



**Master Observation de la Terre et Géomatique**  
**Première Année**

**Travail d'Etude et de Recherche**  
**Mémoire**  
**Année 2016 – 2017**

**Quentin POTEREK**

---

**Sujet :** Evaluation des produits « taches urbaines/artificialisées » existants.

**Encadrante :** Madame Anne PUISSANT  
Laboratoire Image, Ville, Environnement – UMR 7362  
3, rue de l'Argonne  
67083 Strasbourg

**Jury :** Madame Anne PUISSANT, *Maître de conférences HDR – Université de Strasbourg*  
Monsieur Jean-Philippe MALET, *Maître de conférences – Université de Strasbourg*  
Monsieur Aziz SERRADJ, *Maître de conférences – Université de Strasbourg*



## **REMERCIEMENTS**

Suite à ces quelques mois de travaux menés sous la supervision de Madame Anne Puissant, c'est évidemment la première personne qui me vient à l'esprit lorsqu'il s'agit de montrer reconnaissance et gratitude. Merci pour sa disponibilité et la confiance qu'elle a su jusque-là m'accorder, mais aussi pour ses conseils avisés... C'est promis, je ne passerai mon brevet théorique pour pilotage de drone qu'après avoir décroché le permis de conduire.

Je remercie chaleureusement l'ensemble de l'équipe de la Faculté de Géographie de Strasbourg pour tous les bons moments qui ont marqué ces quatre dernières années. Mes pensées vont plus particulièrement à Monsieur Aziz Serradj, sans qui je n'aurais jamais envisagé de m'orienter vers le domaine de la géomatique, et à qui je souhaite de profiter de sa retraite bien méritée. Mes remerciements vont aussi à Monsieur Arnaud Piombini, qui a accepté de m'aider à trouver un stage à la fin de mon parcours en licence, me permettant de faire mes premiers pas dans le monde de la recherche. De la même manière, j'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur Marc Fleck, qui a su jusque-là supporter mes requêtes incessantes, et qui m'a permis de travailler dans de bonnes conditions.

Un grand merci à l'ensemble des camarades que j'ai pu rencontrer en licence et en master, qui m'ont beaucoup appris et grâce auxquels j'ai pu m'épanouir tout au long de ce parcours. Mes pensées vont plus particulièrement à Léa, Mathilde et Pauline. Que ferait Jerry sans ses Sam, Clover et Alex... Merci également à mes amies de grande date, Laura, Colette et Martine, pour leur soutien et les liens solides que nous entretenons depuis toutes ces années.

Enfin, je souhaite exprimer mes remerciements les plus sincères à ma mère et à mon frère pour leurs encouragements, leur aide au quotidien et pour le fait de m'avoir poussé à continuer sur cette voie que je chéris tant aujourd'hui.

## TABLE DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>TABLE DES MATIERES .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>GLOSSAIRE .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>LISTE DES FIGURES.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>LISTE DES ANNEXES .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>INTRODUCTION.....</b>  | <b>10</b> |
| <b>I. POSITION ET CADRE DU SUIVI DES DYNAMIQUES D'ANTHROPISSATION .....</b>                             | <b>11</b> |
| 1. Les concepts liés à l'anthropisation .....   | 11        |
| 2. Les problèmes posés par les processus d'artificialisation et d'urbanisation .....                    | 11        |
| 3. Les données géographiques comme outil de veille privilégié .....                                     | 12        |
| <b>II. CADRE SPATIAL ET OFFRE EN PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE ».....</b>                             | <b>13</b> |
| 1. Sites retenus pour l'évaluation des produits.....  | 13        |
| a. Définition d'un échelon géographique adapté au suivi de l'urbanisation.....                          | 13        |
| b. Sélection d'aires urbaines fonctionnelles françaises pour la comparaison de l'offre .....            | 13        |
| 2. Produits « tache artificialisée » retenus.....   | 15        |
| a. CES OSO .....  | 17        |
| b. CORINE Land Cover .....  | 17        |
| c. Global Land Cover 2000.....  | 18        |
| d. GlobeLand30 .....  | 19        |
| e. Global Urban Footprint .....   | 20        |
| f. High Resolution Layers – Volet « Imperviousness » .....  | 21        |
| g. OCS GE .....   | 21        |
| h. Produit A <sup>2</sup> S .....   | 22        |
| i. Urban Atlas .....  | 24        |
| 3. Sélection d'un millésime pour les produits multi-dates.....  | 24        |
| <b>III. METHODOLOGIE POUR L'EVALUATION ET LA COMPARAISON DES PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE ».....</b> | <b>26</b> |
| 1. Production des taches artificialisées à partir de bases de données géographiques.....                | 27        |
| a. Extraction et préparation des bases de données géographiques .....                                   | 27        |
| b. Harmonisation des bases de données géographiques .....   | 28        |
| 2. Production d'indicateurs pour comparer les produits « tache artificialisée » .....                   | 28        |
| a. Evaluation spécifique aux produits vectoriels.....   | 29        |
| i. Construction de profils granulométriques .....   | 29        |

## Table des matières

---

|   |           |
|---|-----------|
| ii. <i>Cartographie des isolats</i> .....   | 29        |
| b. Evaluation généralisée à l'ensemble des produits .....   | 29        |
| i. <i>Calcul de métriques spatiales</i> .....   | 30        |
| ii. <i>Calcul de matrices de confusion</i> .....  | 32        |
| iii. <i>Cartographie de l'agrément</i> .....  | 33        |
| <b>IV. RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA QUALITE DE L'OFFRE EN PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE ».....</b> | <b>35</b> |
| 1. <b>Comparaison des produits vectoriels .....</b>   | <b>35</b> |
| a. Analyse granulométrique .....  | 35        |
| b. Analyse des isolats .....  | 37        |
| 2. <b>Comparaison étendue à l'ensemble des produits .....</b>   | <b>39</b> |
| a. Métriques spatiales.....   | 39        |
| b. Matrices de confusion .....  | 41        |
| i. <i>Analyse des matrices pour l'ensemble des produits vecteur</i> .....                               | 41        |
| ii. <i>Analyse des matrices pour l'ensemble des produits raster</i> .....                               | 42        |
| iii. <i>Analyse détaillée des matrices pour les quatre produits raster sélectionnés</i> .....           | 43        |
| c. Cartographie de l'agrément .....   | 44        |
| i. <i>Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits vecteur</i> .....                              | 45        |
| ii. <i>Analyse de l'agrément pour le sous-ensemble de produits raster</i> .....                         | 46        |
| iii. <i>Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits raster</i> .....                             | 47        |
| iv. <i>Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits</i> .....                                     | 48        |
| <b>V. DISCUSSION.....</b>   | <b>50</b> |
| <b>CONCLUSION.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>  | <b>56</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>59</b> |

## GLOSSAIRE

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>A<sup>2</sup>S</b>   | Alsace – Aval - Sentinel  |
| <b>AUF</b>              | Aire Urbaine Fonctionnelle  |
| <b>CART</b>             | Classification And Regression Trees   |
| <b>C<sub>c</sub></b>    | Coefficient de courbure   |
| <b>CES</b>              | Centre d'Expertise Scientifique   |
| <b>CLC</b>              | CORINE Land Cover   |
| <b>CNIG</b>             | Conseil National de l'Information Géographique  |
| <b>COTS</b>             | Composant pris sur étagère, <i>Commercial Off-The Shelf</i>   |
| <b>C<sub>u</sub></b>    | Coefficient d'uniformité  |
| <b>DLR</b>              | Centre Allemand pour l'Aéronautique et l'Astronautique, <i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>                            |
| <b>FAO</b>              | Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> |
| <b>GEIS</b>             | Global Environment Information System   |
| <b>GLC2000</b>          | Global Land Cover 2000  |
| <b>GUF</b>              | Global Urban Footprint  |
| <b>HANTS</b>            | Harmonic Analysis of Time Series  |
| <b>HRL</b>              | High Resolution Layers  |
| <b>IGN</b>              | Institut Géographique National  |
| <b>IMI</b>              | Largeur Minimale d'Intérêt  |
| <b>INSEE</b>            | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques   |
| <b>INSPIRE</b>          | Infrastructure pour l'Information Géographique en Europe, <i>Infrastructure for Spatial Information in Europe</i>                   |
| <b>iota<sup>2</sup></b> | Infrastructure pour l'Occupation des sols par Traitement Automatique Incorporant les Orfeo Toolbox (OTB) Applications               |
| <b>JRC</b>              | Joint Research Center   |
| <b>LCCS</b>             | Land Cover Classification System  |
| <b>LMI</b>              | Longueur Minimale d'Intérêt   |
| <b>NTL</b>              | Stable Night-Time Light   |
| <b>OCDE</b>             | Organisation de Coopération et de Développement Economiques   |
| <b>OOB</b>              | Out Of the Bag  |
| <b>OCS GE</b>           | Occupation du Sol à Grande Echelle  |
| <b>OSM</b>              | OpenStreetMap   |
| <b>OSO</b>              | Occupation du Sol Opérationnelle  |
| <b>PELCOM</b>           | Pan-European Land Use and Land Cover Monitoring   |
| <b>POK</b>              | Pixel – Object – Knowledge  |
| <b>RGE</b>              | Référentiel à Grande Echelle  |
| <b>SVDD</b>             | Support Vector Data Description   |
| <b>UFP</b>              | Urban Footprint Processor   |
| <b>UMC</b>              | Unité Minimale de Cartographie  |

## **LISTE DES FIGURES**

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figure 1</b>  | Aires urbaines fonctionnelles retenues pour la comparaison des produits .....   | 14 |
| <b>Figure 2</b>  | Périodes de publication des bases de données d'occupation du sol retenues .....   | 25 |
| <b>Figure 3</b>  | Organigramme des traitements réalisés pour la comparaison des produits « tache artificialisée » .....   | 26 |
| <b>Figure 4</b>  | Impact de la résolution utilisée lors de la rastérisation d'un produit vectoriel .....  | 27 |
| <b>Figure 5</b>  | Exemple d'harmonisation d'une nomenclature pour la production de la tache artificialisée.....   | 28 |
| <b>Figure 6</b>  | Description des trois échelons disponibles pour le calcul des indicateurs spatiaux.....   | 30 |
| <b>Figure 7</b>  | Complémentarité géométrique des produits vectoriels.....  | 36 |
| <b>Figure 8</b>  | Description des valeurs d'agrément pour les produits vectoriels dans les périphéries toulousaine et bordelaise.....                             | 46 |
| <b>Figure 9</b>  | Description des valeurs d'agrément pour un sous-ensemble de produits raster sur le continuum urbain – rural de l'aire urbaine grenobloise ..... | 47 |
| <b>Figure 10</b> | Influence du prototype A <sup>2</sup> S sur les valeurs d'agrément mesurées pour un sous-ensemble de produits raser .....                       | 47 |
| <b>Figure 11</b> | Influence du produit GLC2000 sur les valeurs d'agrément mesurées pour les bases de données raster .....   | 48 |
| <b>Figure 12</b> | Erreurs de classification observées à Grenoble et Strasbourg, sur les produits A <sup>2</sup> S et CES OSO L8 .....                             | 49 |
| <b>Figure 13</b> | Conséquences de la rastérisation sur la géométrie de la tache artificialisée.....   | 54 |

**LISTE DES TABLEAUX**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1</b> Morphologies des aires urbaines fonctionnelles retenues .....  | 14 |
| <b>Tableau 2</b> Spécifications des produits retenus .....  | 16 |
| <b>Tableau 3</b> Dates de production retenues pour les produits millésimés.....   | 25 |
| <b>Tableau 4</b> Dates de production pour le prototype A <sup>2</sup> S.....  | 25 |
| <b>Tableau 5</b> Description des métriques spatiales retenues (adapté de McGarigal & Marks, 1995) .....   | 31 |
| <b>Tableau 6</b> Matrice de confusion et indicateurs qualité .....  | 32 |
| <b>Tableau 7</b> Résumé des valeurs d'agrément en 5 classes.....  | 34 |
| <b>Tableau 8</b> Coefficients d'uniformité (Cu) et de courbure (Cc) pour différents produits vectoriels .....   | 36 |
| <b>Tableau 9</b> Pourcentage de la surface occupée par les isolats de différents produits d'occupation du sol, par rapport à la surface totale de la tache artificialisée ..... | 37 |
| <b>Tableau 10</b> Surface des taches urbaines minimales pour différentes catégories de produits .....   | 45 |
| <b>Tableau 11</b> Résumé des caractéristiques des produits vecteur et propositions d'usages adéquats.....   | 52 |
| <b>Tableau 12</b> Résumé des caractéristiques des produits raster et propositions d'usages adéquats.  | 53 |

## LISTE DES ANNEXES

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Annexe 1</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux .....        | 60 |
| <b>Annexe 2</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble.....         | 61 |
| <b>Annexe 3</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz.....             | 62 |
| <b>Annexe 4</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes.....           | 63 |
| <b>Annexe 5</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg.....       | 64 |
| <b>Annexe 6</b>  | Cartographie de l'occupation du sol pour différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse.....         | 65 |
| <b>Annexe 7</b>  | Nomenclatures et tables d'harmonisation pour les produits étudiés .....  | 66 |
| <b>Annexe 8</b>  | Organigramme de la chaîne de traitements utilisée pour aboutir au produit A <sup>2</sup> S.....                            | 71 |
| <b>Annexe 9</b>  | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux.....    | 72 |
| <b>Annexe 10</b> | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble .....   | 73 |
| <b>Annexe 11</b> | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz .....       | 74 |
| <b>Annexe 12</b> | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes .....     | 75 |
| <b>Annexe 13</b> | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg ..... | 76 |
| <b>Annexe 14</b> | Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse .....   | 77 |
| <b>Annexe 15</b> | Profils granulométriques des produits vectoriels pour chaque site.....   | 78 |
| <b>Annexe 16</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux .....              | 79 |
| <b>Annexe 17</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble .....              | 80 |
| <b>Annexe 18</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz.....                   | 81 |
| <b>Annexe 19</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes.....                 | 82 |
| <b>Annexe 20</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg.....             | 83 |
| <b>Annexe 21</b> | Identification des isolats sur la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse.....               | 84 |
| <b>Annexe 22</b> | Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux.....                             | 85 |
| <b>Annexe 23</b> | Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble .....                            | 86 |
| <b>Annexe 24</b> | Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Metz .....                                | 87 |

## Liste des annexes

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Annexe 25</b> Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes.....   | 88  |
| <b>Annexe 26</b> Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg .....  | 89  |
| <b>Annexe 27</b> Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse .....  | 90  |
| <b>Annexe 28</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Bordeaux .....   | 91  |
| <b>Annexe 29</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Grenoble .....   | 92  |
| <b>Annexe 30</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Metz.....  | 93  |
| <b>Annexe 31</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Rennes.....  | 94  |
| <b>Annexe 32</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Strasbourg.....  | 95  |
| <b>Annexe 33</b> Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Toulouse .....   | 96  |
| <b>Annexe 34</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux (Total et Vecteur).....          | 97  |
| <b>Annexe 35</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux (Raster et sous-ensemble).....   | 98  |
| <b>Annexe 36</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble (Total et Vecteur).....          | 99  |
| <b>Annexe 37</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble (Raster et sous-ensemble).....   | 100 |
| <b>Annexe 38</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz (Total et Vecteur).....              | 101 |
| <b>Annexe 39</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz (Raster et sous-ensemble) .....      | 102 |
| <b>Annexe 40</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes (Total et Vecteur).....            | 103 |
| <b>Annexe 41</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes (Raster et sous-ensemble).....     | 104 |
| <b>Annexe 42</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg (Total et Vecteur)....         | 105 |
| <b>Annexe 43</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg (Raster et sous-ensemble)..... | 106 |
| <b>Annexe 44</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse (Total et Vecteur).....          | 107 |
| <b>Annexe 45</b> Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée, cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse (Raster et sous-ensemble).....   | 108 |

## INTRODUCTION

Alors que la question de l'étalement urbain interroge nos modes de vie depuis son introduction dans le monde politique avec la mise en vigueur des lois Grenelle I et II notamment, nous constatons aujourd'hui une réelle volonté de minimiser l'impact de nos sociétés sur l'environnement. En effet, en réponse à un constat de dégradation, de vastes programmes d'information et législations se mettent en place, destinés à contenir les forces centrifuges qui participent à l'étalement et à l'éclatement de l'habitat (Lefebvre, 2013). Cette détérioration est notamment le fait d'un exode rural qui a participé à la densification des centres, mais surtout à la mise en place de vastes couronnes périurbaines à tendance résidentielle. Cela se traduit actuellement par la disparition tous les dix ans d'une surface équivalente à celle d'un département français, et ce au profit de l'artificialisation (Laugier, 2012). Celle-ci consiste en la transformation d'espaces naturels et semi-naturels pour produire des espaces résidentiels, à production secondaire ou tertiaire, en général caractérisés par une forme diffuse (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2017). Les mesures actuellement proposées consistent par exemple, dans le cas de la loi sur la Solidarité et le Renouvellement Urbain, à limiter l'étendue du front d'artificialisation, par une densification de l'habitat (Lefebvre, 2013).

