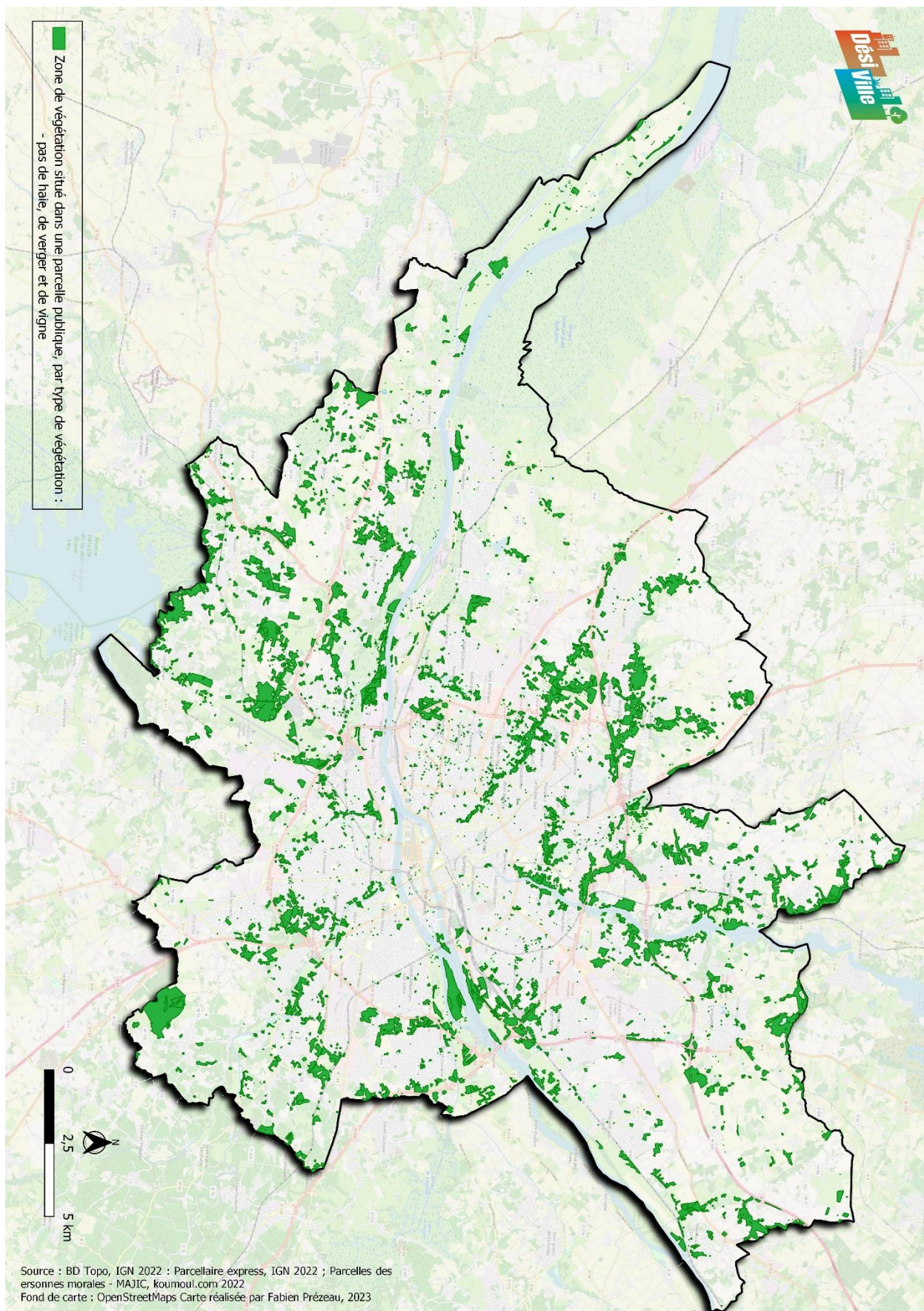


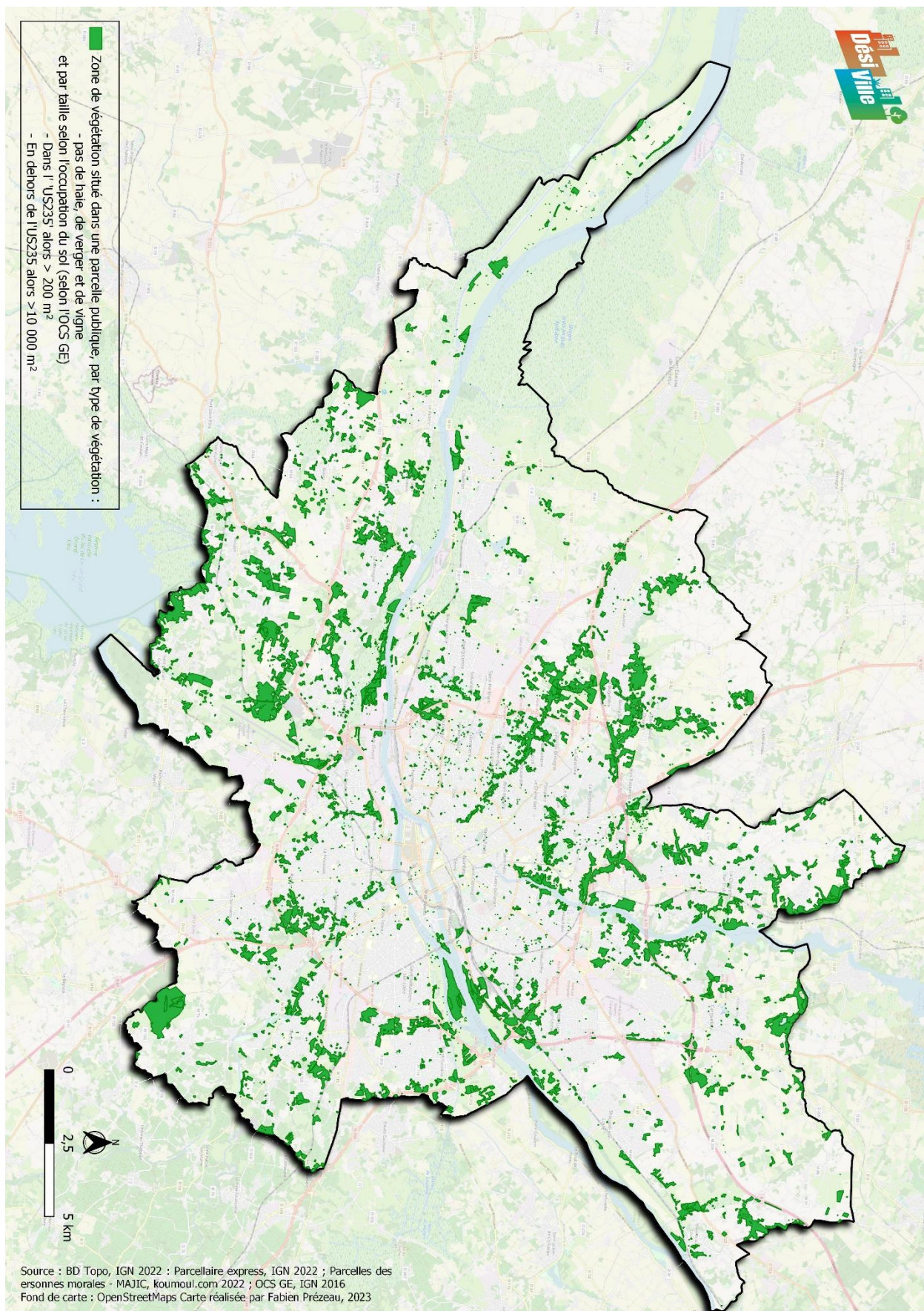


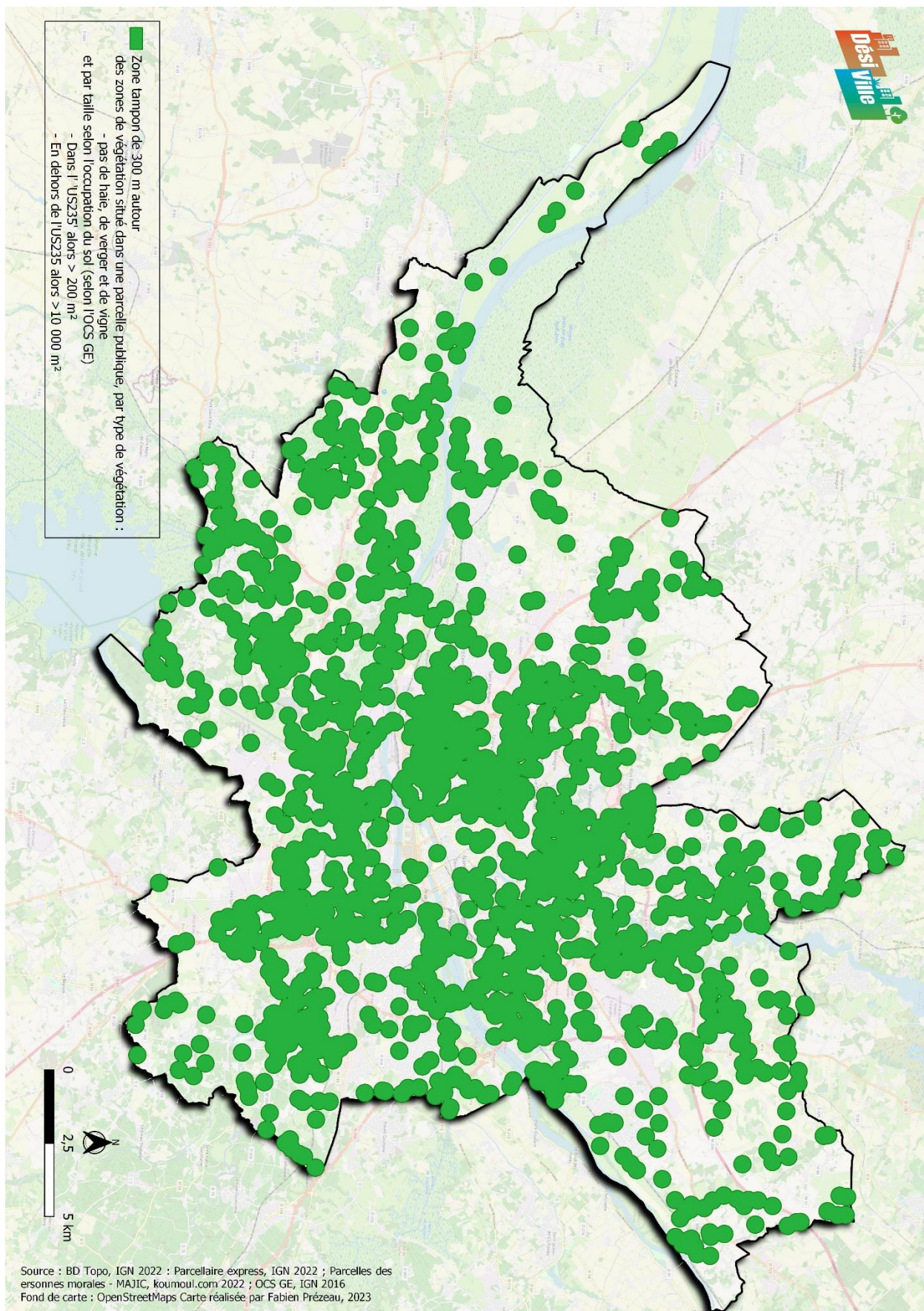


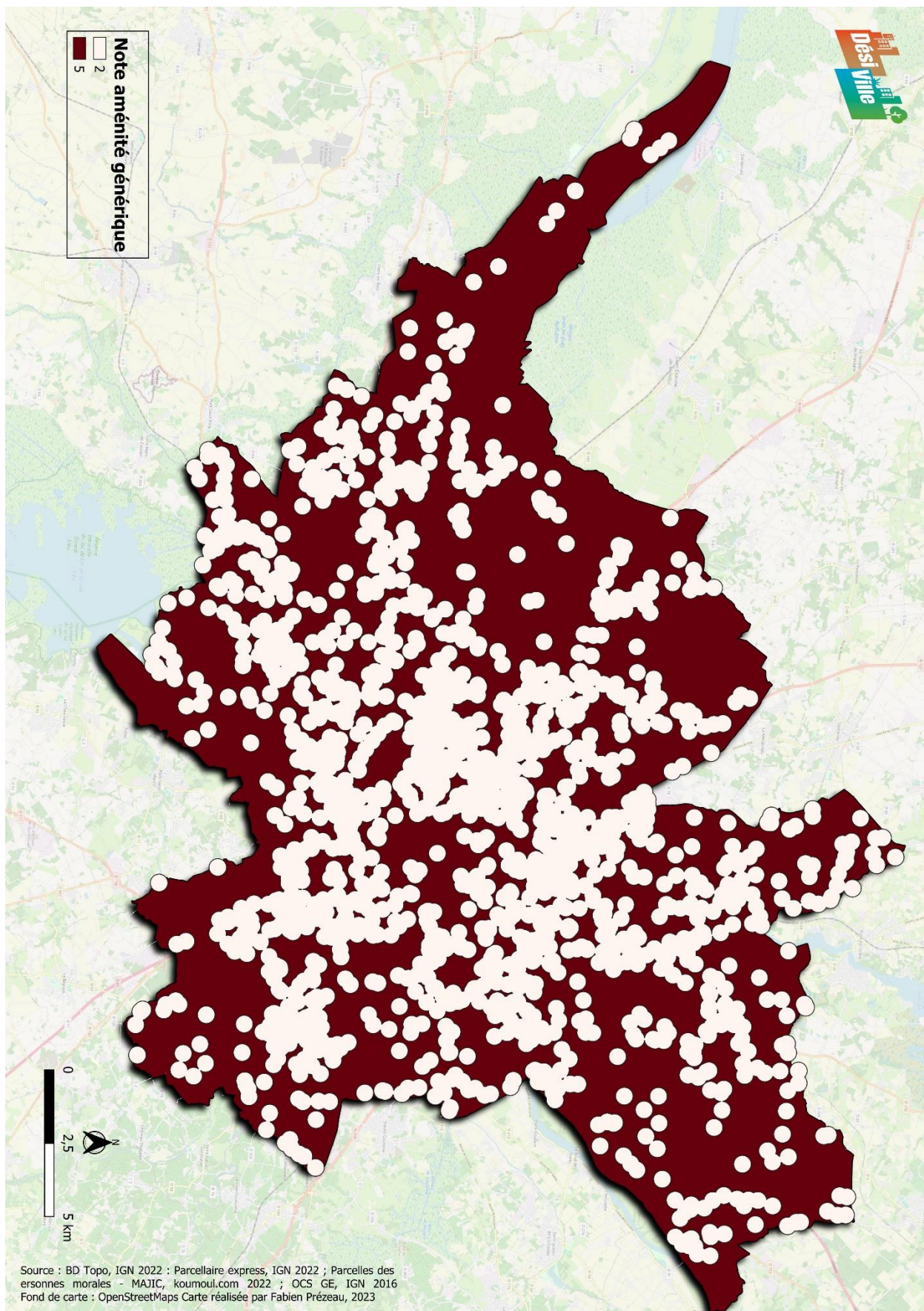
Source : BD Topo, IGN 2022 ; Parcellaire express, IGN 2022 ; Parcelles des personnes morales - MAJIC, koumoul.com 2022
 Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023