Le renouvellement urbain vers lequel notre société tend à avancer nécessite cependant des outils adaptés à la création ou à la mise-à-jour des documents d'urbanisme, et à la mise en place de politiques d'aménagement. La géographie apporte de ce fait une information adéquate aux enjeux actuellement rencontrés, puisqu'elle permet de représenter spatialement une vaste palette de phénomènes. De ce fait, nous assistons aujourd'hui à un déluge de données géographiques qui permettent d'assurer un suivi des territoires et de leurs dynamiques. Ces produits sont cependant constitués suivant des chaînes de traitements spécifiques, et répondent donc à des spécifications différentes.

Ainsi, l'utilisateur de ces données sera amené à s'interroger sur leur qualité, et sur leur aptitude à répondre à ses besoins. Cela justifie une évaluation et une comparaison des produits dont peut être dérivée la tache urbaine, compte-tenu de plusieurs hypothèses :

- (1) Du fait de méthodes et échelles de production différentes, les produits n'auront pas les mêmes qualités intrinsèques et extrinsèques ;
- (2) Au sein de la tache artificialisée, un même produit ne cartographiera pas les différents paysages urbains avec la même qualité, signifiant qu'il sera par exemple plus adapté au suivi des dynamiques en périphérie plutôt qu'à l'intérieur même de la ville ;
- (3) Compte-tenu des points (1) et (2), nous pouvons supposer qu'il sera possible d'harmoniser les données disponibles sur la tache urbaine et d'en tirer des informations complémentaires.

Pour vérifier ces hypothèses, nous allons tout d'abord sélectionner différents produits disponibles sur le territoire français, et proposer une description de ces derniers. La vérification des hypothèses énoncées ci-dessus reposera tout d'abord sur une harmonisation de ces bases de données, que nous tacherons ensuite de comparer pour différentes zones d'étude. Cette évaluation reposera sur la construction de multiples indicateurs à la fois statistiques et spatiaux, permettant d'observer la manière dont est décrit le processus d'artificialisation. Enfin, nous proposerons une discussion des résultats obtenus, avec une synthèse des observations et usages possibles pour chaque produit.

## **I. POSITION ET CADRE DU SUIVI DES DYNAMIQUES D'ANTHROPISSATION**

### **1. Les concepts liés à l'anthropisation**

Suite aux grandes conférences sur l'environnement lancées dès la deuxième moitié du vingtième siècle, nous pouvons constater de nombreuses critiques quant aux actions de l'Homme sur les écosystèmes terrestres. En effet, nos sociétés produisent constamment de nouveaux paysages, par leur transformation au profit des activités humaines, donnant lieu à un phénomène d'anthropisation. Nombre de ces réflexions portent aujourd'hui sur l'urbain, territoire complexe qui s'organise sur des territoires autrefois naturels. Son cycle de vie répond ainsi à deux processus majeurs : l'urbanisation et l'anthropisation.

L'urbanisation se définit au départ comme le processus par lequel les populations vont tendre à se concentrer en un lieu, une agglomération. Cette composante démographique sous-entend alors la mise en place d'infrastructures à vocations résidentielle, économique, de transport... Cela suppose la consommation d'espaces qui n'ont pas encore été mobilisés par la population pour la production urbaine (CERTU, 2011). L'urbanisation est donc complétée par une seconde composante, celle d'un processus d'artificialisation. Celui-ci renvoie, pour un territoire donné, à l'accroissement des surfaces artificialisées, qui correspondent à l'ensemble des zones bâties ou non, à vocation résidentielle, de production, de transport, ou encore aux espaces verts urbains, issus de la transformation des espaces naturels et semi-naturels, tels les forêts ou zones agricoles (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2017).

Bien que les concepts d'artificialisation et d'urbanisation ne renvoient pas directement à la même idée d'un point de vue sémantique, ils seront utilisés de manière interchangeable dans la suite de ce travail. En effet, leur somme exprime simplement la transformation pérenne des espaces naturels et semi-naturels, sous l'effet de la concentration des populations et des activités au sein des villes et de leurs périphéries. Cela se traduit ainsi, dès la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, par le développement de vastes fronts d'urbanisation au sein desquels s'organisent les banlieues, axes de transport rapide et zones industrielles et commerciales (Lefebvre, 2013).

Ces concepts d'urbanisation et d'artificialisation permettent finalement d'aboutir aux notions de taches urbaine et artificialisée. A nouveau, les termes sont utilisés de manière interchangeable dans le cadre de cette étude. Compte-tenu du flou qui existe autour des définitions proposées pour chacune des taches, nous considérerons qu'elles correspondent aux portions du territoire qui ont fait l'objet d'une transformation par l'Homme, dans le but de produire des espaces à haute valeur ajoutée pour le fonctionnement socioéconomique des villes. Elles se rapportent ainsi à l'ensemble des surfaces citées lorsque nous avons défini le concept d'artificialisation.

### **2. Les problèmes posés par les processus d'artificialisation et d'urbanisation**

La consommation d'espaces pour la production urbaine est bénéfique aux populations et aux activités qu'accueillent ces territoires issus de l'artificialisation, au moins sur le court terme. Cependant, cette forme d'anthropisation est susceptible de dégrader à la fois l'environnement et les sociétés.

En effet, la mise en place d'infrastructures sous-entend une fermeture des sols et donc leur imperméabilisation. L'eau aura alors tendance à ruisseler plus facilement, conduisant à une

dégradation des sols sains sous l'effet de l'érosion. L'artificialisation est également propice à une amplification des ondes de crue à l'aval des constructions, puisque la faible perméabilité de ces anthroposols ne permet pas aux fluides de s'infiltrer vers les nappes phréatiques (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2017).

D'autres pressions sont également aujourd'hui avancées, par exemple la fragmentation des espaces naturels à haute valeur ajoutée. Le processus génère ainsi une diminution de la biodiversité, puisqu'il perturbe le cycle de vie des populations animales et végétales qu'abritent ces portions du territoire. Enfin, l'artificialisation s'accompagne surtout d'un recul des terres agricoles, dont la superficie a décliné de 6.9% entre 1981 et 2012 (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2017).

Avec une progression de l'artificialisation d'environ 3% pour la période 2000 – 2006, il est important de s'interroger sur le caractère dommageable de cette forme d'anthropisation (Service de l'observation et des statistiques, 2009). Cela renvoie ainsi à un besoin de suivi multi-temporel du territoire, et plus particulièrement de l'occupation du sol.

### **3. Les données géographiques comme outil de veille privilégié**

Différents outils sont aujourd'hui disponibles pour réaliser cette veille, et permettent d'opérer un suivi diachronique et multiscale du processus d'artificialisation. La géographie s'est en effet attachée à produire une information spatialisée sur le phénomène, au travers de cartes d'occupation du sol et autres référentiels issus des satellites d'observation de la Terre.

Dans le cadre de cette étude, nous travaillerons sur des produits dédiés à la cartographie de l'occupation et de l'usage du sol, qui se définissent respectivement comme :

- (1) Une description biophysique de l'état de la surface ;
- (2) Une description des fonctions et caractéristiques socio-économiques de la surface (Verheyen, 2009).

En effet, selon la nomenclature utilisée pour décrire le territoire, il est possible de dériver directement une information sur l'emprise occupée par la tache artificialisée, caractérisée par des modes d'occupation et usages particuliers.

## II. CADRE SPATIAL ET OFFRE EN PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE »

### 1. Sites retenus pour l'évaluation des produits

#### a. *Définition d'un échelon géographique adapté au suivi de l'urbanisation*

Au regard du processus d'urbanisation, il a fallu sélectionner une zone d'étude sur laquelle seront mesurés les indicateurs de qualité des produits « tache artificialisée ».

Pour cela, l'extraction de l'information doit être réalisée à un niveau géographique adéquat, en rappelant que la progression de l'artificialisation se fait principalement au niveau des grands pôles et de leurs périphéries (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2017). L'échelon communal n'est donc pas adapté à cette analyse, du fait des dynamiques migratoires sous-entendues par l'urbanisation. En effet, le processus implique un report des populations sur la périphérie des centres denses, mobilisant donc un réseau de communes au sein duquel s'organise le tissu résidentiel hébergeant les navetteurs. L'échelon retenu doit donc tenir compte de ces dynamiques, qui nourrissent l'artificialisation des terres.

Au niveau français, l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) propose le concept d'aire urbaine, « un ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain (unité urbaine) de plus de 10.000 emplois, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci » (INSEE, 2016).

Du fait des difficultés rencontrées pour le suivi de l'urbanisation à un niveau mondial, l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) propose l'Aire Urbaine Fonctionnelle (AUF) comme un échelon approprié aux études réalisées sur l'objet urbain. L'AUF est ainsi définie en 2011 comme la conjonction d'un centre (1) et de sa zone de navettement (2) :

- (1) Le centre correspond à un espace où résident plus de 50.000 individus, et dont la densité est supérieure à 1.500 habitants par km<sup>2</sup> ;
- (2) La zone de navettement correspond à l'ensemble des municipalités périphériques dont au moins 15% des résidents travaillent dans le centre (OCDE, 2012).

Compte-tenu des bases de données mobilisées dans la suite de ce travail, nous avons choisi de retenir l'AUF comme échelon privilégié pour la comparaison des produits « tache artificialisée ». En effet, dans un souci de suivi des dynamiques urbaines à un niveau mondial, l'OCDE propose ici un cadre d'étude harmonisé, et donc mobilisable pour des travaux ultérieurs, à l'échelle européenne par exemple.

#### b. *Sélection d'aires urbaines fonctionnelles françaises pour la comparaison de l'offre*

De sorte à pouvoir comparer les produits « tache artificialisée » de façon objective, il est nécessaire de choisir méticuleusement l'emprise de la zone d'étude. En effet, nos villes d'aujourd'hui se sont construites sur le long terme, une construction dont les modalités sont fonctions de nombreux paramètres, à la fois naturels et anthropiques. Les objets hydrologiques et modelés géomorphologiques sont ainsi par exemple susceptibles de contraindre directement les formes qu'adopte l'urbain. De façon moins évidente, la manière dont s'organisent les groupes humains du fait de dimensions culturelles, politiques ou rituelles façonne elle-aussi les territoires. L'exemple le plus évident est alors celui des modes de répartition de l'habitat selon la structure agraire, avec des

formes compactes pour les paysages en openfield, et des formes plus diffuses en domaine bocager (Watteaux, 2005).

Du fait de cette diversité de situations, à la fois sur les plans physiques et humains, nous avons donc sélectionné 6 sites différents pour cette étude, répartis sur l'ensemble de la France Métropolitaine (Figure 1).



**Figure 1 :** Aires urbaines fonctionnelles retenues pour la comparaison des produits

Outre le fait que ces aires urbaines fonctionnelles se situent dans des régions éco-climatiques différentes, elles se caractérisent surtout par des trajectoires différentes en matière de développement. Ainsi, pour les sites retenus, Bessy-Pietri (2000) propose les morphologies précisées dans le Tableau 1.

| Aire urbaine fonctionnelle | Aire (km <sup>2</sup> ) | Morphologie                                |
|----------------------------|-------------------------|--|
| Bordeaux                   | 3887                    | Etalement faible<br>Banlieue hypertrophiée |
| Grenoble                   | 1599                    | Etalement marqué<br>Banlieue hypertrophiée |
| Metz                       | 1839                    | Etalement modéré<br>Couronne développée    |
| Strasbourg                 | 1368                    | Etalement modéré<br>Couronne développée    |
| Rennes                     | 2556                    | Centre important<br>Couronne développée    |
| Toulouse                   | 4025                    | Profil moyen                               |

**Tableau 1 :** Morphologies des aires urbaines fonctionnelles retenues

Pour chacun des sites sélectionnés, nous disposons ainsi d'une cartographie du contour de l'aire urbaine fonctionnelle dans laquelle il s'inscrit (Figure 1). Cette information géographique est stockée dans un fichier de forme, mis à disposition du public dans le cadre du projet Urban Atlas, qui cartographie l'occupation et l'usage du sol à l'échelle de 695 AUF européennes.

## **2. Produits « tache artificialisée » retenus**

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes attachés à comparer 10 produits disponibles sur le territoire français, dont la finesse thématique va de la seule tache artificialisée à la distinction entre plusieurs classes d'occupation du sol (Tableau 2). A noter qu'aucun critère particulier n'a été invoqué lors de la sélection de ces bases de données, outre leur disponibilité pour la France Métropolitaine.

Les spécifications de chaque produit sont renseignées dans le Tableau 2. Elles sont complétées ci-après par un état de l'art sur chacune de ces bases de données d'occupation ou d'usage du sol.

Une cartographie de ces produits est disponible en annexes pour Bordeaux (Annexe 1), Grenoble (Annexe 2), Metz (Annexe 3), Rennes (Annexe 4), Strasbourg (Annexe 5) et Toulouse (Annexe 6). L'ensemble des nomenclatures pour chaque produit est disponible en Annexe 7.