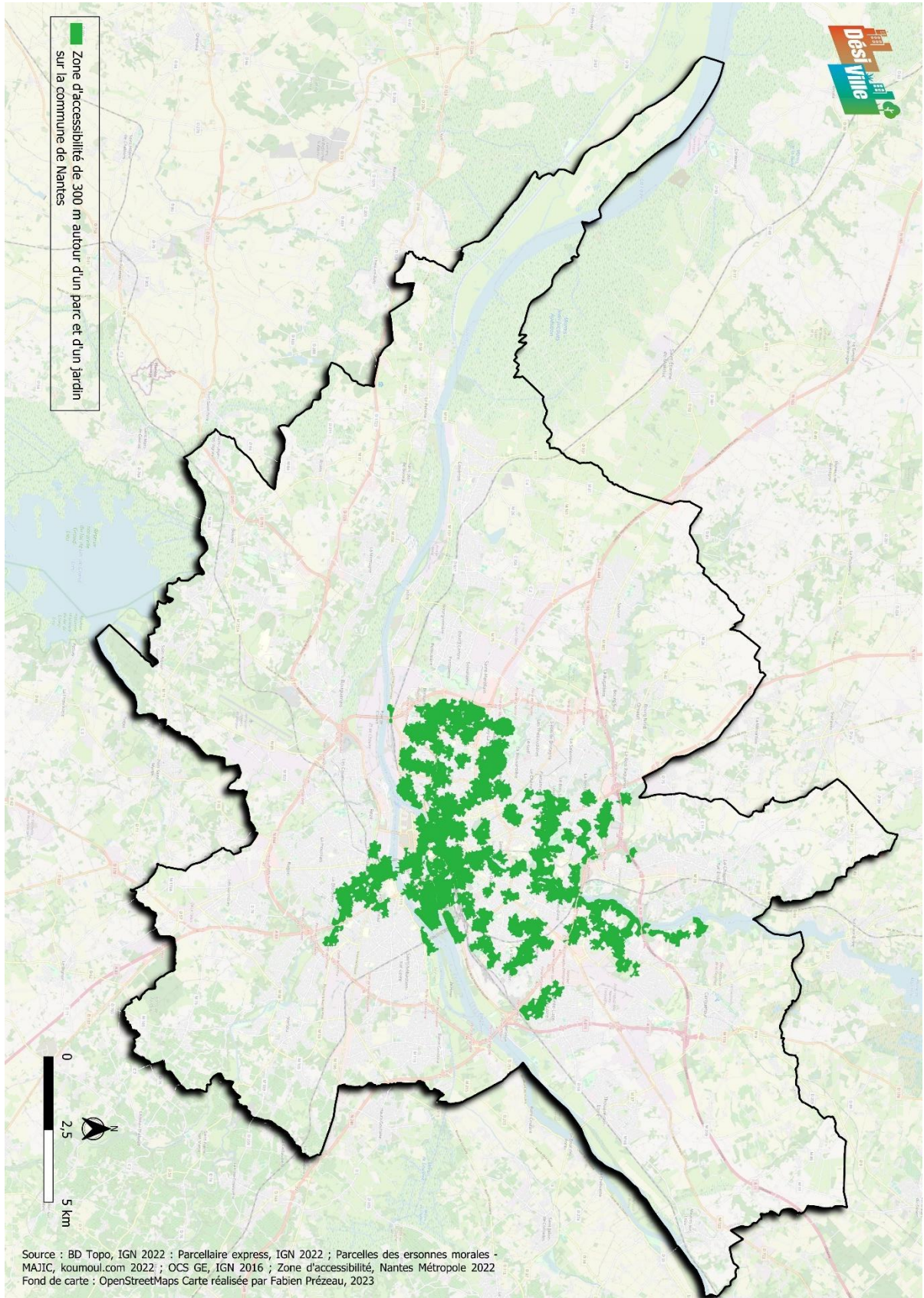


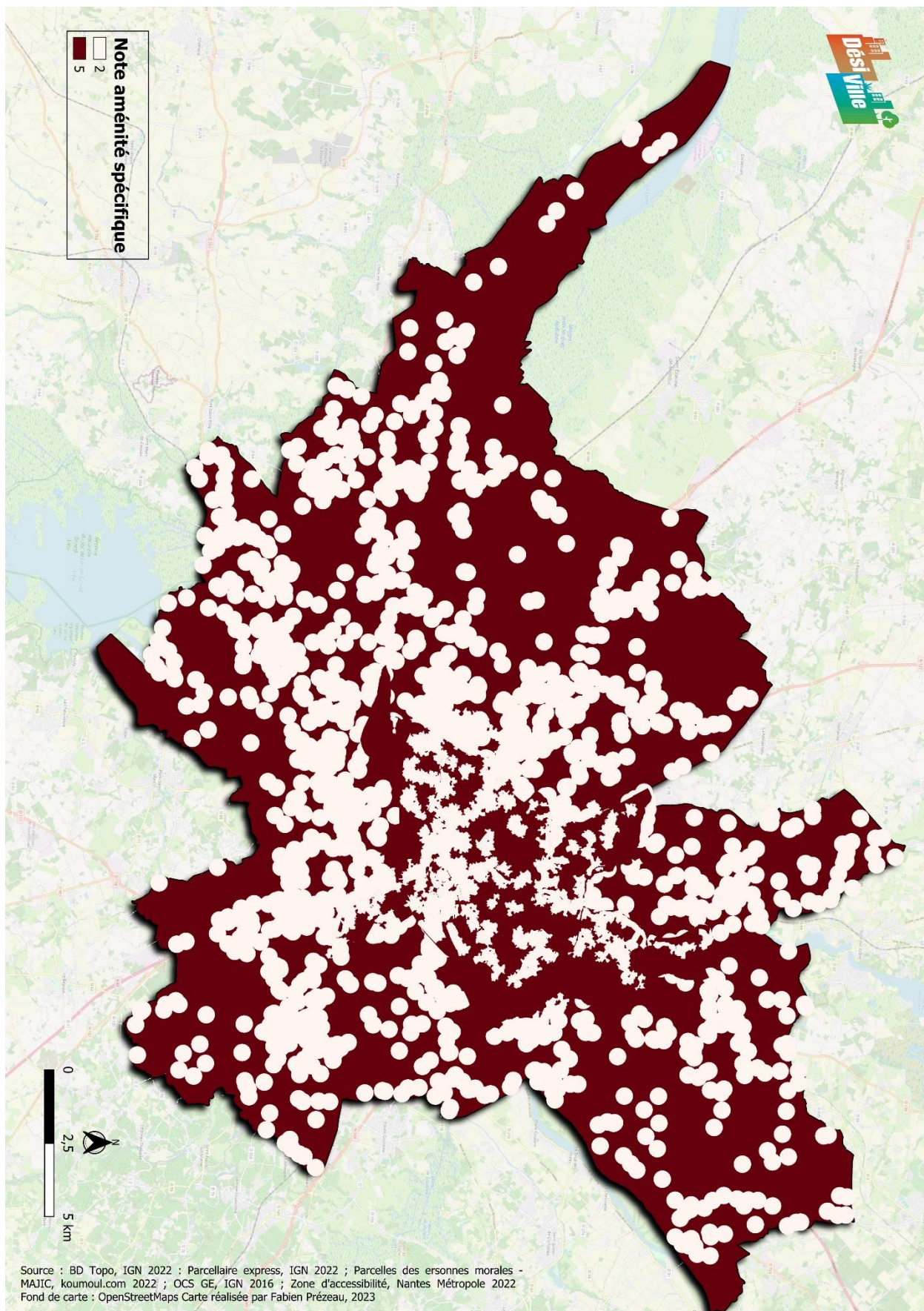


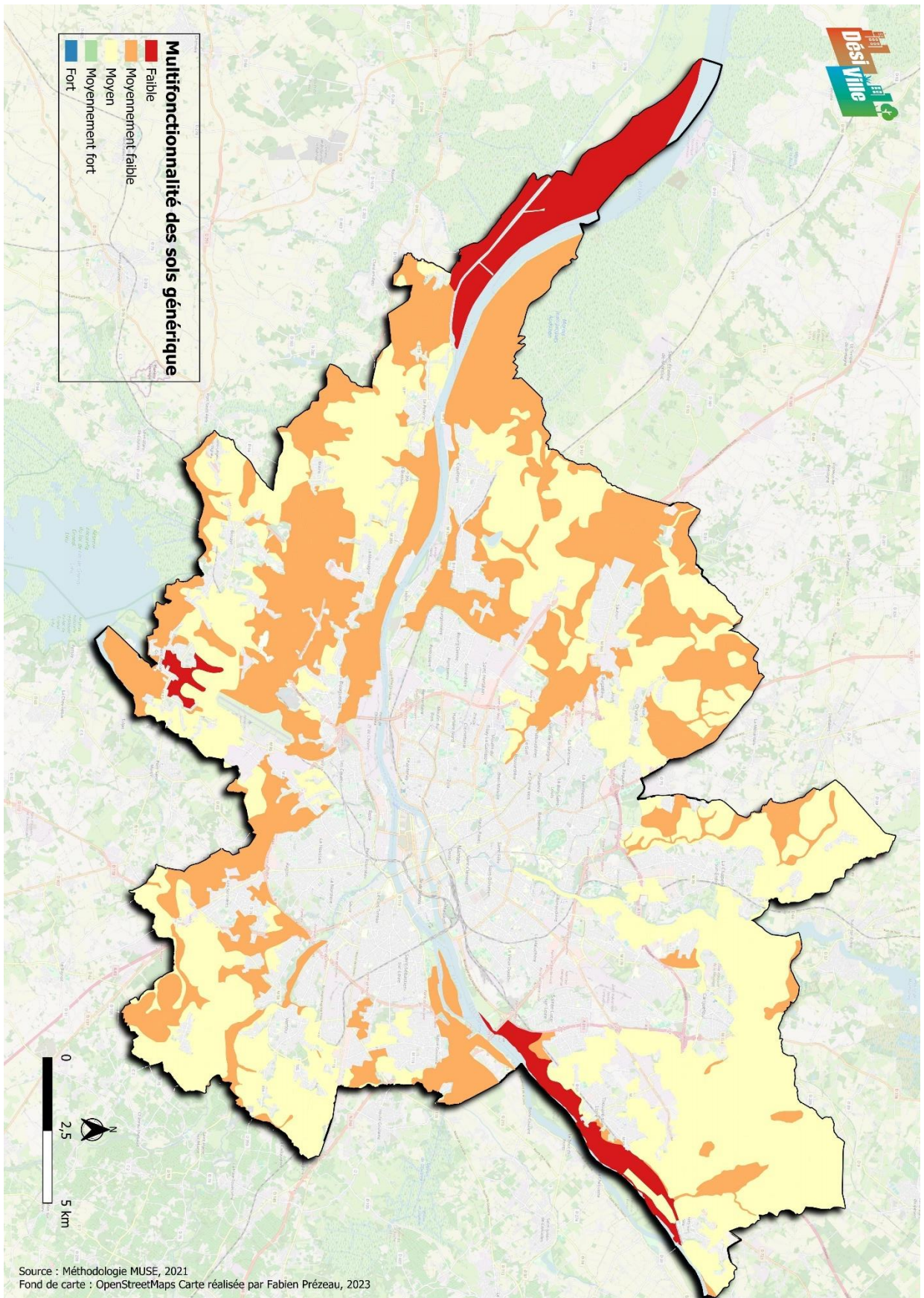


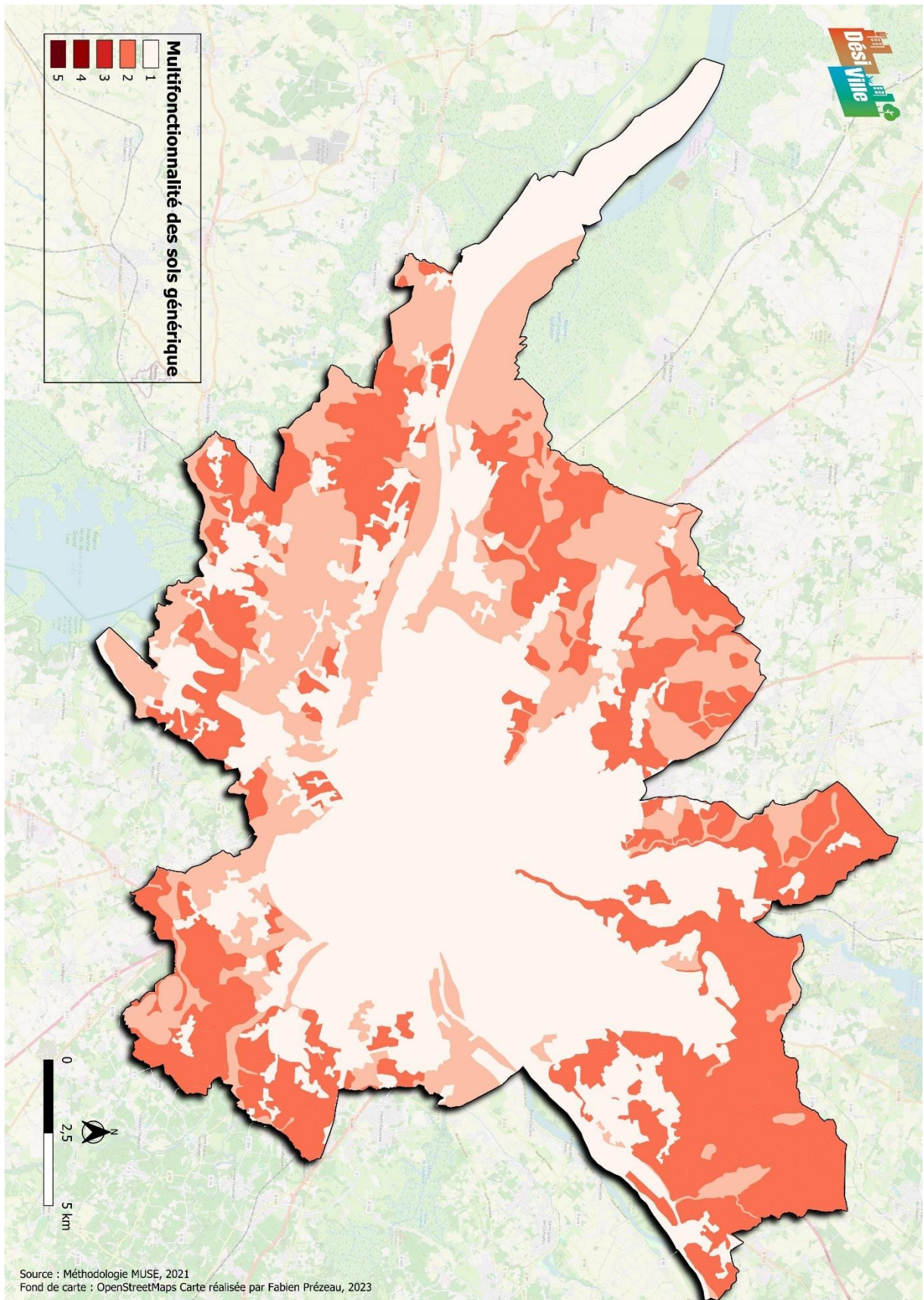


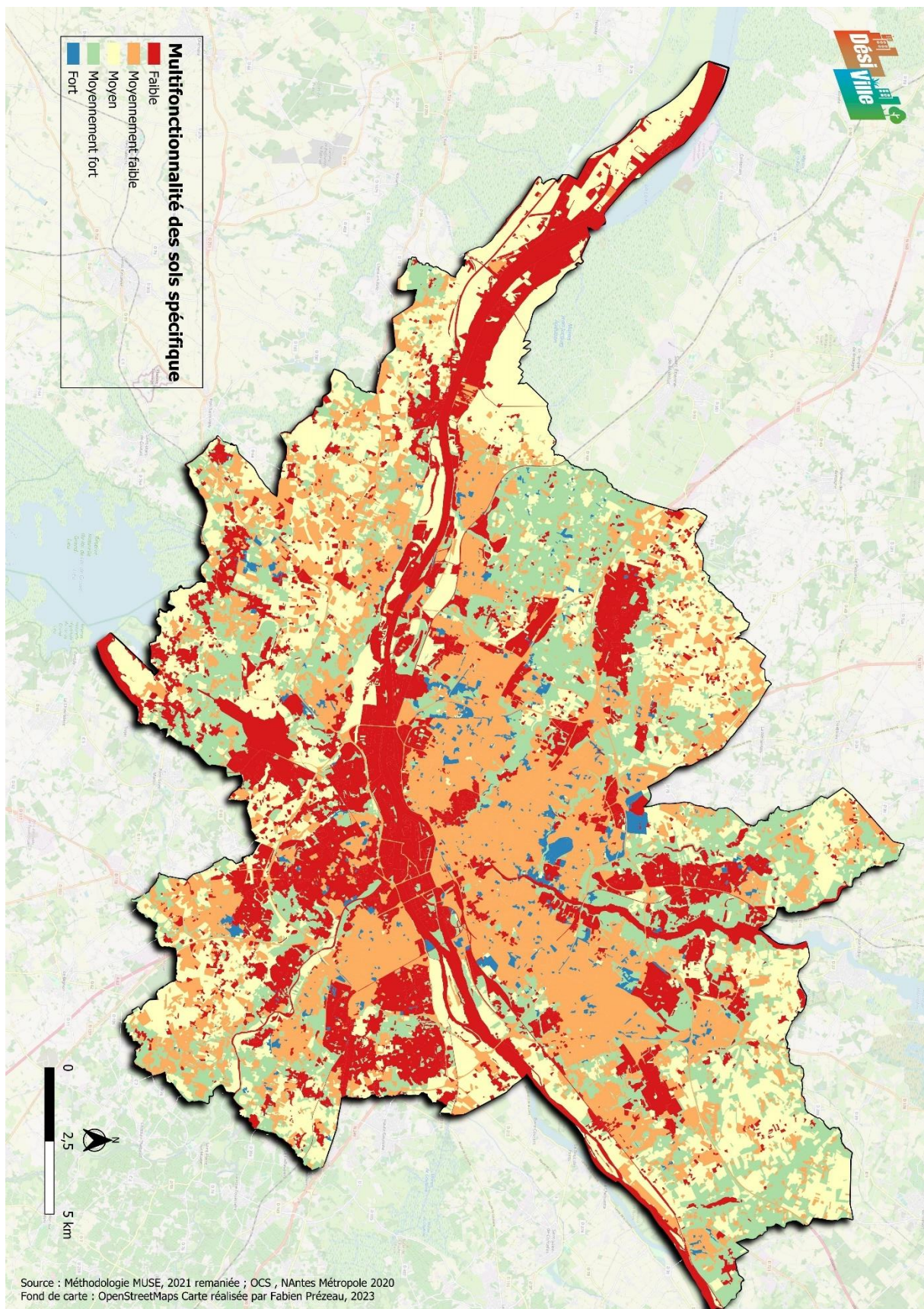


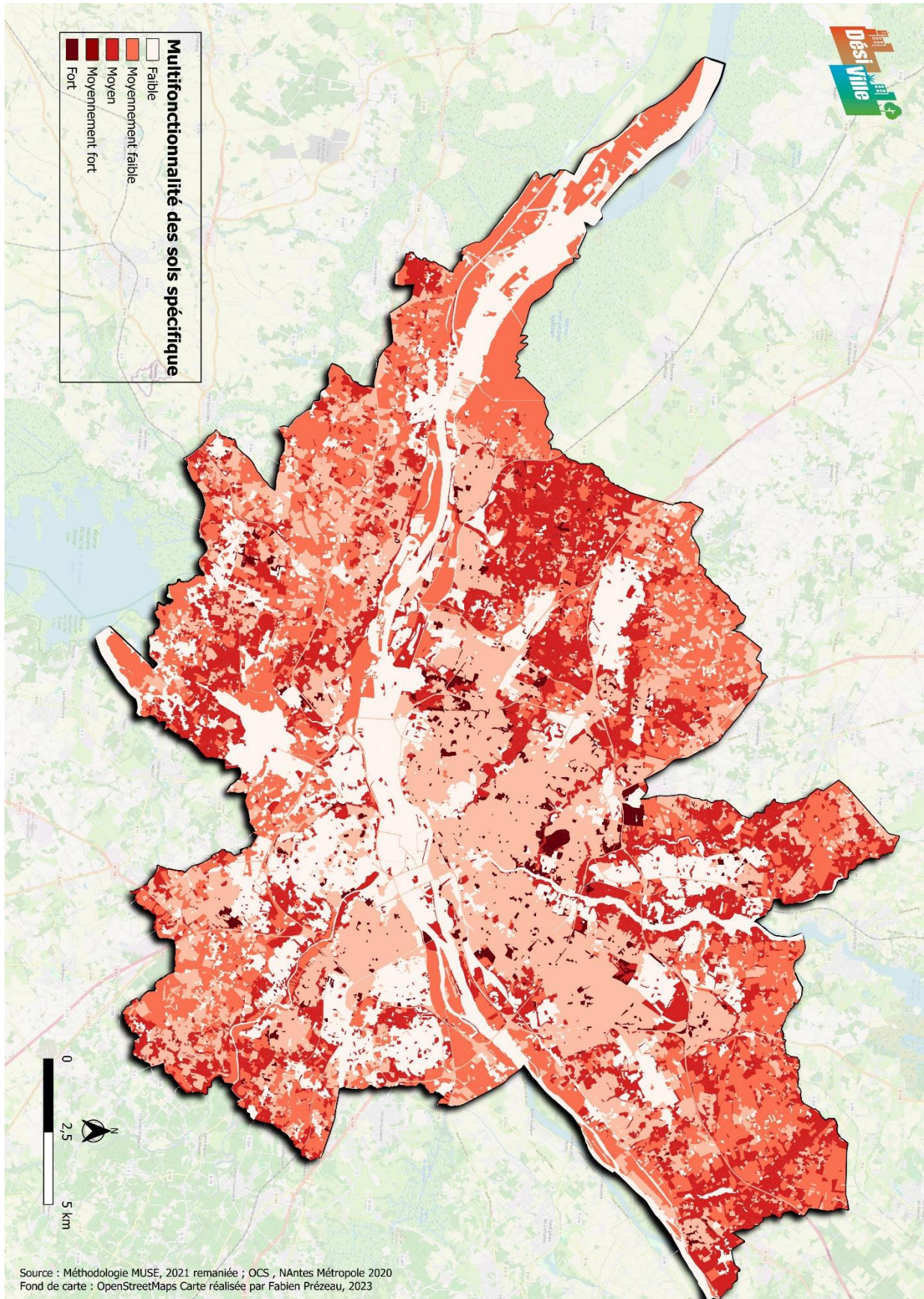


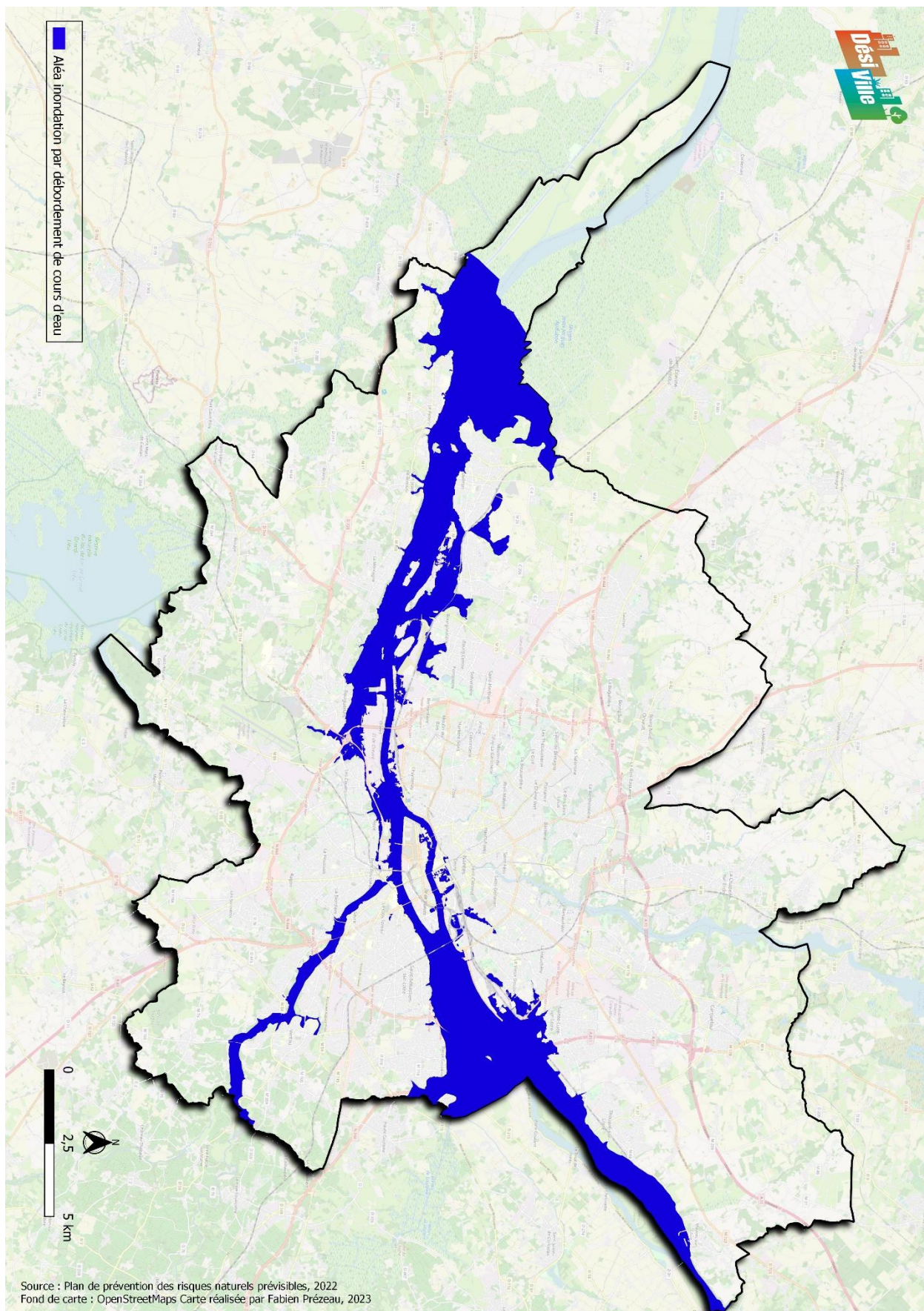






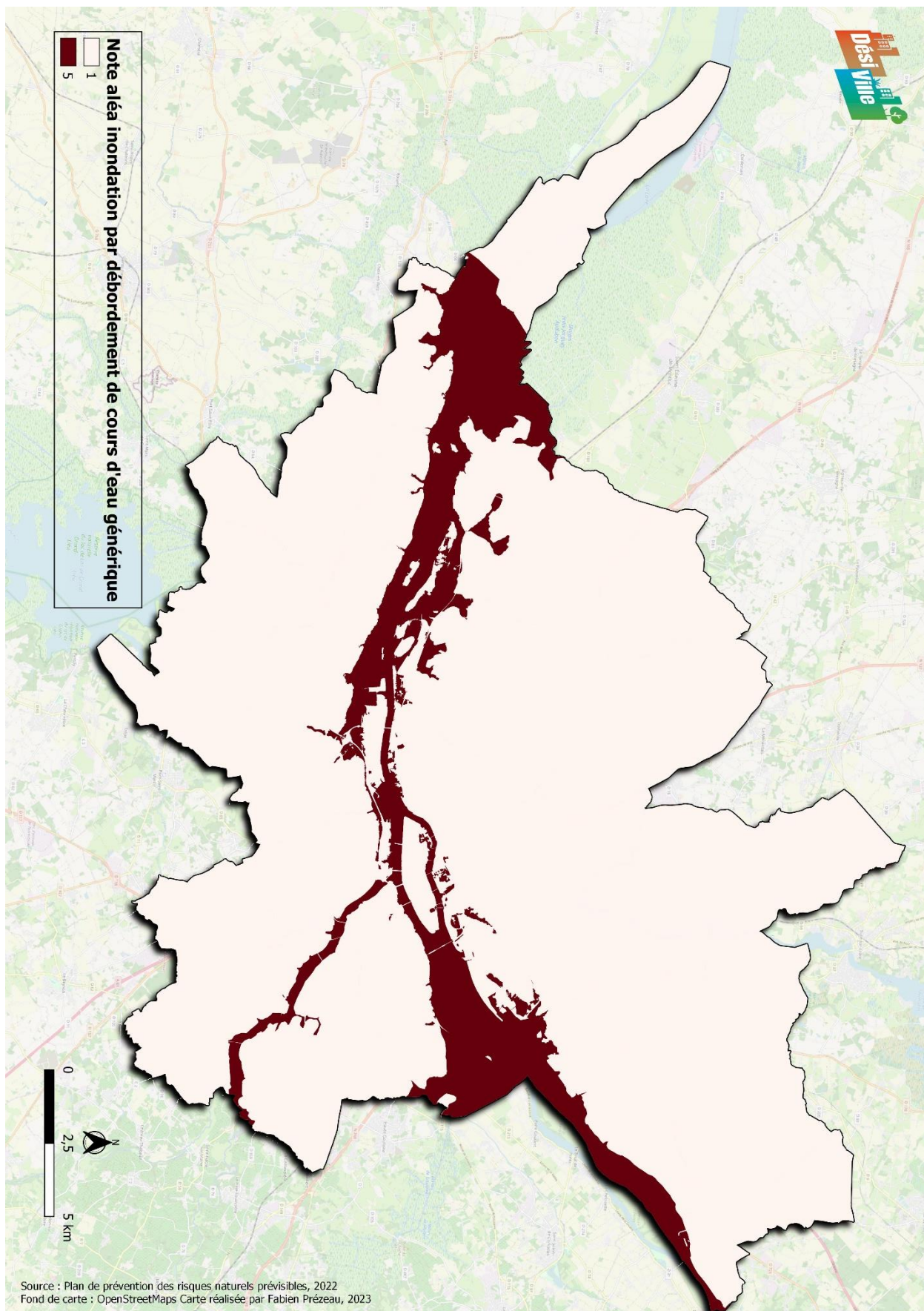


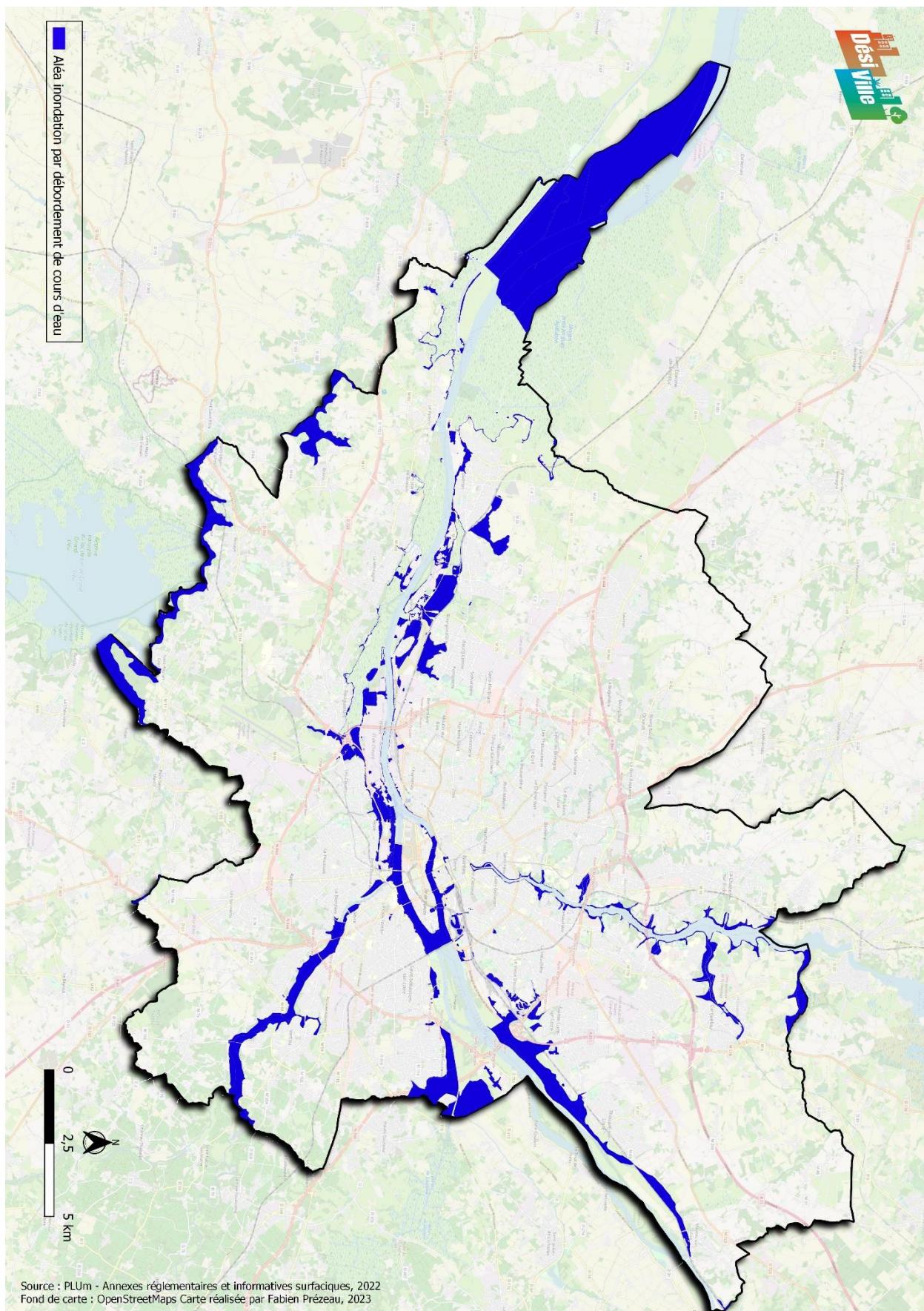


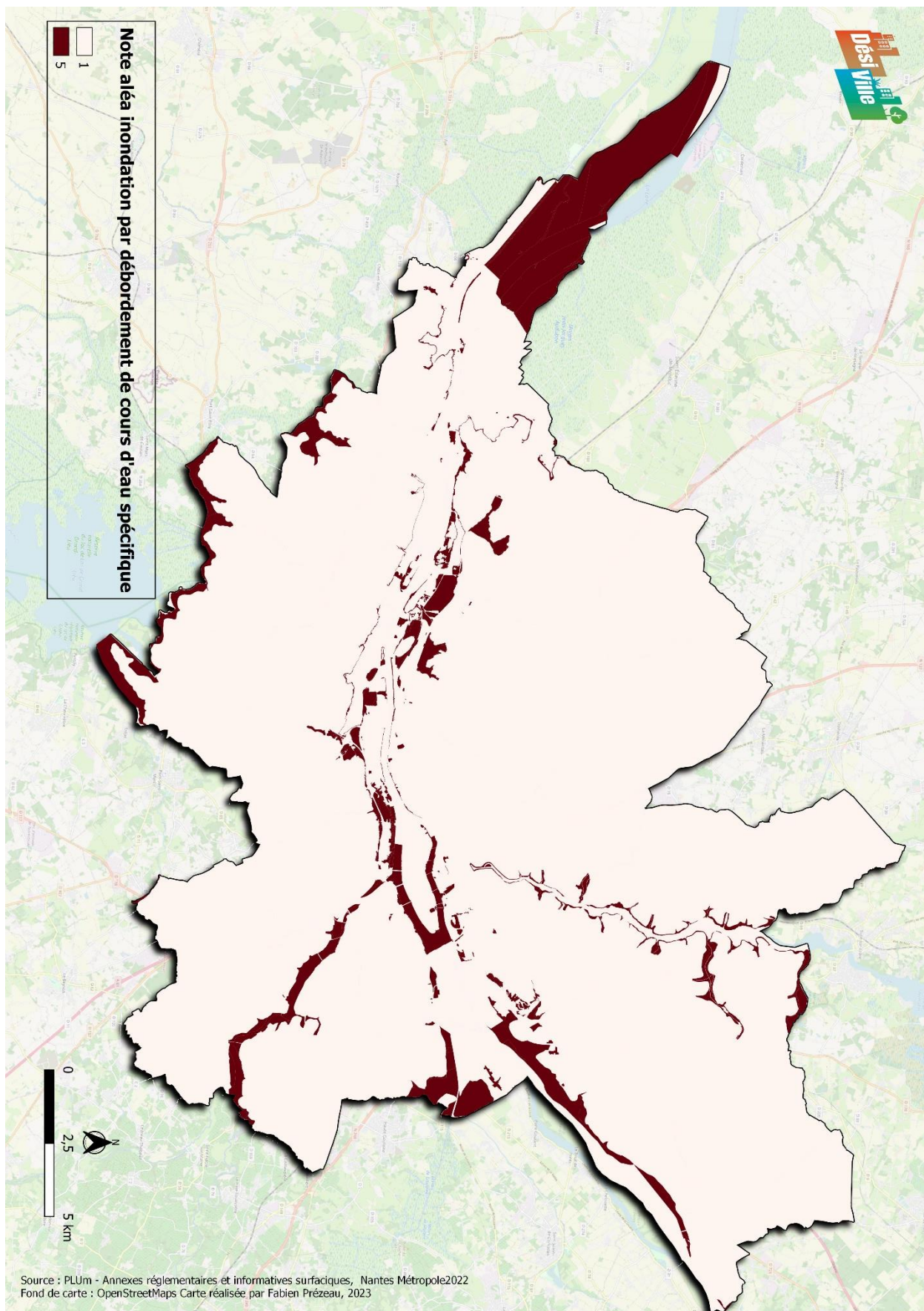


Source : Plan de prévention des risques naturels prévisibles, 2022
Fond de carte : OpenStreetMaps Carte réalisée par Fabien Prézeau, 2023









INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des critères sélectionnés par thématique précisant les échelles de validité et les systèmes de notation (classes, poids) proposés pour cartographier la faisabilité et le potentiel de désimpermeabilisation des sols à l'échelle territoriale	17
Tableau 2 : Données disponibles nationalement mobilisées pour la cartographie du potentiel de désimpermeabilisation à l'échelle territoriale selon la méthode générique.	22
Tableau 3 : Données à générer à partir de méthodes disponibles ou à acquérir pour la cartographie du potentiel de désimpermeabilisation à l'échelle territoriale selon la méthode générique	23
Tableau 4 : Données mobilisées pour l'approche spécifique en substitution totale ou partielle par rapport à la méthode générique pour l'application sur le territoire de Nantes Métropole	24
Tableau 5 : Système de notation provisoire de l'usage du sol de l'OCS GE	27
Tableau 6 : Système futur de notation du type d'occupation des sols à partir de l'OCS GE	28
Tableau 7 : Système de notation selon l'occupation du sol (BD MOS 44)	28
Tableau 8 : Système de notation de la propriété foncière.....	29
Tableau 9 : Système de notation de la taille des surfaces selon la densité urbaine.....	29
Tableau 10 : Système de notation selon les zones bâties et non bâties	30
Tableau 11 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères relatifs à la thématique des caractéristiques des surfaces imperméables	30
Tableau 12 : Système de notation et pondération des critères d'infiltrabilité proposés dans la méthode PHOEBUS (Pinson et Bault., 2019)	32
Tableau 13 : Système de notation du critère de roches solubles	33
Tableau 14 : Système de notation de l'aléa pollution de sols intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines.....	34
Tableau 15 : Système de notation du critère de l'aléa inondation par remontée de nappe.....	34
Tableau 16 : Système de notation du critère d'aire d'alimentation de captage d'eau potable.....	35
Tableau 17 : Système de notation du critère aléa géotechnique qui regroupe 3 sous-critères (aléa retrait-gonflement des argiles, mouvements de terrain-chutes de blocs, cavités souterraines.....	35
Tableau 18 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères de la thématique des contraintes environnementales	35
Tableau 19 : Système de notation des zones climatiques locales (LCZ) pour cartographier les zones propices à la lutte contre aléa îlot de chaleur urbain.....	37