A noter qu'il était initialement prévu de travailler également sur le produit Kermap, qui n'est actuellement pas disponible pour le public. Il ne sera pas exploité dans la suite de ce travail, mais il serait intéressant de reconduire l'étude lorsque celui-ci sera publié.

|                                  | CES OSO L8   | CES OSO S2  | CORINE Land Cover                         | GLC2000                               | GlobeLand30  | Global Urban Footprint  | High Resolution Layers Imperviousness   | OCS GE   | Product A <sup>3</sup> S  | Urban Atlas   |
|----------------------------------|--|---|---|---------------------------------------|--|---|---|--|---|---|
| Format                           | Raster   | Raster  | Vector                                    | Raster                                | Raster   | Raster  | Raster  | Raster   | Raster  | Vector  |
| <b>Résolution spatiale / UMC</b> | 30m  | 10m, 20m  | 25ha, et 10ha pour les DOM                | 1km                                   | 30m<br>UMC entre 0.81ha et 9ha (1.44 ha pour les surfaces artificielles) | 12m, 84m  | 20m<br>500m <sup>2</sup> (zone construite)<br>2.500m <sup>2</sup><br>(autres zones) | 10m<br>UMC de 2ha (toutes surfaces confondues)         | 0.25ha (urbain)<br>1ha (rural)                                      | 0.25ha (urbain)<br>1ha (rural)                                    |
| <b>Echelle</b>                   | —  | —   | 1 / 250.000                               | —                                     | —  | —   | —   | 1 / 5.000  | —   | 1 / 10.000  |
| <b>Couverture géographique</b>   | France Métropolitaine  | France Métropolitaine   | Pays membres de l'EEA et coopérants       | Monde                                 | Monde  | Monde   | Pays membres de l'EEA et coopérants   | France Métropolitaine                                  | France Métropolitaine   | 305 (2006) ou 695 européennes                                     |
| <b>Nombre de classes</b>         | 17   | 17  | 44 (Niveau 3)                             | 22                                    | 10   | 2   | 101   | 14 (CS)<br>17 (US)                                     | 2   | 21 (2006)<br>27 (2012)  |
| <b>Dont Artificialisées</b>      | 4  | 4   | 11 (Niveau 3)                             | 1                                     | 1  | 1   | 100   | 4 (CS)<br>8 (US)                                       | 1   | 17  |
| <b>Producteur</b>                | CES OSO  | CES OSO   | Agence Européenne pour l'Environnement    | Joint Research Center (JRC)           | Chine  | German Aerospace Center (DLR)   | Agence Européenne pour l'Environnement  | IGN  | A <sup>3</sup> S  | Agence Européenne pour l'Environnement                            |
| <b>Production</b>                | Classification supervisée Random Forest automatisée (iota <sup>2</sup> )         | Classification supervisée Random Forest automatisée (iota <sup>2</sup> )      | Interprétation d'images satellites        | Base de règles et méthodes régionales | Classification POK « pixel – object – knowledge »                        | Classification non-supervisée, Support Vector Data Description (SSVD) | Classification automatique sur NDVI calibré   | Croisement de bases de données et photo-interprétation | Classification automatique orientée objet et interprétation d'image |   |
| <b>Source des données</b>        | Landsat-8 OLI, OpenStreetMap, référentiels topographiques nationaux et locaux... | Sentinel-2, OpenStreetMap, référentiels topographiques nationaux et locaux... | Landsat-4/5 TM, Landsat-7 ETM+, SPOT 4... | VEGA 2000 (SPOT Vegetation)           | Landsat-4/5 TM, Landsat-7 ETM+, HJ-1, données auxiliaires                | TerraSAR-X, TanDEM-X  | IRS-P6, Resourcesat-2, SPOT 4/5   | Données IGN, référentiels nationaux et locaux          | Sentinel-2, High Resolution Layers                                  | SPOT 5/6, High Resolution Layers, Formosat-2, référentiels locaux |
| <b>Précision (%)</b>             | 78   | 88  | > 85                                      | ~ 50                                  | 80   | > 95  | > 85  | > 95 (zones bâties)<br>> 85 (niveaux inférieurs à 1)   | > 95  | > 85 (surfaces artificialisées)                                   |
| <b>Périodes disponibles</b>      | 2014   | 2016  | 1990, 2000, 2006, 2012                    | 2000                                  | 2000, 2010   | 2011  | 2006, 2009, 2012  | 2013 à maintenant                                      | 2016, 2017  | 2006, 2012  |
| <b>Fréquence de mise-à-jour</b>  | Annuelle   | Annuelle  | Un millésime tous les 6 ans depuis 2000   | —                                     | —  | —   | Un millésime tous les 3 ans depuis 2006   | Mise à jour régulière depuis 2014                      | Annuelle  | Un millésime tous les 6 ans depuis 2006                           |

Tableau 2 : Spécifications des produits retenus

### a. CES OSO

Le Centre d'Expertise Scientifique « Occupation du Sol Opérationnelle » (CES OSO) a pour objectif de produire une cartographie annuelle de l'occupation du sol à l'échelle du territoire français, en exploitant les produits issus de satellites à haute fréquence temporelle, notamment Sentinel-2. La nomenclature recherchée permet la distinction de 17 classes d'occupation du sol, avec des résolutions spatiales comprises entre 10 et 30m, en fonction des images satellitaires utilisées en entrée de la chaîne de traitements. En effet, le CES OSO propose deux prototypes, le premier constitué pour l'année 2014 à partir de séries temporelles Landsat-8 OLI et SPOT6, et le second constitué pour l'année 2016 à partir de séries temporelles Sentinel-2 (Inglada *et al.*, 2016).

L'exploitation de cette grande quantité d'images satellitaires a justifié le développement de la chaîne de traitements automatique « Infrastructure pour l'Occupation des sols par Traitement Automatique Incorporant les Orfeo Toolbox (OTB) Applications », aussi appelée iota<sup>2</sup> (Vincent, 2016). Elle permet d'automatiser la cartographie de l'occupation du sol, à partir d'images de niveau de correction 2A, mises à disposition par le centre de production MUSCATE. La chaîne de traitements consiste en une classification supervisée orientée pixel, réalisée sur un ensemble d'images récoltées pour une même année, peu importe leur couverture nuageuse. Une vaste palette de données d'apprentissage est utilisée pour entraîner un classifieur Random Forest, notamment CORINE Land Cover, OpenStreetMap, ou encore des référentiels topographiques locaux et nationaux (Inglada *et al.*, 2016). L'infrastructure iota<sup>2</sup> propose deux modes de classification :

- (1) Selon un dallage régulier de 100km de côté du territoire français, qui permet d'obtenir un ensemble continu et homogène d'images à classifier ;
- (2) Selon une stratification et un découpage éco-climatique des scènes, qui permet de tenir compte de la variabilité interne des classes retenues. Les strates sont construites à l'aide de données auxiliaires : cartes pédologiques, modèles numériques de terrain, et zonage éco-climatique.

Bien qu'ils génèrent des artefacts au niveau des zones de raccord, les deux modes de classification produisent pour 2014 des résultats à 30m dont les précisions globales sont de 74% pour le dallage régulier, et de 78% pour la stratification éco-climatique (Vincent, Inglada et Morin, 2016).

Le CES OSO a récemment publié ses résultats pour l'année 2016, générés à partir des séries à haute fréquence temporelle Sentinel-2. Le produit, disponible à des résolutions de 10 et 20m, renvoie des résultats de meilleure qualité que ceux obtenus à partir des images Landsat-8, avec une précision globale de 88% (CES OSO, 2017).

*Dans le cadre de cette étude, nous retiendrons les produits issus de la stratification éco-climatique, du fait d'une qualité supérieure, au moins sur le plan statistique. Pour OSO S2, le produit à 10m a été conservé.*

### b. CORINE Land Cover

Le produit CORINE Land Cover (CLC) appartient au programme Copernicus et permet un suivi de l'occupation du sol à un niveau européen. CLC a été proposée par la Commission Européenne en 1985 pour la mise en place d'une base de données standardisée, organisée autour de 3 niveaux hiérarchisés, permettant une description de l'occupation et de l'usage du sol à l'échelle de l'Europe (European Environment Agency, 2015a).

Le premier millésime de CLC sorti en 1990 est créé tout d'abord à partir de calques d'interprétation d'images issues des satellites d'observation de la Terre. Les prochaines versions sont ensuite constituées directement sur des systèmes informatiques par des thématiciens. Dans les deux cas, ce sont des équipes nationales qui sont responsables de la production de la donnée, à partir d'une même nomenclature normalisée qui n'a pas évolué depuis 1990 (European Environment Agency, 2007). En France, le service de l'observation et des statistiques du Ministère de l'Environnement correspond à l'organisme chargé de constituer la base de données CLC (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, 2016).

Pour l'ensemble des équipes nationales, le travail d'interprétation est réalisé à partir :

- (1) Du millésime CLC précédent ;
- (2) Des images satellitaires utilisées pour produire le millésime précédent ;
- (3) Des images satellitaires dont l'année d'acquisition correspond à celle du millésime en cours de production (European Environment Agency, 2007).

Les images utilisées pour produire un millésime sont récoltées pour une même année, puis regroupées dans une base de données multi-sources (Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+, SPOT4...). Celles-ci sont corrigées géométriquement à l'aide de référentiels topographiques locaux et nationaux, mais aussi de photographies aériennes. La base de données correspondante porte, pour l'année 2012, le nom d'IMAGE2012. Le suffixe est à adapter selon l'année de production du millésime considéré (European Environment Agency, 2007).

A noter que les équipes cartographient également les changements d'occupation du sol d'un millésime à l'autre depuis l'an 2000.

Une vérification visuelle du produit est réalisée au niveau national, par l'Equipe Technique CLC du European Topic Centre for Land Use and Spatial Information (ETC/LUSI). Cette étape finale permet de vérifier la qualité de la couche, dont la précision globale est supérieure à 85%, puis de faciliter son harmonisation et sa publication (European Environment Agency, 2007). Ainsi, 39 pays participaient en 2012 à la construction d'un nouveau millésime de CORINE Land Cover, à une échelle paneuropéenne (European Environment Agency, 2015a).

### **c. Global Land Cover 2000**

Le projet Global Land Cover 2000 (GLC2000) a pour but de produire une cartographie de l'occupation du sol harmonisée pour l'ensemble de la planète. Il a été développé sous l'égide du cinquième programme-cadre pour la Recherche et le Développement, et appartient au projet GEIS (Global Environment Information System) de la Commission Européenne. En effet, l'objectif est d'opérer un suivi des préoccupations climatiques actuelles, pour soutenir les rencontres intergouvernementales portant sur la question de l'environnement (Protocole de Kyoto, Convention de Ramsar, Conventions sur le Changement Climatique...). Dans ce cadre, l'année 2000 a été choisie comme référence pour la constitution de la base de données GLC2000 (Stibig *et al.*, 2003).

Plusieurs groupes de travail se partagent la production de GLC2000, au niveau de 19 fenêtres régionales réparties sur l'ensemble du globe, dont les limites ont été définies le long de frontières naturelles ou de zones d'occupation du sol homogènes. Pour l'Europe, quatre régions ont été retenues : Europe du Nord-Est, Europe, Europe du Sud et Europe du Nord-Ouest. La France se situe sur cette dernière fenêtre (Stibig *et al.*, 2003).

Chacune de ces cartographies de l'occupation du sol régionales est constituée à l'aide d'une chaîne de traitements spécifique, et développée par le groupe d'experts qui en a la responsabilité. Au niveau français, le partenaire correspond à Météo France. Malgré cette diversité dans les traitements réalisés par chaque groupe, l'ensemble des nomenclatures régionales est harmonisé et compatible avec le « Land Cover Classification System » (LCCS) mis au point par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)(Stibig *et al.*, 2003).

Au niveau de la fenêtre « Europe du Nord-Ouest », ALTERRA est en charge de produire la cartographie de l'occupation du sol. Ce centre d'expertise néerlandais constitue tout d'abord une série temporelle de NDVI, à partir du jeu de données VEGA2000, issu de l'instrument VEGETATION des satellites SPOT4. Cette première phase de prétraitements est réalisée à l'aide du logiciel propriétaire ENVI et de l'algorithme HANTS. La série ainsi produite sert finalement d'entrée à un arbre de décision CART, permettant d'aboutir à une classification orientée pixel (Stibig *et al.*, 2003). Aucun échantillon n'est constitué pour l'entraînement, seulement des règles, définies à un niveau régional (Mucher et de Badts, 2002). En complément de la série, des données auxiliaires sont également utilisées en entrée du classifieur :

- (1) Un modèle numérique de terrain pour différencier les formations végétales ;
- (2) Le produit « Stable Night-Time Light » (NTL) qui permet de détecter l'urbain grâce à l'illumination nocturne des espaces anthropisés ;
- (3) La couche d'occupation du sol proposée par PELCOM, permettant de dériver des masques sur l'urbain, les surfaces en eau et les zones humides, pour une meilleure détection de ces objets.

Le produit en sortie est ensuite validé à l'aide de CORINE Land Cover, et montre une précision globale d'environ 50% (Stibig *et al.*, 2003).

Une vérification des produits régionaux est également menée par les équipes du JRC, aussi chargées d'assembler, pour les 19 fenêtres, les cartographies de l'occupation du sol livrées par les groupes experts. Une harmonisation des nomenclatures est donc indispensable, aboutissant finalement au mosaïquage des résultats, ensuite publiés dans le cadre du projet GLC2000 (Stibig *et al.*, 2003).

#### d. *GlobeLand30*

Le produit GlobeLand30 a été développé par la Chine, avec pour objectif de proposer une cartographie haute résolution de l'occupation du sol, à une échelle mondiale. Deux versions sont disponibles, avec des chaînes de traitements spécifiques et dates de production différentes. Nous nous focaliserons sur le produit le plus récent, disponible pour l'année 2010 et qui sera utilisé dans la suite de ce travail (Chen *et al.*, 2015).

La chaîne de traitements retenue pour aboutir au millésime de l'année 2010 de GlobeLand30 repose sur une approche « Pixel – Object – Knowledge » (POK). Celle-ci prend en entrée une vaste palette de données d'entraînement et d'attributs : des scènes Landsat TM/ETM+, des produits issus de l'imagerie optique chinoise HJ-1, des séries temporelles MODIS-NDVI pour extraire une information pertinente sur la végétation, des modèles topographiques type ASTER ou SRTM, des cartes d'occupation du sol auxiliaires... Dans le cas de l'urbain par exemple, quelques attributs ont été spécifiquement calculés pour faciliter sa détection, notamment un indice de bâti NDBI, ainsi qu'une information texturale sur la variance (Ran et Li, 2015).

Les traitements consistent ensuite à produire des classifications orientées pixels, à l'aide d'un classifieur Support Vector Machine (SVM), pour aboutir à une nomenclature en 10 classes (Chen *et al.*, 2015). Les couches en sortie sont alors mobilisées par des algorithmes de classification orientée objet. Cette étape consiste à segmenter l'espace en des régions homogènes, à l'aide de l'algorithme de segmentation multirésolution proposé par le logiciel commercial eCognition. Les segments en sortie sont alors labélisés à l'aide de données auxiliaires et de règles, grâce à un vote majoritaire. Cette étape consiste à rechercher, à partir de la classification pixel, quelle est la classe la plus représentée dans chaque région, pour ensuite assigner au segment le poste correspondant (Ran et Li, 2015).

Le produit en sortie est ensuite validé à l'aide de 150.000 échantillons sélectionnés sur les 5 continents, à l'aide d'une stratégie de stratification selon la classe d'occupation du sol. Les résultats montrent ainsi une précision globale de 80.33% (Chen *et al.*, 2015).

#### **e. Global Urban Footprint**

Le produit Global Urban Footprint (GUF) a été développé par le Centre Allemand pour l'Aéronautique et l'Astronautique (DLR). L'objectif est d'aboutir à un inventaire urbain et rural des installations humaines à l'échelle du globe, pour l'année de référence 2011, à l'aide de la chaîne de traitements automatisée « Urban Footprint Processor » (UFP)(Esch *et al.*, 2015).