Tableau 20 : Système de notation de l'aléa inondation par ruissellement.....	38
Tableau 21 : Système de notation de la biodiversité	38
Tableau 22 : Système de notation de l'aménité	38
Tableau 23 : Système de notation de la multifonctionnalité des sols	39
Tableau 24 : Système de notation de l'aléa débordements de cours d'eau	39
Tableau 25 : Récapitulatif du système de notation et de pondération des critères de la thématique atouts et bénéfiques de la désimpermeabilisation	40
Tableau 26 : Description des 44 types d'occupation du sol utilisés dans Corine Land Cover	83
Tableau 27 : Système de notation selon Corine Land Cover.....	84
Tableau 28 : Tableau des combinaisons entre texture et drainage – Evaluation de la perméabilité en combinant les textures et le drainage.....	87
Tableau 29 Liste des champs de la BD CHARM (Janjou, 2004)	90
Tableau 30 : Données utilisées par thématique et échelle de résolution associée	91
Tableau 31 : Système de notation expérimental de l'aléa pollution des sols lié aux sites Basias, sur le territoire étudié.....	94
Tableau 32 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux sites BASOL	94
Tableau 33 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux SIS	95
Tableau 34 : Système de notation de l'aléa pollution des sols lié aux remblais	95
Tableau 35 : Système de notation développé pour l'aléa pollution des sols lié à certaines activités agricoles (vigne, maraîchage, horticulture, arboriculture et pépinières), méthode spécifique.	95
Tableau 36 : Note de vulnérabilité des eaux souterraines	97



Tableau 37 : Tableau de note du critère aléa pollution du sol intégrant la vulnérabilité des eaux souterraines	97
Tableau 38 : Système de notation du critère Retrait-Gonflement des argiles	98
Tableau 39 : Système de notation du critère Mouvement de terrain / Chute de bloc	98
Tableau 40 : Système de notation du critère Cavités souterraines / Karst	99