Pour détecter les installations humaines, le DLR utilise des produits issus de l'imagerie radar haute résolution, et plus particulièrement des satellites TerraSAR-X et TanDEM-X. Cela facilite la production de données cohérentes à la fois temporellement et spectralement, puisque les capteurs radars permettent de récolter une information sur la surface terrestre à toute heure, et indépendamment des conditions atmosphériques (Esch *et al.*, 2013).

Ces images servent ainsi d'entrée à l'UFP, qui décompose la chaîne de traitements en 3 étapes principales :

- (1) L'extraction d'une information texturale pour la mise en évidence des structures hétérogènes, d'origine anthropique. Cela consiste à calculer un « speckle divergence » à partir des images d'amplitude issues des capteur radar ;
- (2) La classification non supervisée des données d'entrée, à partir d'un classifieur Support Vector Data Description (SVDD), qui permet de produire une cartographie binaire sur laquelle sont représentés les espaces artificialisés. Ainsi, les pixels possédant de hautes valeurs d'amplitude et de speckle divergence sont considérés comme faisant partie des installations humaines. Les seuils pour ces attributs sont déterminés selon une approche probabiliste, grâce à la divergence de Jensen – Shannon (Esch, 2017);
- (3) Une étape de post-classification, nécessaire du fait de légères commissions au niveau des zones montagneuses. Un masque est dérivé à partir du modèle numérique d'élévation fourni dans le cadre du projet ASTER, et permet d'exclure de l'espace artificialisé l'ensemble des pixels pour lesquels la pente est supérieure à 20° (Esch *et al.*, 2013).

Pour quatre sites de référence, une comparaison visuelle au niveau de 1.500 points sélectionnés aléatoirement sur des images Quickbird et Ikonos montre une précision globale supérieure à 95%. Les résultats sont finalement combinés au sein d'une même mosaïque, pour l'ensemble du globe, et mis à disposition du public (Esch *et al.*, 2013). A noter que DLR fournit deux versions de GUF : un

produit destiné au monde de la recherche et dont la résolution est de 12m à l'équateur, puis un second, disponible pour le domaine public avec une résolution de 84m.

*Dans le cadre de cette étude, nous travaillerons sur le produit distribué à une résolution de 12m.*

**f. High Resolution Layers – Volet « Imperviousness »**

Le produit High Resolution Layers (HRL) Imperviousness appartient au programme Copernicus et opère un suivi de l'artificialisation des terres à un niveau européen, avec une résolution spatiale de 20m. En effet, cette couche permet d'apprécier la répartition géographique des installations humaines, mais apporte également une information sur le degré d'imperméabilisation des sols, compris entre 0 et 100% (European Environment Agency, 2015b).

Le produit HRL Imperviousness est constitué à l'aide d'une chaîne de traitements automatisée, qui permet de classifier une série de NDVI calibrés, selon une approche orientée pixel. Pour l'année 2012, les indices de végétation ont été constitués à l'aide de la base de données de référence IMAGE2012. Ils sont ensuite calibrés à partir du produit HRL Imperviousness du millésime précédent, avant de pouvoir en dériver une cartographie de l'artificialisation grâce à la construction d'une base de règles (Büttner, 2012).

La précision minimale visée est d'au moins 85%. La vérification de la qualité du produit n'est réalisée que lorsqu'un pays ou fournisseur de service souhaite la réaliser. Dans ce cas, seule la cartographie des zones bâties est vérifiée. Celle-ci correspond à une version seuillée de la couche HRL Imperviousness : les zones bâties se rapportent à l'ensemble des pixels pour lesquels le degré d'artificialisation est supérieur ou égal à 30% (Langanke, 2016).

Ainsi, 39 pays participaient en 2012 à la construction d'un nouveau millésime HRL Imperviousness, à une échelle paneuropéenne (European Environment Agency, 2015b).

**g. OCS GE**

Le produit OCS GE correspond à une base de données vectorielle à grande échelle, créée par l'Institut Géographique National (IGN), sur laquelle sont représentés la couverture et l'usage du sol pour la France Métropolitaine et les territoires d'outre-mer. L'objectif avancé est de créer un référentiel national millésimé, facilitant le suivi des dynamiques anthropiques, et mobilisable dans le cadre des politiques d'aménagement (IGN, 2016).

La production d'OCS GE est assurée par l'IGN, en collaboration avec les collectivités et administrations volontaires. De sorte à garantir une couverture homogène du territoire, OCS GE s'organise autour d'une nomenclature nationale répondant aux spécifications du CNIG et aux directives INSPIRE (IGN, 2015). Ainsi, chaque polygone est caractérisé par deux codes :

- (1) CS, la couverture du sol, « une vue physionomique du terrain, avec une simple distinction des éléments structurant le paysage sans préjuger de leur fonction ou de leur spécificité macroscopique » (IGN, 2016). La nomenclature s'organise en une hiérarchie de 4 niveaux ;
- (2) US, l'usage du sol, « une vue anthropique du sol, qui permet de distinguer les portions du territoire selon leur rôle en tant qu'activité économique » (IGN, 2016). La nomenclature s'organise en une hiérarchie de 3 niveaux.

Le produit OCS GE est constitué à partir d'un référentiel image récolté la même année, en général la BD ORTHO. Différentes bases de données vectorielles produites par l'IGN sont également incorporées à la chaîne de traitements.

La première étape consiste à construire l'ossature, une couche de référence sur laquelle sont représentés les principaux réseaux de transport qui innervent le territoire français. Elle est obtenue automatiquement à partir de la BDUni de l'IGN, une base de production interne et vectorielle mise à jour régulièrement. Le territoire national est ensuite découpé en zones à produire, grâce à l'ossature ou aux limites administratives. Ces zones correspondent à des enveloppes pour lesquelles l'occupation du sol est déduite de données vectorielles de référence, comme la BD TOPO, ou produite par des photo-interprètes lorsqu'aucune information n'est disponible sur la région étudiée. La BD ORTHO est utilisée pour vérifier l'occupation du sol, et la corriger lorsque cela est nécessaire. Une fois que la cartographie des enveloppes est terminée, celles-ci sont vérifiées visuellement à l'aide de méthodes automatiques, puis regroupées, avant de repasser par une phase de contrôle terminal (IGN, 2015).

Le produit OCS GE contient alors deux couches d'information, cohérentes géométriquement avec l'ensemble des données du Référentiel à Grande Echelle (RGE) :

- (1) L'occupation du sol, qui conjugue couverture et usage du sol ;
- (2) La zone construite, qui regroupe l'ensemble des zones bâties à vocation résiduelle, de production secondaire ou tertiaire, ainsi que les infrastructures de transport et logistiques (IGN, 2016).

La chaîne de traitements développée par l'IGN permet finalement une description exhaustive du territoire, avec une information à la fois sur la couverture et l'usage des sols, qui doit être renseignée pour l'ensemble des objets de la base de données. A noter que seuls les éléments visibles sur la BD ORTHO sont représentés (IGN, 2016).

Au niveau de la zone artificialisée, la qualité sémantique mesurée est de 98% pour les polygones appartenant à la classe de couverture « Zones bâties ». Concernant les usages cette-fois, une précision supérieure à 95% est mesurée pour les classes du premier niveau de la nomenclature. Pour les thèmes situés plus bas dans la hiérarchie, la confusion augmente, avec une précision supérieure ou égale à 85% (IGN, 2016).

*A noter que la donnée n'est pour le moment distribuée que pour l'ancienne région Midi – Pyrénées. La BD OCS GE ne sera donc utilisée que pour la comparaison des produits « tache artificialisée » au niveau de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse.*

#### **h. *Produit A<sup>2</sup>S***

En amont de cette étude dédiée à la comparaison de différents produits, nous avons cherché à constituer un prototype pour la cartographie de la tache artificialisée. Ce travail s'inscrit dans le cadre des objectifs du CES Urbanisation / Artificialisation et du projet Alsace – Aval – Sentinel (A<sup>2</sup>S), avec le développement d'une chaîne de traitements opérationnelle, disponible en Annexe 8.

Il s'agit ainsi de produire annuellement, et à l'échelle de la France Métropolitaine, une cartographie automatisée de la tache artificialisée à une résolution de 10 à 20m, à l'aide des séries à haute fréquence temporelle Sentinel-2. A terme, l'objectif est d'aboutir à une nomenclature en 4 classes au

moins, avec le tissu urbain continu, discontinu collectif, discontinu individuel, et les zones d'activités industrielles et commerciales. A ce jour, le produit comporte seulement une dichotomie entre les espaces artificialisés et non-artificialisés.

La chaîne de traitements développée permet d'automatiser le processus de production. Les images utilisées en entrée pour cartographier l'artificialisation ont été récoltées lors de la période estivale. Elles correspondent aux séries temporelles Sentinel-2 de niveau 2A, qui ont donc été corrigées sur les plans géométrique et atmosphérique. Pour chacune des scènes, seules les bandes 3 (vert), 4 (rouge), 8 (proche infrarouge) et 12 (infrarouge moyen) ont été conservées, compte-tenu d'une analyse de corrélation menée en amont pour l'ensemble des canaux. Différents attributs sont alors calculés pour permettre une extraction de la tache artificialisée. Ils correspondent au NDVI et à un indice de brillance, ce dernier étant ensuite utilisé pour dériver une information texturale pour chacune des scènes. Les attributs de texture utilisés jusqu'à présent ont été calculés à partir de la toolbox SNAP développée par l'ESA. Ils correspondent à l'entropie, au contraste et à la variance. Les quatre bandes initiales, le NDVI et les indices texturaux sont ensuite concaténés au sein d'un même raster multibande, qui sert à la production d'une segmentation à l'aide de l'algorithme Mean-Shift disponible dans l'Orfeo Toolbox. La sortie correspond à une image sur laquelle sont décrits l'ensemble des segments qui ont été détectés par l'application, et pour lesquels des statistiques zonales ont été calculées, plus précisément la moyenne et l'écart-type de chaque bande. Ce raster sert finalement d'entrée à un classifieur Random Forest, pour la réalisation d'une classification supervisée orientée objet. La donnée utilisée pour l'apprentissage du modèle correspond à une version modifiée du HRL Imperviousness produit pour l'année 2012 : l'ensemble des pixels pour lesquels le degré d'imperméabilisation est supérieur à 0 appartiennent à la tache artificialisée. Nous calculons ensuite des statistiques zonales pour chaque segment, afin de déterminer s'il correspond ou non à de l'urbain selon les règles suivantes :

- Si selon HRL un segment possède plus de 40% de pixels dont le degré d'imperméabilisation est supérieur à 0, alors celui-ci appartient à la tache artificialisée ;
- Si selon HRL un segment possède moins de 10% de pixels dont le degré d'imperméabilisation est supérieur à 0, alors celui-ci n'appartient pas à la tache artificialisée.

Des jeux de données d'apprentissage et de validation sont ensuite constitués, par l'extraction de 10% des régions de l'image segmentée. Pour chacune des deux collections d'échantillons et de sorte à assurer le bon fonctionnement du Random Forest, la distribution est équilibrée, signifiant qu'il y a autant de régions qui appartiennent à la tache artificialisée qu'il y en a qui n'en font pas partie. Dans le cas des zones faiblement urbanisées, un sur-échantillonnage est donc réalisé afin d'assurer l'équilibre entre les classes.

La chaîne de traitements développée ci-dessus, et présentée dans l'Annexe 8, permet finalement d'aboutir à une cartographie binaire de l'artificialisation, à une représentation qualitative de l'incertitude du produit en sortie, et à un fichier contenant des statistiques générales pour l'évaluation de la qualité de la classification. Ces indicateurs correspondent à une matrice de confusion, l'erreur OOB, les erreurs pour le producteur et l'utilisateur, et à la mesure F.

D'un point de vue statistique, les résultats montrent une qualité élevée, avec des scores F supérieurs à 0.98, et des erreurs OOB inférieures à 2%. Ces statistiques sont cependant optimistes du fait du sur-échantillonnage réalisé pour assurer une distribution équilibrée au sein des jeux de données d'apprentissage et de validation. Une analyse visuelle des résultats montre en effet des sous-estimations de la tache artificialisée pour certaines régions, au niveau de Rennes en particulier.

### **i. Urban Atlas**

Le produit Urban Atlas appartient au programme Copernicus et permet un suivi des dynamiques urbaines au niveau de 305 AUF européennes en 2006, puis jusqu'à 695 en 2012. L'objectif est de proposer une cartographie harmonisée de l'occupation et de l'usage des sols à un niveau local, compatible avec d'autres produits européens pour faciliter le suivi des territoires. Urban Atlas a été constitué sous l'initiative conjointe du Directorate Général pour la Politique Régionale et du Directorate Général pour l'Entreprise et l'Industrie, avec le support de l'Agence Européenne de l'Environnement (European Environment Agency, 2015c).

Urban Atlas s'articule autour d'une nomenclature détaillée en 17 classes sur l'objet urbain. Celle-ci a connu des évolutions entre 2006 et 2012, avec le passage à 10 classes pour la description des espaces ruraux, contre seulement 4 auparavant. En effet, à l'issu de la publication du premier millésime, les utilisateurs ont fait remonter un besoin de connaître plus en détail l'occupation des sols au niveau des franges urbaines, pour mieux comprendre le processus d'étalement (European Environment Agency, 2015c).

Au même titre que pour les autres produits distribués dans le cadre du projet Copernicus, chaque millésime d'Urban Atlas est constitué à partir d'un référentiel IMAGE élaboré la même année. Celui-ci combine des images dont la résolution est inférieure ou égale à 5m, récoltées par des satellites optiques. D'autres données auxiliaires sont également utilisées, notamment des cartes topographiques et routières, des produits sur étagères (COTS) et couches OpenStreetMap (OSM), ou encore des référentiels topographiques locaux (European Commission, 2016).

Outre les méthodes classiques d'interprétation d'image, la chaîne de production incorpore également des traitements automatisés de segmentation et de classification, pour aboutir à une première partition de l'espace en classes d'occupation usuelles (urbain, surfaces en eau, végétation...). Une information sur l'artificialisation, issue du produit HRL Imperviousness, permet ensuite de différencier les différents objets urbains. Enfin, les réseaux de transport font intervenir différentes méthodes. La première consiste à récolter des produits COTS et OSM, pour ensuite créer des enveloppes autour des éléments linéaires, routiers et ferroviaires. Les objets du réseau les plus fins sont quant à eux digitalisés par des thématiciens (European Commission, 2016).

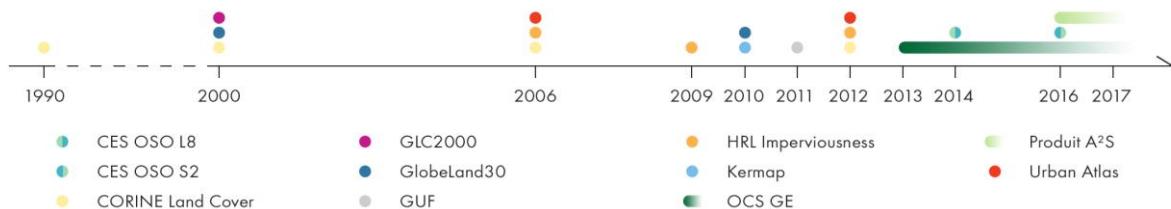
L'utilisation de référentiels topographiques locaux et de l'imagerie satellitaire haute résolution permet finalement d'aboutir à une donnée dont la précision globale est d'au moins 80% pour l'ensemble des classes, et 85% sur les surfaces artificialisées (European Environment Agency, 2015c).

Ainsi, ce sont 305 aires urbaines fonctionnelles de plus de 100.000 habitants qui ont été cartographiées pour le millésime de l'année 2006. La production s'est finalement étendue à 695 AUF européennes pour le millésime publié en 2012 (European Environment Agency, 2015c), dont 31 pour la France Métropolitaine.

## **3. Sélection d'un millésime pour les produits multi-dates**

Compte-tenu des spécifications des différents produits, certaines couches d'occupation du sol permettent un suivi multi-temporel du territoire par la mise à disposition de millésimes (Figure 2). Ce sont notamment CORINE Land Cover, GlobeLand30, HRL Imperviousness et Urban Atlas.

Dans un souci de comparaison des taches artificialisées, il a donc fallu sélectionner une date de production pour chacun des produits millésimés. Ce choix a été effectué compte-tenu des périodes de disponibilité des différentes bases de données dont nous disposons, avec pour objectif de minimiser au mieux les éventuels effets multi-dates qu'aurait pu entraîner une progression de l'artificialisation.



**Figure 2 :** Périodes de publication des bases de données d'occupation du sol retenues

En effet, il est d'important de rappeler que la consommation d'espaces pour la production urbaine a progressé d'environ 3% pour la période 2000 – 2006 (Service de l'observation et des statistiques, 2009). Sur la base de ce constat, les millésimes renseignés dans le Tableau 3 ont été proposés pour poursuivre l'analyse des taches artificialisées.

| Produit          | CORINE Land Cover | GlobeLand30 | HRL Imperviousness | Urban Atlas |
|------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------|
| <i>Millésime</i> | 2012              | 2010        | 2012               | 2012        |

**Tableau 3 :** Dates de production retenues pour les produits millésimés

A noter que les produits OCS GE et A<sup>2</sup>S sont mis à jour régulièrement : seules les versions les plus récentes ont été utilisées. Ainsi, nous avons exploité pour OCS GE la base de données mise à la disposition des utilisateurs par l'IGN, pour l'ancienne région Midi-Pyrénées et constituée en 2013. Enfin, concernant le prototype A<sup>2</sup>S, l'année de référence utilisée pour cartographier les différentes taches artificialisées dépend de la disponibilité en images Sentinel-2 L2A. La date de production pour chaque aire urbaine fonctionnelle est renseignée dans le Tableau 4.

| AUF         | Bordeaux   | Grenoble   | Metz       | Rennes      | Strasbourg | Toulouse    |
|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| <b>Date</b> | 19/04/2017 | 05/05/2016 | 08/05/2016 | 15/08 /2016 | 05/05/2016 | 25/02 /2017 |

**Tableau 4 :** Dates de production pour le prototype A<sup>2</sup>S

### III. METHODOLOGIE POUR L'EVALUATION ET LA COMPARAISON DES PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE »

La méthodologie employée pour comparer les produits « tache artificialisée » et apprécier les apports de chacun est détaillée sur la Figure 3.

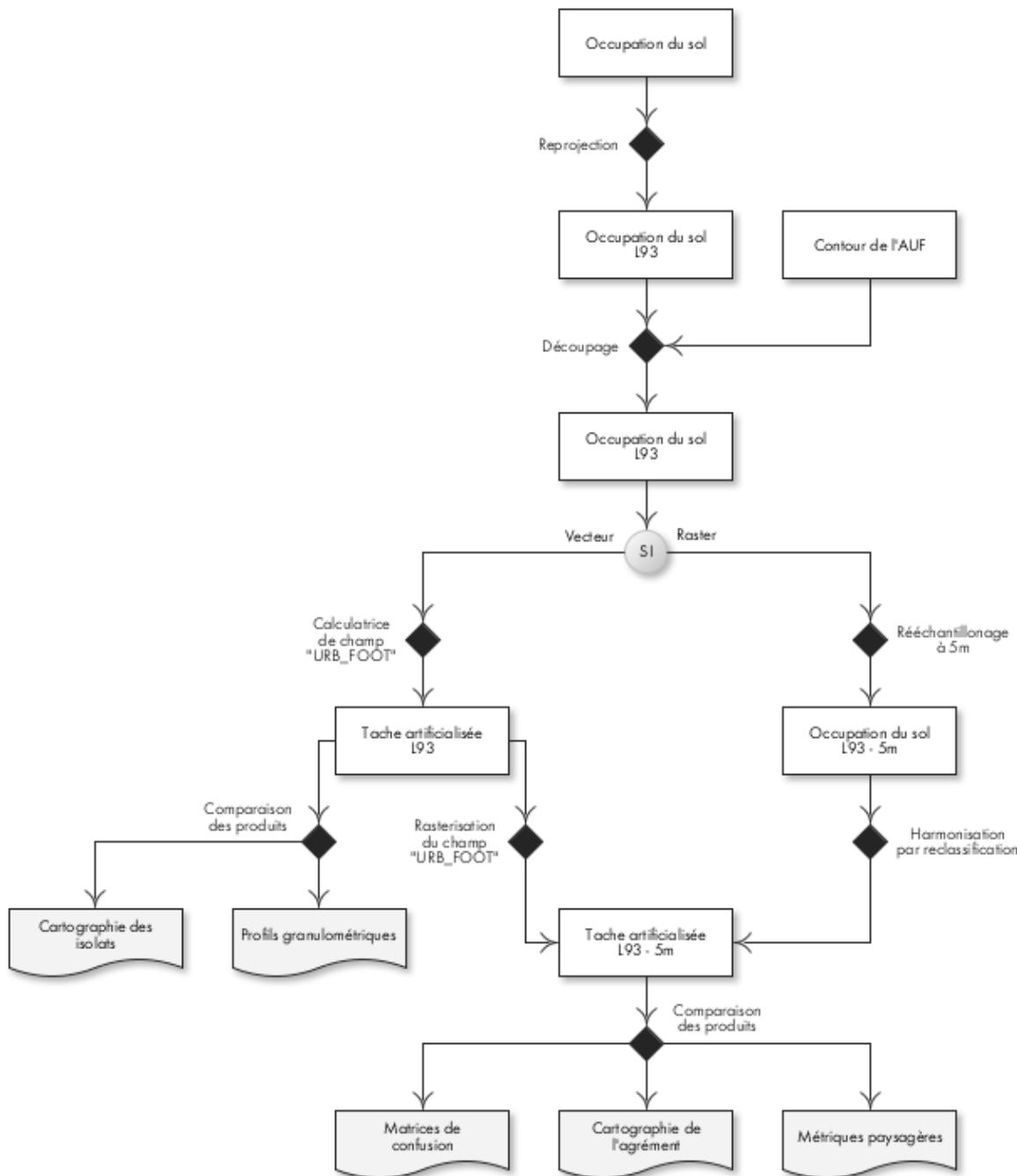


Figure 3 : Organigramme des traitements réalisés pour la comparaison des produits « tache artificialisée »

## 1. Production des taches artificialisées à partir de bases de données géographiques

### a. Extraction et préparation des bases de données géographiques

La comparaison de différents produits d'occupation du sol sous-entend un certain nombre de prétraitements. En effet, nous avons pu constater qu'ils se caractérisent chacun par des chaînes de production et spécifications particulières (Tableau 2).

Du fait d'échelles de production différentes, les produits ne sont pas livrés dans les mêmes systèmes de projection et ne possèdent pas la même emprise. Dans un premier temps, l'ensemble des données à disposition a donc été reprojeté en Lambert-93, système de projection rendu obligatoire en l'an 2000 pour les travaux géographiques menés en France (CERTU, 2008). Un découpage à l'aide des contours des aires urbaines fonctionnelles, mis à disposition par le projet Urban Atlas, a ensuite été effectué de sorte à extraire l'occupation du sol sur l'ensemble des sites sélectionnés.

Pour pouvoir comparer ces différentes bases de données, il a fallu harmoniser leurs nomenclatures, étape détaillée dans la partie III.1.b. Disposant cependant de produits distribués dans des formats vectoriel et image, des traitements particuliers ont été nécessaires. En effet, pour l'ensemble des couches vecteurs, nous avons créé un champ « URB FOOT » contenant les valeurs d'harmonisation pour la tache artificialisée. Ce même champ a été rastérisé à une résolution spatiale de 5m. La taille du pixel a été sélectionnée à partir des spécifications des produits :

- (1) OCS GE possède l'échelle de production la plus fine, fixée au 1/5.000 soit 50m ;
- (2) OCS GE possède les Unité Minimale de Cartographie (UMC), Largeur Minimale d'Intérêt (IMI) et Longueur Minimale d'Intérêt (LMI) les plus fines pour la tache artificialisée. Elles valent respectivement 200m<sup>2</sup>, 5m et 5m ;
- (3) La plus grande résolution spatiale pour les produits raster est de 10m, pour A<sup>2</sup>S et OSO S2.

Compte-tenu de ces informations, nous avons retenu la valeur de 5m comme étant la résolution optimale pour la rastérisation. Cela permet ainsi de minimiser l'information perdue lors de l'harmonisation des produits, notamment pour les éléments fins comme les routes ou installations isolées (Figure 4).

| Produit           | Format vectoriel | Format image (30m) | Format image (5m) |
|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Urban Atlas       |                  |                    |                   |
| AUF de Strasbourg |                  |                    |                   |

**Figure 4 :** Influence de la résolution utilisée lors de la rastérisation d'un produit vectoriel

Pour pouvoir comparer les produits livrés en format raster, un rééchantillonnage avec la méthode du plus proche voisin a été nécessaire. Nous avons ainsi retenu une résolution de 5m, de sorte à

disposer de données cohérentes et comparables aux produits vectoriels. De plus, il n'y a pas non plus eu de dégradation de l'information apportée par ces rasters, étant donné que la taille des pixels de ces produits est supérieure à celle utilisée pour la rastérisation.

L'évaluation des taches urbaines repose finalement sur la production de différents indicateurs présentés dans la partie III.2.

### **b. Harmonisation des bases de données géographiques**

Du fait du caractère hétéroclite des nomenclatures proposées par les différents projets de cartographie de l'occupation et de l'usage du sol, une harmonisation des données a été nécessaire pour aboutir à la tache artificialisée, définie dans la partie I.1.

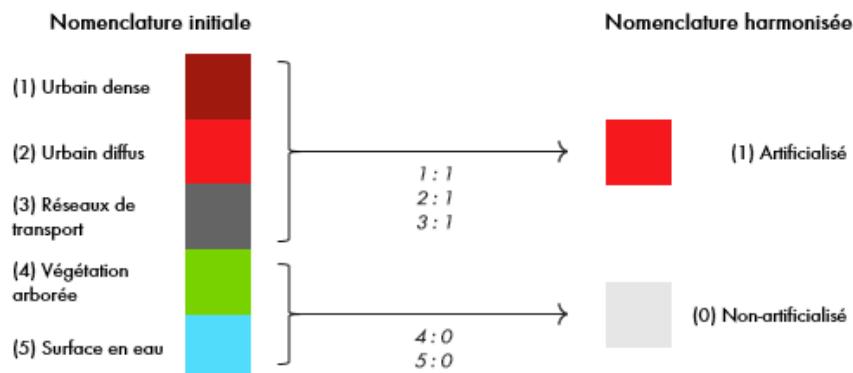
Cette étape consiste en la construction d'une table de conversion permettant le passage de n classes thématiques à une donnée binaire, sur laquelle sont représentés les espaces qui ont fait, ou non, l'objet d'une artificialisation (Figure 5).

Disposant de données géographiques distribuées dans des formats raster et vecteur, leur harmonisation a exigé des traitements différents :

- Pour les données image, une reclassification des valeurs des pixels ;
- Pour les données vecteur, l'utilisation de la calculatrice de champ attributaire.

Ainsi, à chaque produit correspond une table de conversion, construite à l'aide de sa nomenclature initiale et des spécifications renseignées par le producteur de la donnée.

Les tables utilisées pour harmoniser les différents produits sont disponibles en Annexe 7.



**Figure 5 :** Exemple d'harmonisation d'une nomenclature pour la production de la tache artificialisée

## **2. Production d'indicateurs pour comparer les produits « tache artificialisée »**

Une fois l'harmonisation des bases de données réalisée, il est possible d'évaluer la qualité de chacun des produits et d'apprécier leurs apports individuels au regard de la problématique de l'artificialisation. Cela a demandé la construction d'indicateurs statistiques, graphiques et spatiaux, pour les taches artificialisées dérivées sur l'ensemble des six aires urbaines fonctionnelles retenues.

Disposant de produits livrés en format raster et vecteur, différentes catégories d'indicateurs ont été proposées. En effet, les bases de données vectorielles sélectionnées sont constituées grâce à

l'intervention de thématiciens, permettant une certaine finesse à la fois sur les plans géométrique et sémantique, justifiant la production et l'analyse de courbes granulométriques et de cartographies des isolats. A des fins de comparaison avec les rasters, ces produits ont été rastérisés pour pouvoir ensuite dériver de l'ensemble des taches artificialisées des métriques spatiales, matrices de confusion et cartographies de l'agrément.

**a. Evaluation spécifique aux produits vectoriels**

*i. Construction de profils granulométriques*

Sur l'ensemble des onze produits à notre disposition, seuls trois sont constitués et distribués dans un format vectoriel : CORINE Land Cover, Urban Atlas et OCS GE. Nous avons donc essayé d'estimer la finesse et la complémentarité de ces données pour la cartographie de la tache urbaine sur un territoire donné.

Dans un premier temps, nous avons mesuré la granulométrie des polygones appartenant à la tache décrite par chaque produit. Les profils granulométriques obtenus permettent alors d'évaluer la complémentarité géométrique des couches, et d'identifier l'UMC, qui se définit comme la taille des plus petits objets décrits sur un produit (Nations unies et Division de statistique, 2004).

En complément des profils granulométriques, nous avons également calculé les coefficients d'uniformité Cu et de courbure Cc, qui permettent respectivement de mesurer l'étalement de la courbe, puis de décrire sa forme. Ils sont calculés à l'aide des formules précisées ci-dessous :

$$Cu = \frac{s_{60}}{s_{10}}$$
$$Cc = \frac{s_{30}^2}{s_{60} \times s_{10}}$$

La surface  $s_y$  d'un polygone correspond à la valeur mesurée pour un pourcentage cumulé égal à  $y\%$ . Des valeurs de Cu inférieures à 5 illustrent une granulométrie serrée, avec peu de variations dans l'aire des polygones. Des valeurs de Cc supérieures à 3 ou inférieures à 1 révèlent quant à elles une granulométrie discontinue (Cambou, Jean et Radjaï, 2012).

*ii. Cartographie des isolats*

Enfin, l'objectif a été de cartographier et d'identifier les isolats, qui permettent d'apprécier la finesse et la complémentarité de différents produits, à la fois sur les plans géométriques et thématiques. Les isolats se définissent ainsi comme des polygones ou leurs parties, qui n'apparaissent que dans l'une ou l'autre des bases de données d'occupation du sol étudiées (Puissant, 2003).