FIGURES

Figure 1 : Analyse comparative des avantages (en vert) et inconvénients (en rouge) de la désimperméabilisation des sols par comparaison avec l'imperméabilisation.	10
Figure 2 : Etapes d'une opération de désimperméabilisation (adapté de CDC Biodiversité et Humanité Biodiversité 2021 et Limasset et al., 2021)	10
Figure 3 : Recensement des analyses multicritères appliquées aux SIG dans la littérature (Malczewski, 2006).....	13
Figure 4 : Thématiques identifiées pour classer les critères retenus pour la cartographie du potentiel de désimperméabilisation.....	15
Figure 5 : Critères retenus par thématique en vue de l'analyse multicritère du potentiel de désimperméabilisation.....	16
Figure 6 : Arbre de décision afin de faciliter la décision de la désimperméabilisation	18
Figure 7 : Arbre de décision avec les caractéristiques des surfaces imperméables	18
Figure 8 : Combinaison de la BD Topo de l'IGN avec l'OCS GE pour affiner l'emprise des bâtiments sur la carte des surfaces imperméabilisées	26
Figure 9 : Rappel des critères pris en compte dans la thématique des caractéristiques de surfaces imperméables	27
Figure 10 : Influence des paramètres sur les différents compartiments (surface et sol – modifié, d'après Pinson et Bault., 2019)	31
Figure 11 : Critères retenus pour illustrer les contraintes environnementales.....	33
Figure 12 : Critères de sélection des atouts et bénéfiques	37
Figure 13 : Répartition de l'occupation du sol de Nantes Métropole entre 1952 et 2020 (Source : OCS 1952 et 2020, Nantes Métropole).....	41
Figure 14 : Communes composant Nantes Métropole.....	42
Figure 15 : Carte de l'évolution de l'artificialisation de Nantes Métropole depuis 1952	44
Figure 16 : Localisation des surfaces imperméables de Nantes Métropole	45
Figure 17 : Carte du potentiel de désimperméabilisation des sols selon les caractéristiques des surfaces imperméables (méthode générique)	47
Figure 18 : Carte du potentiel de désimperméabilisation des sols selon les caractéristiques des surfaces imperméables (méthode spécifique)	48
Figure 19 : Carte du potentiel de désimperméabilisation selon l'infiltrabilité du sol.....	49
Figure 20 : Carte du potentiel de désimperméabilisation des sols selon les critères des contraintes environnementales (méthode générique).....	51
Figure 21 : Carte du potentiel de désimperméabilisation des sols selon les critères des contraintes environnementales (méthode spécifique)	52
Figure 22 : Potentiel de désimperméabilisation selon les critères atouts et bénéfiques (méthode générique)	54
Figure 23 : Potentiel de désimperméabilisation selon les critères atouts et bénéfiques (méthode spécifique)	55
Figure 24 : Faisabilité de la désimperméabilisation des sols (méthode générique)	57
Figure 25 : Zoom sur la faisabilité de la désimperméabilisation des sols (méthode générique)	58
Figure 26 : Zoom sur la faisabilité de la désimperméabilisation des sols (méthode spécifique)	58
Figure 27 : Faisabilité de la désimperméabilisation des sols (méthode spécifique)	59
Figure 28 : Zoom sur le potentiel de désimperméabilisation (méthode générique)	60
Figure 29 : Potentiel de désimperméabilisation (méthode générique).....	61
Figure 30 : Potentiel de désimperméabilisation (méthode spécifique)	62
Figure 31 : Zoom sur le potentiel de désimperméabilisation (méthode spécifique).....	63
Figure 32 : Exemple d'indice d'encombrement du sol par des réseaux enterrés sur Pirmil – test à partir des réseaux d'assainissement	66



Figure 33 : Cartographie des emprises des anciens sites industriels et activités de service et des activités potentiellement polluantes au sein de la concession d'aménagement Pirmil- les -Isles (Le Guern et al., 2023).....	67
Figure 34 : Aléa pollution des sols actualisé avec des données locales (issues de l'IHU décrit dans Le Guern et al, 2017 et de la cartographie des remblais de Le Guern et al., 2023).....	68
Figure 35 : Aléa pollution des sols (méthode territoriale spécifique)	68
Figure 36 : Potentiel de désimperméabilisation selon les contraintes environnementales intégrant des données locales plus précises sur l'aléa pollution des sols	69
Figure 37 : Potentiel de désimperméabilisation selon les contraintes environnementales (méthode territoriale spécifique)	69
Figure 38 : Faisabilité de la désimperméabilisation des sols à l'échelle quartier Pirmil intégrant les nouvelles données produites et les données plus précises sur l'aléa pollution des sols, la biodiversité et l'aménité	71
Figure 39 : Potentiel de la désimperméabilisation des sols à l'échelle quartier avec la surimposition de données.....	72
Figure 40 : Description de l'occupation du sol CORINE Land Cover (Source : statistiques.developpement-durable.gouv.fr, 2018)	82
Figure 41 : La texture du sol GEPPA (source : Baize D ., 1995, in Pinson et Bault, 2019)	86
Figure 42 : Schéma explicatif des différents croisements possibles entre les sites BASIAS et le parcellaire (carré gris : parcelle ; carré jaune : parcelle intersectée (contour de site) ; point rouge : site BASIAS ; cercle rouge : buffer). Réalisation : Alix Cornu-Lachamp.....	92
Figure 43 : Hiérarchisation des pressions liées aux différentes sources de pollutions (potentielles) prises en compte pour cartographier l'aléa pollution des sols (priorité décroissante du haut vers le bas), à l'échelle de la parcelle	96

SIGLES ET ACRONYMES

AAC	Aire d'Alimentation de Captage
AAU	Laboratoire Ambiances Architectures Urbanités
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AHP	Analytic Hierarchy Process
BASIAS	Base des anciens sites industriels et activités de services
BASOL	Base des sols pollués
BDNB	Base de Données Nationale des Bâtiments
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS	Banque du Sous-Sol
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DT-DICT	Déclaration de Travaux à proximité de réseaux
ICU	Ilot de Chaleur Urbain
IDPR	Indice de Persistance des Réseaux
IGN	Institut national de l'information géographique et forestières
IHU	Inventaire Historique Urbain
INPN	Inventaire National du Patrimoine Naturel
IPR	Institut Paris Région
IRSTV	Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville
LCZ	Local Climate Zone
MADA	MultiAttribute Decision Analysis
MNT	Modèle Numérique de Terrain



MODA	MultiObjective Decision Analysis
MOS	Mode d'Occupation du sol
NM	Nantes Métropole
OCS GE	Occupation du sol à Grande Echelle
PCI	Parcellaire Express
PLUm	Plan Local d'Urbanisme métropolitain
PPRI	Plan de Prévention des Risques d'Inondations
PPRNP	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles
RRP	Référentiels Régionaux Pédologiques
SIG	Système d'information géographique
SIS	Secteur d'information sur les sols
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique
TVB	Trames Vertes et Bleues
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté
ZAN	Zéro Artificialisation Nette
ZNS	Zone Non Saturée



L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Où désimpermeabiliser les sols ?

La désimpermeabilisation répond à différents enjeux relatifs au cycle de l'eau, à l'adaptation au changement climatique, à la biodiversité et au bien-être des habitants. En tant qu'étape vers la renaturation, elle permet de répondre aux objectifs du ZAN (zéro artificialisation nette).

Ce guide méthodologique s'adresse aux gestionnaires de territoires et aux acteurs qui les accompagnent. Il décrit plus particulièrement des méthodes de cartographie du potentiel de désimpermeabilisation à l'échelle du territoire et à l'échelle du quartier, et illustre leur application sur le territoire test de Nantes Métropole.

Les critères pris en compte sont organisés en 4 thématiques : i) caractéristiques des sols imperméabilisés, ii) infiltrabilité des sols, iii) contraintes environnementales (risques naturels et anthropiques, ressources et écosystèmes à protéger), iv) atouts d'une désimpermeabilisation. A l'échelle du quartier, la méthode s'appuie sur des données locales, plus précises et/ou complémentaires par rapport à celles utilisées à l'échelle territoriale.

Les couches d'information géographiques les plus essentielles à générer sont par exemple les inondations par ruissellement, l'aléa pollution des sols et l'encombrement du sol par les réseaux enterrés. L'imperméabilité naturelle du (sous)-sol, ou la présence de roches solubles (ex. gypses) sont considérés comme des critères d'exclusion. D'autres couches d'informations méritent des gains de précision.

Essentiel à retenir ou exergue ou discours marketing Où désimpermeabiliser les sols ?

Ce guide propose un cadre méthodologique pour cartographier le potentiel de désimpermeabilisation des sols à partir de données disponibles nationalement, avec la possibilité d'utiliser des données locales plus précises.

Les cartes obtenues peuvent servir de base à l'élaboration de stratégies de désimpermeabilisation, comme outil de communication, de débat ou d'aide à la décision. Un arbre de décision permet de vérifier la bonne prise en compte de différents critères de faisabilité.

Si ce document comporte une référence ADEME et un ISBN :

Changer le Code barre + Le numéro

**Clic droit sur le code barre puis REMPLACER L'IMAGE ou le/les
supprimer s'il n'y en a pas.**

00000



9 791029 712128