**b. Evaluation généralisée à l'ensemble des produits**

L'intention de ce travail a également été de proposer une série d'indicateurs, permettant à l'utilisateur d'évaluer la qualité des différents produits, plus précisément au regard de l'usage qu'il souhaite en faire. Une évaluation généralisée requiert cependant de disposer de couches distribuées dans un même format, ce qui a justifié la rastérisation des produits vectoriels. Cela nous a finalement

menés à évaluer l'ensemble des produits, avec une résolution spatiale de 5m, par la production de cartographies, et d'indicateurs paysagers et statistiques.

*i. Calcul de métriques spatiales*

Les métriques spatiales correspondent à des indicateurs quantitatifs utilisés pour décrire la manière dont s'organise un paysage. Elles permettent ainsi d'extraire des motifs structuraux, d'évaluer la fragmentation paysagère, et d'apprécier des changements d'occupation du sol (Herold, Scepan et Clarke, 2002). L'objectif consiste ici à produire des indicateurs à partir desquels il sera possible d'évaluer la manière dont les différentes bases de données géographiques d'occupation du sol décrivent la tache artificialisée.

| Patch   | Classe  | Paysage   |
|---|---|---|
|  Ensemble contigu de pixels appartenant à la même classe thématique |  Ensemble des pixels appartenant à la même classe thématique, qu'ils soient contigus ou non |  Ensemble des pixels, pris indépendamment de la classe à laquelle ils appartiennent |

**Figure 6 :** Description des trois échelons disponibles pour le calcul des indicateurs spatiaux

Le logiciel FRAGSTATS, sorti en 1995 dans le domaine public (McGarigal et Marks, 1995), propose de nombreuses métriques, calculées pour trois niveaux différents : le patch, la classe et le paysage (Figure 6).

Ainsi, 7 métriques spatiales ont été calculées pour décrire la classe « tache artificialisée » et le paysage dans son ensemble, et sont présentées dans le Tableau 5. Seuls les indicateurs les plus pertinents pour permettre la comparaison des produits ont été retenus.

Les indicateurs PLAND et LPI nous permettent d'apprécier respectivement quelle est la proportion du territoire occupée par la tache urbaine, et par le patch urbain le plus grand. Il est donc possible d'en dériver une information sur le degré d'artificialisation du paysage, et sur la finesse de la description de la tache urbaine. En effet, LPI nous renseigne sur la place qu'occupe le plus grand patch urbain, en général le centre dense, dans l'aire urbaine fonctionnelle. Ainsi, lorsque la valeur de LPI tend vers celle de PLAND, cela signifie que le produit aura tendance à omettre les zones pour lesquelles la cartographie requiert un certain niveau de précision, plus généralement les espaces où l'artificialisation est diffuse. Nous voyons donc ici l'importance de l'UMC et de la résolution spatiale des produits, qui conditionnent la taille de la plus petite unité représentée sur la couche d'occupation du sol.

| Nom       | Métrique                       | Description  | Type   | Unité    | Etendue                         |
|-----------|--------------------------------|--|--------|----------|---------------------------------|
| PLAND     | Percentage of Landscape        | PLAND est égal à l'aire totale de la tache urbaine, divisée par l'aire de l'AUF  | Classe | Pourcent | $0 < \text{PLAND} \leq 100$     |
| LPI       | Largest Patch Index            | LPI est égal à l'aire du plus grand patch urbain, divisée par l'aire de l'AUF  | Classe | Pourcent | $0 < \text{LPI} \leq 100$       |
| AREA      | <i>Patch Area</i>              | <i>AREA est égal à l'aire d'un patch urbain</i>  | Patch  | Hectares | $0 < \text{AREA}$               |
| — AREA_MN |                                | AREA_MN est égal à la moyenne des aires des patchs urbains   | Classe | Hectares | $0 < \text{AREA\_MN}$           |
| — AREA_SD |                                | AREA_SD est égal à la racine carrée de la somme des aires de chaque patch urbain, divisée par le nombre de patchs urbains  | Classe | Hectares | $0 < \text{AREA\_SD}$           |
| FRAC      | <i>Fractal Dimension Index</i> | <i>FRAC est égal à deux fois le logarithme du périmètre du patch urbain, divisé par le logarithme de l'aire de ce même patch</i><br>FRAC_AM est égal à la somme des FRAC mesurés pour chaque patch urbain, pondérée par l'aire de la tache urbaine | Patch  | Aucune   | $1 \leq \text{FRAC} \leq 2$     |
| — FRAC_AM |                                | AREA_SD est égal à la racine carrée de la somme des FRAC mesurés pour chaque patch urbain, divisée par le nombre de patchs urbains   | Classe | Aucune   | $1 \leq \text{FRAC\_AM} \leq 2$ |
| — FRAC_SD |                                | SIDI indique la probabilité que deux pixels sélectionnés aléatoirement appartiennent à la même classe. Une valeur de SIDI égale à 0 indique l'existence d'un seul et unique patch, et donc l'absence de diversité                                  | Classe | Aucune   | $0 < \text{FRAC\_SD}$           |
| SIDI      | Simpson Diversity Index        | Paysage  | Aucune |          | $0 < \text{SIDI} \leq 1$        |

Tableau 5 : Description des métriques spatiales retenues (adapté de McGarigal & Marks, 1995)

Les indicateurs AREA\_MN et AREA\_SD apportent également une information sur le niveau de détail de chaque produit. En effet, plus l'aire des patchs est faible, plus cela signifie que l'échelle à laquelle est cartographié le phénomène est fine. Nous donc pouvons supposer que ces métriques seront d'autant plus sensibles à l'UMC et à la résolution spatiale des produits, aux chaînes de traitements qui ont permis leur production ou leur harmonisation, et aux erreurs systématiques et aléatoires.

Il faut donc tenir compte de ce biais méthodologique dans l'interprétation des métriques spatiales, notamment en ce qui concerne les couches pour lesquelles un rééchantillonage ou une rasterisation a été nécessaire. Le propos vaut aussi pour FRAC\_AM, FRAC\_SD et SIDI.

De sorte à mesurer le degré de complexité des formes décrites par les différents produits évalués, nous nous sommes intéressés à la dimension fractale, par le calcul des indicateurs FRAM\_AM et FRAC\_SD. Ainsi, plus l'indicateur FRAC\_AM se rapproche de 1, moins la forme de chacun des patchs sera complexe. L'utilisation d'une pondération par l'aire de la tache urbaine permet ici de dériver une information sur le paysage en lui-même, et non pas seulement sur les patchs, comme ce serait le cas avec la moyenne. Une mesure de l'écart-type nous permet également d'évaluer le degré de variabilité de la complexité des formes urbaines.

Finalement, nous avons calculé un indicateur portant sur la diversité des paysages qui composent chaque aire urbaine fonctionnelle. Le SIDI renvoie ainsi à la probabilité que deux cellules prises aléatoirement sur le raster appartiennent à des classes différentes, et permet donc de comparer différents paysages.

Ces métriques ont été calculées pour l'ensemble des bases de données à notre disposition, et sur chacune des aires urbaines fonctionnelles.

### *ii. Calcul de matrices de confusion*

Outre ces métriques spatiales, nous avons également élaboré des matrices de confusion, qui permettent d'évaluer la qualité d'un produit en fonction d'une donnée de référence. Cela renseigne, au moins d'un point de vue statistique, sur la bonne correspondance des différentes taches artificialisées constituées à partir des bases de données d'occupation du sol. Ainsi, aucune validation par rapport à une vérité terrain n'a été réalisée dans le cadre de cette étude, seulement des inter-comparaisons. Pour un produit « tache artificialisée » donné, les couches utilisées comme références correspondent donc aux produits restants. En effet, ces bases de données n'ont pas pour objectif de cartographier les mêmes choses aux mêmes échelles. Mesurer leur qualité par rapport à un seul et même jeu de validation introduirait donc un biais dans l'interprétation des résultats, signifiant qu'il faudrait disposer d'un échantillon spécifique à chaque chaîne de production. Or, chaque projet de cartographie de l'occupation du sol propose déjà à l'utilisateur une information sur la qualité intrinsèque du produit considéré. L'objectif est donc avant tout d'étudier la similitude entre différentes bases de données et leur éventuelle complémentarité, et ce pour les territoires ciblés.

La forme des matrices obtenues correspond à celle précisée dans le Tableau 6. Dans le cadre de cette étude, seules deux classes ont été étudiées : les thèmes « artificialisé » et « non-artificialisé ». La diagonale correspond à l'ensemble des pixels pour lesquels le produit à évaluer et la référence concordent.

|                |                      | REFERENCE       |                 |                 | Précision utilisateur |
|----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
|                |                      | a               | b               | Total           |                       |
| CLASSIFICATION | a                    | p <sub>aa</sub> | p <sub>ab</sub> | p <sub>a•</sub> | —                     |
|                | b                    | p <sub>ba</sub> | p <sub>bb</sub> | p <sub>b•</sub> | —                     |
|                | Total                | p <sub>a•</sub> | p <sub>b•</sub> | Σp..            |                       |
|                | Précision producteur | —               | —               |                 |                       |
|                | Précision globale    |                 |                 | —               |                       |
| F-Score        |                      |                 |                 |                 | —                     |

Tableau 6 : Matrice de confusion et indicateurs qualité

De sorte à pouvoir analyser des résultats plus facilement exploitables, nous avons dérivé à partir des matrices d'origine un total de 4 indicateurs de qualité pour la tache artificialisée seulement, proposés par Story et Congalton (1986). Ce sont :

- (1) La précision globale, qui correspond à la proportion des pixels correctement classifiés selon la référence. Elle est égale au rapport entre la diagonale de la matrice de confusion, et le nombre total de pixels évalués :

$$OA = p_{aa} + p_{bb} / \Sigma p..$$

- (2) La précision de l'utilisateur (commission), qui correspond à la proportion des pixels appartenant à une classe  $i$  sur la classification, et qui représentent effectivement cette catégorie sur la donnée de référence. Elle est égale au rapport entre le nombre de pixels d'une classe  $i$  bien classés, et le nombre total des pixels de la classification pour cette classe :

$$UA = p_{aa} / p_{a\cdot}$$

- (3) La précision du producteur (omission), qui correspond à la proportion des pixels appartenant à une classe  $i$  sur la donnée de référence, et qui sont correctement cartographiés sur la classification. Elle est égale au rapport entre le nombre de pixels d'une classe  $i$  bien classés et le nombre total des pixels de la référence pour cette classe :

$$PA = p_{aa} / p_{\cdot a}$$

- (4) La mesure F, peu sensible à la distribution des classes thématiques. Elle correspond à la moyenne harmonique des précisions utilisateur et producteur. A noter que pour cette étude, la mesure F a seulement été calculée pour la classe « tache artificialisée » :

$$F = 2 \times (UA \times PA) / (UA + PA)$$

L'information sur la bonne correspondance entre les différents produits est ainsi résumée par un total de 24 matrices de confusion : une par indicateur qualité et par aire urbaine fonctionnelle.

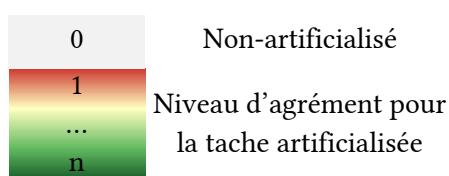
Compte-tenu du fait que nous disposons de produits issus de l'interprétation de référentiels image et de méthodes de classification informatiques, l'analyse des résultats a été partagée en plusieurs parties. En effet, nous avons pu constater grâce aux spécifications des bases de données que les produits vectoriels permettent d'aller plus loin dans la description géométrique et thématique de la tache artificialisée, ce qui rendrait biaisée une comparaison avec le format de livraison raster. Nous avons donc tout d'abord analysé les matrices de confusion pour les bases de données vectorielles, puis pour les rasters, et enfin pour un sous-ensemble de ces produits image – OSO S2, Global Urban Footprint, HRL Imperviousness et le prototype A<sup>2</sup>S – proches dans leurs spécifications.

### *iii. Cartographie de l'agrément*

Après avoir réalisé une harmonisation des nomenclatures, il est possible de superposer les taches artificialisées afin de cartographier l'agrément, cette fois-ci spatialisé, et qui représente pour chaque pixel le niveau d'accord entre les produits.

Cette étape consiste à additionner les rasters, pour produire une couche dont les valeurs sont comprises entre 0 et  $n$ , avec  $n$  le nombre de produits étudiés.

Nous obtenons ainsi :



Lorsque la valeur de l'agrément est égale à 1, cela signifie que le pixel concerné n'est considéré comme tache artificialisée que par un seul produit. Un agrément de valeur n montre que l'ensemble des jeux de données cartographient le pixel comme faisant effectivement partie de l'objet urbain. A nouveau, le traitement a été décomposé en plusieurs niveaux, avec le calcul d'un agrément pour l'ensemble des produits, les bases de données vectorielles seulement, les rasters seulement, puis un sous-ensemble de quatre rasters – OSO S2, Global Urban Footprint, HRL Imperviousness et le prototype A<sup>2</sup>S. L'information apportée par ce niveau d'accord spatial a été résumée en 5 classes pour faciliter l'interprétation des documents cartographiques (Tableau 7).

| Produits évalués<br>Accord spatial | Total           | Vecteur | Raster | Sous-ensemble<br>raster |
|------------------------------------|-----------------|---------|--------|-------------------------|
| Non-artificialisé                  | 0               | 0       | 0      | 0                       |
| Faible                             | 1 – 3           | 1       | 1 – 2  | 1                       |
| Moyen                              | 4 – 5<br>4 – 6* | —<br>2* | 3 – 4  | 2                       |
| Elevé                              | 6 – 8<br>7 – 9* | —       | 5 – 6  | 3                       |
| Maximal                            | 9<br>10*        | 2<br>3* | 7      | 4                       |

Tableau 7 : Résumé des valeurs d'agrément en 5 classes. \* Valeurs spécifiques à Toulouse du fait d'OCS GE.

En fonction du niveau d'agrément, cette information nous permettra d'identifier quels sont les produits les plus adaptés à la cartographie de différentes portions du territoire français. En effet, du fait de spécifications différentes, nous pouvons supposer que la tache artificialisée ne sera pas représentée de la même manière en fonction de la couche dont elle est issue.

## **IV. RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA QUALITE DE L'OFFRE EN PRODUITS « TACHE ARTIFICIALISEE »**

Les résultats présentés dans cette partie se rapportent à la tache artificialisée, et sont donc uniquement valables pour les couches issues de l'harmonisation des nomenclatures. Compte-tenu du fait que ces résultats ont été obtenus à partir de produits multi-dates, nous poserons le postulat que les différences entre ces couches ne sont pas le fait de changements d'occupation du sol, mais plutôt de spécifications différentes. Bien que nous ayons sélectionné des dates de production proches pour chaque base de données, cela a pu introduire un biais dont il faudra tenir compte pour l'interprétation des phénomènes observés ou d'éventuels travaux ultérieurs.

Les résultats de l'harmonisation des nomenclatures sont disponibles en annexe pour Bordeaux (Annexe 9), Grenoble (Annexe 10), Metz (Annexe 11), Rennes (Annexe 12), Strasbourg (Annexe 13) et Toulouse (Annexe 14). Ces documents nous ont permis de souligner des disparités dans la manière dont est représentée la tache artificialisée. En effet, il est possible de distinguer en fonction de leur grain :

- (1) Les produits CES OSO L8, CES OSO S2, OCS GE et Urban Atlas qui possèdent une forte rugosité, principalement au niveau des espaces situés en périphérie du centre dense ;
- (2) Les produits Global Urban Footprint et HRL Imperviousness qui possèdent une rugosité faible à moyenne ;
- (3) Les produits A<sup>2</sup>S, CORINE Land Cover, et GlobeLand30 qui possèdent une faible rugosité et représentent la tache artificialisée par de grandes enveloppes homogènes ;
- (4) Le produit GLC2000, qui résume l'information sur la tache artificialisée aux seuls centres denses.

### **1. Comparaison des produits vectoriels**

#### **a. Analyse granulométrique**

Les profils granulométriques disponibles en Annexe 15 permettent d'apprécier la répartition des tailles des polygones appartenant à la tache artificialisée, pour trois produits vectoriels : CORINE Land Cover, Urban Atlas, puis OCS GE.

Pour l'ensemble des sites, les courbes granulométriques dérivées d'un même produit ont révélé des distributions et tendances similaires. Nous avons ainsi :

- (1) Pour CLC, une rupture de pente au niveau de la surface de 25ha, qui correspond à l'UMC de la base de données d'occupation du sol ;
- (2) Pour Urban Atlas, une rupture de pente au niveau de la surface de 0.25ha, qui correspond à l'UMC de la base de données d'occupation du sol pour les polygones appartenant à l'urbain ;
- (3) Pour OCS GE, une rupture de pente au niveau de la surface de 0.02 ha, qui correspond à l'UMC de la base de données d'occupation du sol pour les polygones appartenant à la classe « bâti ».

Pour chaque profil, une certaine proportion des polygones possède une surface inférieure à l'UMC du produit considéré, plus particulièrement pour Urban Atlas et OCS GE. Cela correspond, pour tout ou partie, à un artefact laissé lors de l'extraction de chacune des bases de données d'occupation du sol, à l'aide des couches décrivant le contour des aires urbaines fonctionnelles.

Une analyse plus détaillée de la granulométrie a été réalisée à l'aide des coefficients d'uniformité (Cu) et de courbure (Cc), décrits dans le Tableau 8.

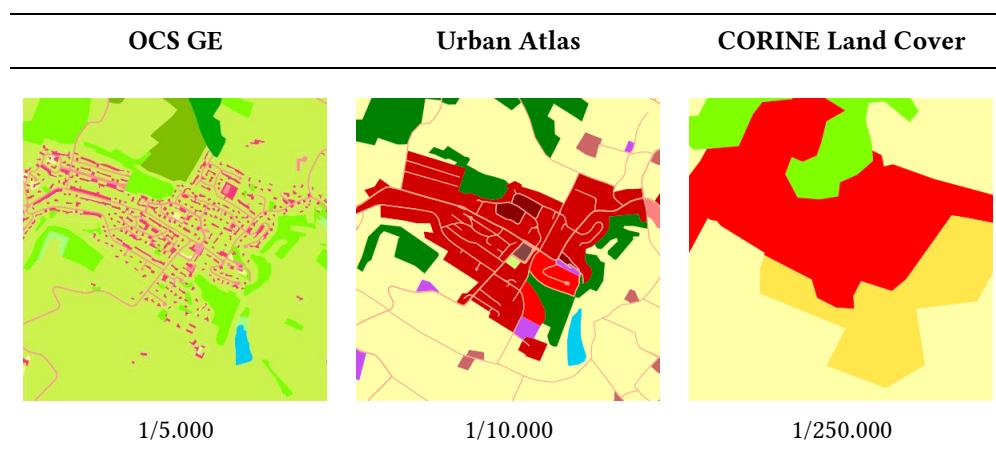
|              | Bordeaux | Grenoble | Metz | Rennes | Strasbourg | Toulouse |
|--------------|----------|----------|------|--------|------------|----------|
| CuCLC        | 2,68     | 2,09     | 1,83 | 2,59   | 2,16       | 2,35     |
| CcCLC        | 0,75     | 0,64     | 0,76 | 0,73   | 0,77       | 0,69     |
| CuUrbanAtlas | 3,53     | 3,32     | 4,42 | 3,05   | 3,89       | 3,41     |
| CcUrbanAtlas | 0,82     | 0,74     | 0,89 | 0,86   | 0,84       | 0,85     |
| CuOCSGE      | —        | —        | —    | —      | —          | 4,62     |
| CcOCSGE      | —        | —        | —    | —      | —          | 0,51     |

**Tableau 8 :** Coefficients d'uniformité (Cu) et de courbure (Cc) pour différents produits vectoriels

Compte-tenu du coefficient d'uniformité, les courbes ont systématiquement révélé une granulométrie uniforme et serrée pour l'ensemble des couches étudiées. Cela signifie que les polygones décrits au sein d'un même produit possèdent des surfaces proches les unes des autres. D'une manière générale, nous pouvons noter CuCLC < CuUrbanAtlas < CuOCSGE, avec une finesse de description de la tache artificialisée directement proportionnelle au coefficient d'uniformité.

Les coefficients de courbure ont quant à eux montré une granulométrie discontinue et mal graduée, avec une ou plusieurs fractions dominantes. Cela se traduit, par exemple pour CLC, par l'existence de paliers qui marquent l'absence de certaines fractions, notamment pour les surfaces comprises entre 100 et 200ha.

D'un point de vue géométrique, ces différents produits vectoriels sont complémentaires, puisqu'ils décrivent le territoire suivant des échelles, unités minimales de cartographie et granulométries qui ne sont pas les mêmes. Cela autorise ainsi une analyse multiscalaire de la tache artificialisée et des objets qui la constituent (Figure 7).



**Figure 7 :** Complémentarité géométrique des produits vectoriels

### b. Analyse des isolats

Les isolats ont été cartographiés sur chacune des aires fonctionnelles pour CORINE Land Cover et Urban Atlas, mais aussi pour OCS GE dans le cas de Toulouse. Ces résultats sont disponibles en annexe pour Bordeaux (Annexe 16), Grenoble (Annexe 17), Metz (Annexe 18), Rennes (Annexe 19), Strasbourg (Annexe 20) et Toulouse (Annexe 21).

Le Tableau 9 permet d'apprécier la surface occupée par les isolats issus d'un produit, par rapport à la surface totale de la tache artificialisée qu'il décrit.

| Surface (%)       | Bordeaux | Grenoble | Metz | Rennes | Strasbourg | Toulouse |
|-------------------|----------|----------|------|--------|------------|----------|
| CORINE Land Cover | 13.0     | 11.2     | 15.4 | 11.2   | 15.5       | 5.7      |
| Urban Atlas       | 33.9     | 28.4     | 24.4 | 46.4   | 18.4       | 10.2     |
| OCS GE            | —        | —        | —    | —      | —          | 10.3     |

**Tableau 9 :** Pourcentage de la surface occupée par les isolats de différents produits d'occupation du sol, par rapport à la surface totale de la tache artificialisée

Entre 42.4% et 73.8% de la surface artificialisée est représentée de la même manière par ces bases de données vectorielles. Les valeurs minimale et maximale correspondent respectivement à celles mesurées pour Rennes et Toulouse. Cet écart important peut s'expliquer par une représentation plus difficile de la tache urbaine au niveau de Rennes, du fait d'un habitat trop diffus par exemple. En effet, c'est Urban Atlas qui y apporte le plus d'informations pour décrire le processus d'artificialisation, avec des isolats qui représentent un totale de 46.4% de la tache. Or, plus le pourcentage d'isolats est élevé, plus la description faite des paysages est fine. La forme de l'habitat conditionne donc l'échelle et l'unité minimale de cartographie des bases de données utilisées pour étudier la tache urbaine.

Ainsi, les produits Urban Atlas et OCS GE sont ceux qui apportent systématiquement le plus d'informations, et qui font donc la description la plus fine du processus d'artificialisation. Dans le cas de Toulouse, ces deux bases de données vectorielles donnent lieu aux mêmes superficies d'isolats. En complément des résultats obtenus à l'aide des profils granulométriques, cela confirme bel et bien l'existence d'une complémentarité entre Urban Atlas et OCS GE, qui permettent d'apprécier la tache urbaine à différentes échelles.

Nous pouvons également noter au niveau de Strasbourg que les produits CORINE Land Cover et Urban Atlas apportent une quantité d'information proche. Cela peut s'expliquer par des formes d'habitat plus compactes, dont la cartographie requiert une finesse moins importante que dans le cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes par exemple.

Concernant les cartes qui représentent les isolats, nous avons partiellement perdu la profondeur sémantique des nomenclatures initiales de chaque produit vectoriel, puisque seule la tache artificialisée est représentée. En effet, l'information thématique est agrégée à un seul niveau d'analyse, ne permettant pas d'apprécier pleinement les apports de ces bases de données. Pour pallier à cela, nous avons ciblé, lors de la cartographie, certains des polygones appartenant aux classes les plus représentées dans les isolats.

Les résultats montrent pour les aires urbaines fonctionnelles des comportements relativement proches. En effet, nous avons pu constater pour Urban Atlas que les isolats caractérisent principalement les axes de transport, espaces verts urbains et différentes formes d'habitat discontinu. Dans le cas des voies de circulation, cela s'expliquer par une unité minimale de cartographie et échelle d'interprétation suffisamment fines pour permettre la cartographie des routes, chemins, et certaines portions des autoroutes. Dans le cas des espaces verts urbains, seuls Urban Atlas et CORINE Land Cover disposent de ce poste dans leur nomenclature. La correspondance des polygones pour ces deux bases de données est cependant « mauvaise » sur ce thème. Quant au produit OCS GE, celui-ci apporte une information sur les formations végétales qui occupent les espaces verts urbains, qui appartiennent également à la classe d'usage du sol US235, soit des polygones qui décrivent une production secondaire, tertiaire ou un usage résidentiel. Viennent finalement les isolats associés aux différentes formes d'habitat discontinu. Ils sont principalement observés en périphérie du centre, et plus particulièrement visibles dans la zone de navettement de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes. En effet, ils y décrivent un archipel, constitué de multiples petits îlots, connectés entre eux par le réseau viaire. Du fait de leur taille modeste et de leur caractère diffus, les spécifications du produit CORINE Land Cover ne sont donc pas adaptées à leur cartographie.

Dans le cas de CORINE Land Cover, les isolats correspondent principalement au reste des enveloppes homogènes qui décrivent la tache artificialisée. En effet, l'occupation du sol est représentée au 1/250.000 par de grands polygones, qui surestiment donc l'emprise réellement occupée par la tache artificialisée. Ce phénomène s'observe principalement au niveau des zones de transition urbain/rural, mais aussi à proximité des cours d'eau. Ainsi, dans le cas de Rennes par exemple, des portions entières de la Vilaine disparaissent dans le tissu urbain. Malgré ces commissions, le produit CORINE Land Cover permet un inventaire à priori plus complet des grandes emprises industrielles et commerciales, des zones d'extraction de matériaux, mais aussi des équipements sportifs et de loisirs. Des réserves sont cependant émises, puisque la donnée fournie dans le cadre du projet européen Urban Atlas propose par exemple elle-aussi une cartographie des équipements sportifs et de loisirs. Les polygones pour cette classe ne montrent cependant pas ou peu de correspondance entre les produits. Cela pourrait s'expliquer par des échelles cartographiques différentes, ou tout simplement par des erreurs dans l'interprétation des référentiels image.

Enfin, OCS GE complète efficacement Urban Atlas, dans la mesure où il précise l'usage qui est fait des terrains associés aux voies de circulation et zones d'habitat par exemple. Le propos concerne principalement les classes qui décrivent les zones non bâties, les emprises occupées par des espaces verts urbains ou par une végétation non entretenue. L'usage est ainsi parfait d'une description physique des objets qui occupent le territoire : la végétation n'est pas seulement décrite au travers de ses fonctions, mais aussi par ses caractéristiques propres, telles le type de formation végétale représenté. Enfin, concernant l'habitat, celui-ci est décrit selon 2 niveaux. Le premier consiste en une cartographie exhaustive des installations humaines, contiguës ou non, et représentées par les codes de couverture CS. Il est complété par une information sur l'usage des sols US, qui se traduit spatialement par des enveloppes homogènes dont les contours consignent rigoureusement les produits de l'artificialisation. Ces polygones possèdent une emprise plus fine que celle décrite par Urban Atlas, ce dernier étant plutôt destiné à cartographier des îlots, compte-tenu des observations que nous avons pu faire des isolats et profils granulométriques.

Les nomenclatures des différents produits, ainsi que leur échelle et UMC, permettent donc d'apporter une information très spécifique pour certains objets appartenant à la tache urbaine.

L'hétérogénéité soulignée par ces résultats peut cependant compliquer l'interprétation faite de la tache urbaine. Cela justifie donc de réfléchir en amont aux thèmes qui seront retenus pour analyser l'artificialisation, de sorte à pouvoir sélectionner le produit le plus adapté aux besoins de l'étude.

## **2. Comparaison étendue à l'ensemble des produits**

### **a. Métriques spatiales**

Différentes métriques spatiales ont été dérivées pour chaque produit et sur chacun des sites, pour la classe « tache artificialisée », puis pour le paysage dans son ensemble. Ces résultats sont disponibles en annexe pour Bordeaux (Annexe 22), Grenoble (Annexe 23), Metz (Annexe 24), Rennes (Annexe 25), Strasbourg (Annexe 26) et Toulouse (Annexe 27).

Concernant les métriques de classe, nous avons tout d'abord PLAND qui décrit la place qu'occupe la tache artificialisée dans l'aire urbaine fonctionnelle. Le produit GLC2000 a systématiquement enregistré les valeurs les plus faibles, inférieures à 5% pour l'ensemble des sites, sauf pour Strasbourg où PLAND atteint jusqu'à 7.3%. Pour le même indicateur, Urban Atlas et la couche CES OSO L8 se partagent les valeurs les plus élevées. Dans le cas d'Urban Atlas, cela s'explique par une échelle cartographique très fine, permettant de saisir le phénomène urbain dans sa globalité. Le propos vaut également pour OCS GE qui, au niveau de Toulouse, enregistre la valeur maximale de PLAND, avec une tache artificialisée qui occupe 18% de la superficie de l'aire urbaine fonctionnelle. Compte-tenu des profils des différentes zones d'étude et de leur morphologie, les produits restants se caractérisent par une certaine stabilité dans leur comportement et la manière dont ils représentent les formes issues des processus d'anthropisation. OCS GE et Urban Atlas, issus de l'interprétation d'images à très haute résolution, se distinguent donc du reste des produits dans la mesure où la tache artificialisée qu'ils décrivent est comparativement plus grande à celle représentée dans les autres bases de données.

L'indicateur LPI décrit quant à lui la place qu'occupe dans le paysage le plus grand patch appartenant à la tache artificialisée. Une interprétation directe de ses valeurs n'apportait cependant pas d'information spécifique. Nous avons donc construit l'indicateur LPI/PLAND, qui correspond simplement au rapport de ces deux métriques. Il décrit ainsi la place qu'occupe le plus grand patch, supposément le centre dense, dans la tache artificialisée. Le produit GLC2000 se démarque à nouveau, puisqu'il enregistre systématiquement des valeurs supérieures ou égales à 80%, sauf pour Metz où le rapport vaut 60%. Or, plus la valeur de LPI/PLAND se rapproche de 100%, plus nous pouvons supposer que la description de la tache artificialisée se rapporte avant tout au centre dense et terrains associés. GLC2000 correspond donc au produit qui s'attache le moins à décrire les espaces périphériques et/ou diffus, ce qui s'explique notamment par une résolution spatiale de 1km. Les tendances pour les autres taches artificialisées sont moins évidentes, du fait d'une variation importante du rapport LPI/PLAND d'un site à l'autre. Attention cependant, car malgré notre interprétation de ce rapport, une valeur faible de LPI/PLAND ne sera pas toujours synonyme d'exhaustivité et de précision. En effet, Urban Atlas et OCES GE enregistrent par exemple les valeurs les plus hautes pour cet attribut, proches de 100%, et ce malgré des spécifications favorables à une description à grande échelle de la tache artificialisée. Pour ces produits, nous pouvons supposer que les différentes zones d'habitat sont connectées entre elles par les éléments du réseau de transport, donnant lieu à des patchs de grande surface.

L'aire moyenne AREA\_MN a montré que le comportement de chaque produit pris individuellement varie peu, quelle que soit l'aire urbaine fonctionnelle étudiée. Nous avons pu constater que GLC2000 possède exclusivement les patchs dont la surface moyenne est la plus grande. Compte-tenu des observations réalisées sur les indicateurs précédents, cela renvoie donc à une description peu détaillée de la tache artificialisée, avec des patchs dont l'aire moyenne est proche de 1000ha. Les surfaces les plus élevées sont ensuite attribuées, dans l'ordre, à CORINE Land Cover, OCS GE, Urban Atlas, GlobeLand30 puis au produit A<sup>2</sup>S. Ainsi, les couches qui sont issues de l'interprétation d'images ou d'approches de classification orientées objet permettent d'extraire de grands patchs décrivant une occupation du sol homogène. A ceux-là s'opposent les taches artificialisées dérivées de méthodes de classifications orientées pixel, qui décrivent plus finement les paysages, avec des aires moyennes inférieures à 10ha. Au même titre que pour la remarque faite concernant le rapport LPI/PLAND, des aires moyennes faibles ne seront pas forcément synonymes de précision ni d'exhaustivité.

L'écart-type AREA\_SD mesuré pour l'aire des patchs nous a permis d'apprécier la diversité de leurs superficies, et ce pour chaque produit. Dans l'ordre décroissant, cet indicateur prend systématiquement ses valeurs les plus élevées pour GLC2000, OCS GE, Urban Atlas, CORINE Land Cover, GlobeLand30 et la couche A<sup>2</sup>S. Ces produits correspondent à ceux qui sont issus de l'interprétation d'images, ou dont les résolutions spatiales sont les plus grossières. Nous pouvons cependant noter que leur écart-type reste dans un ordre de grandeur proche de celui-ci de leur aire moyenne, ce qui sous-entend donc peu de diversité dans la superficie des patchs qui décrivent la tache artificialisée. Les valeurs d'écart-type les plus faibles sont quant à elles observées pour les bases de données d'occupation du sol issues de méthodes de classification orientées pixel. Comparés à la moyenne, ces écarts sont cette fois-ci importants et traduisent une très grande diversité de tailles pour les patchs.

Les indicateurs de fractale nous ont quant à eux renseigné sur la complexité des formes des patchs décrivant la tache artificialisée, et donc la finesse de sa représentation. Nous avons pu constater que les produits CORINE Land Cover, GLC2000 et GlobeLand30 possèdent les patchs les moins complexes, ce qui s'explique principalement par leur résolution ou UMC, et par leur mode de production. En effet, ce sont les couches pour lesquelles la tache artificialisée est décrite par de grandes surfaces lisses et homogènes. Le niveau de complexité augmente pour les produits dérivés de méthodes de classification orientées pixel, ou d'une interprétation sur des images à très haute résolution spatiale. En effet, ces chaînes de traitement autorisent une certaine finesse dans la description faite de la tache artificialisée par chaque patch. Attention cependant, cela n'est pas forcément synonyme de précision sémantique et/ou géométrique. Dans le cas des méthodes de classification orientées pixel, la complexité des patchs sera par exemple le fait d'un effet poivre et sel généré par des mixels, ou encore de la résolution des produits utilisés en entrée du classifieur. Cela justifie l'utilisation d'autres métriques, notamment les matrices de confusion et la cartographie de l'agrément, qui permettent d'apporter plus de détail dans la description des différents produits.

L'écart-type FRAC\_SD mesuré pour l'indicateur de fractale possède ses valeurs les plus faibles pour GLC2000, CORINE Land Cover et GlobeLand30, qui décrivent des contours uniformes. Les produits pour lesquels l'indicateur de fractale possède les variations les plus importantes sont distribués en format image ou constitués à partir de l'imagerie satellitaire haute résolution.

Enfin, nous avons également calculé une métrique spatiale permettant d'apprécier la diversité des paysages étudiés, l'indice de Simpson. Dans le cas de GLC2000, la valeur de SIDI est très proche de 0,

ce qui signifie que le paysage s'organise autour de seulement quelques patchs pour la tache artificialisée. D'une manière générale, les produits qui enregistrent les scores les plus élevés sont ceux distribués dans le cadre des projets OSO, A<sup>2</sup>S, Urban Atlas et OCS GE. Cela traduit une certaine complexité dans la manière dont est décrite la tache artificialisée, avec des patchs artificialisés et non-artificialisés qui se répartissent de façon homogène dans le paysage.

En conclusion, ces métriques spatiales nous ont permis de caractériser la manière dont chaque produit décrit la tache artificialisée. Différents comportements ressortent, le plus perceptible étant celui de GLC2000. En effet, cette base de données d'occupation du sol s'organise autour d'une description synthétique mais grossière de la tache urbaine, résumée par seulement quelques patchs. D'autres produits, plus fins mais toujours synthétiques, permettent d'apprécier plus en détail l'emprise occupée par les surfaces artificialisées, principalement CORINE Land Cover, GlobeLand30, et la couche A<sup>2</sup>S dans une certaine mesure, qui possèdent des comportements proches. Enfin, les bases de données qui décrivent la tache urbaine avec le plus de complexité sont issues de l'interprétation d'images à très haute résolution spatiale et de méthodes de classification orientées pixel : ce sont les produits OSO, GUF, HRL, OCS GE et Urban Atlas.

### **b. Matrices de confusion**

Dans le cadre de cette analyse, nous avons résumé les matrices de confusion au travers de 4 indicateurs mesurés pour chaque produit : la précision globale, la précision du producteur, la précision de l'utilisateur et la mesure F. Ces résultats sont disponibles en annexe pour Bordeaux (Annexe 28), Grenoble (Annexe 29), Metz (Annexe 30), Rennes (Annexe 31), Strasbourg (Annexe 32) et Toulouse (Annexe 33).

A noter que les diagonales des 2 premières matrices expriment respectivement pour chaque produit évalué la moyenne de sa précision globale, et la moyenne de sa mesure F.

Nous avons donc tout d'abord interprété les résultats pour les matrices de confusion issues des bases de données vectorielles, puis pour les rasters, et enfin pour un sous-ensemble de ces produits image.

#### *i. Analyse des matrices pour l'ensemble des produits vecteur*

Les inter-comparaisons réalisées entre CLC, OCS GE et Urban Atlas montrent des précisions globales supérieures à 85%. La meilleure correspondance est mesurée pour le couple OCS GE/Urban Atlas disponible sur Toulouse seulement, traduisant une similitude importante dans la description du paysage de l'AUF pour ces deux produits. Cela s'explique notamment par les UMC de chaque base de données, avec CORINE Land Cover qui tend à produire de grandes enveloppes homogènes, tandis qu'OCS GE et Urban Atlas iront au moins jusqu'à la description des îlots, voire même du bâti pour le produit de l'IGN.

La mesure du F intègre une information sur les erreurs d'omission et de commission, et permet d'avoir un regard plus objectif sur les produits étudiés qu'avec la précision globale seulement. Les mêmes tendances sont malgré tout observées, avec des F moyens supérieurs ou égaux à 0.6 et une valeur maximale de 0.82 enregistrée pour le couple OCS GE/Urban Atlas. La mesure F correspond cependant à une moyenne harmonique des précisions utilisateur et producteur. Elle lisse donc l'information apportée par ces deux indicateurs, ce qui justifie de les étudier plus en détail pour

comprendre la manière dont les produits cartographient l'occupation du sol l'un par rapport à l'autre, en matière d'omission (précision producteur) et de commission (précision utilisateur).

La précision pour le producteur montre avec CORINE Land Cover des omissions comprises entre 15 et 50% selon les sites, avec les valeurs minimale et maximale respectivement mesurées sur les AUF de Strasbourg et de Rennes. Pour OCS GE et Urban Atlas, les omissions pour la tache artificialisée sont systématiquement inférieures ou égales à 20% des pixels, quelle que soit la référence utilisée. Concernant la précision pour l'utilisateur cette fois-ci, les commissions ont des valeurs comprises entre 15 et 50%, avec une précision minimale mesurée pour les couples Urban Atlas/CLC et OCS GE/CLC. Ces observations sont le fait des UMC des différents produits, puisque CORINE Land Cover a tendance à décrire le paysage par de grandes enveloppes homogènes, ce qui justifie les commissions particulièrement élevées d'OCS GE et Urban Atlas lorsque CLC est utilisé comme référence. En effet, les installations humaines diffuses et/ou modestes ne sont pas répertoriées dans CORINE Land Cover, ce qui explique par la même l'importance de ses omissions lorsqu'évalué.

A noter également que les résultats obtenus nous ont permis de souligner un comportement particulier pour ces bases de données, dans la mesure où leur « bonne correspondance » semble être liée à la morphologie urbaine des sites étudiés. En effet, les statistiques mesurées opposent les AUF de Strasbourg et de Rennes, qui ont respectivement obtenu les scores les plus élevés et les plus faibles. Ainsi, le caractère diffus de l'habitat rennais pourrait complexifier la description de la tache artificialisée, du fait des héritages laissés par le bocage dans les modes d'occupation du sol par exemple. A l'inverse, les installations humaines en Alsace connaissent l'influence d'un paysage agraire en openfield, favorable aux structures compactes qui pourraient être propices à une cartographie plus uniforme de la tache artificialisée (Watteaux, 2005).

#### *ii. Analyse des matrices pour l'ensemble des produits raster*

Les matrices de confusion constituées à partir des 7 produits raster dont nous disposons montrent des précisions globales généralement supérieures à 85%. Les meilleurs scores sont enregistrés pour Global Urban Footprint, quel que soit le site, avec des valeurs supérieures ou égales à 90%. Les couples de produits qui se ressemblent le plus sont principalement GUF/HRL et GUF/OSO S2, différentes bases de données de résolutions proches et constituées à l'aide de méthodes de classification orientées pixel.

Selon la mesure F, Global Urban Footprint enregistre toujours les scores de bonne correspondance les plus élevés. Cet indicateur permet également de relever un comportement peu évident lorsqu'observé au travers de la précision globale, celui de GLC2000 qui correspond le moins au reste des bases de données. En effet, les F obtenus pour celui-ci sont constamment inférieurs à 0.5 et atteignent même 0.28 pour l'AUF de Rennes, traduisant une difficulté à cartographier de façon uniforme la tache artificialisée. Enfin, le couple de produits les plus proches correspond ici à OSO S2/OSO L8, ce qui s'explique avant tout par une chaîne de production commune, malgré des résolutions et sources de données différentes.

Compte-tenu des résultats obtenus avec la précision globale et la mesure F, il semblerait que pour le format de livraison raster, le degré similitude des produits soit particulièrement dépendant de la chaîne de production utilisée, de la résolution du pixel, et de la méthode de classification – objet ou pixel – employée. Ainsi, en complément des points évoqués précédemment, nous pouvons également souligner le fait que les produits A<sup>2</sup>S et GlobeLand30, constitués à un niveau objet, se

ressemblent plus entre eux qu'ils ne ressemblent aux taches artificialisées issues de méthodes orientées pixel.

Concernant les précisions pour le producteur, les produits distribués dans le cadre des projets CES OSO S2 et A<sup>2</sup>S renvoient les meilleurs résultats, signifiant qu'ils parviennent à représenter efficacement la tache urbaine minimale décrite par l'ensemble des bases de données, tout en omettant peu de pixels artificialisés. La taille des pixels pour les images utilisées en entrée des chaînes de production peut expliquer ces observations, dans la mesure où Sentinel-2 récolte l'information à des résolutions allant de 10 à 60m, favorables à la détection d'une vaste palette d'installations humaines. Les omissions sont particulièrement importantes pour GLC2000, dont la résolution n'est pas suffisante pour décrire les différentes formes issues de l'artificialisation, les éléments linéaires ou l'habitat isolé par exemple. Enfin, les couples qui possèdent les précisions maximales pour le producteur correspondent, selon les sites, à A<sup>2</sup>S/GL30 (description de la tache artificialisée par des enveloppes homogènes), OSO S2/GUF et OSO L8/GUF. Les valeurs minimales sont quant à elles obtenues pour les couples GLC/OSO L8 et GLC/A<sup>2</sup>S, différents tant dans leur résolution que dans le type de classification utilisé pour les produire.

En ce qui concerne les précisions pour l'utilisateur cette fois-ci, les tendances s'inversent dans la mesure où les produits qui possèdent une résolution fine, ou qui décrivent le paysage par des enveloppes homogènes, se caractérisent par des erreurs de commission notables. Le propos concerne avant tout les bases de données OSO S2, A<sup>2</sup>S et GlobeLand30. Parallèlement à ces produits, GUF et HRL Imperviousness sont à l'origine des précisions pour l'utilisateur les plus élevées, signifiant qu'ils parviennent à représenter la même tache artificialisée que les données utilisées comme références, sans trop récupérer de pixels dans ce qui est représenté comme du non-urbain pour les autres projets de cartographie de l'occupation du sol. Enfin, les couples qui possèdent les précisions maximales pour l'utilisateur correspondent, selon les sites, à GL30/A<sup>2</sup>S (description de la tache artificialisée par des enveloppes homogènes), GUF/OSO S2 et GUF/OSO L8. Les valeurs minimales sont quant à elles obtenues pour les couples OSO L8/GLC et A<sup>2</sup>S/GLC, et d'une manière générale pour toutes les évaluations réalisées avec GLC2000 comme référence. En effet, le produit cartographie de façon synthétique la tache artificialisée, et considère l'habitat périurbain voire rural comme faisant partie du non-urbain, d'où ces commissions importantes pour les bases de données restantes, dont la résolution est plus fine.

Enfin, nous pouvons à nouveau noter un comportement différencié selon l'aire urbaine considérée. En effet, les différents indicateurs soulignent une correspondance particulièrement faible entre les différents produits au niveau de l'aire urbaine fonctionnelle rennaise. A l'inverse, Strasbourg et Grenoble se démarquent du reste des sites avec les scores les plus élevés, conséquence probable de leur structure compacte.

### *iii. Analyse détaillée des matrices pour les quatre produits raster sélectionnés*

Compte-tenu de la progression rapide de l'imagerie haute résolution, les producteurs de données sont amenés à revoir les spécifications des produits qu'ils proposent, avec la possibilité d'aller vers une information toujours plus fine, à la fois spatialement et thématiquement. Nous avons donc choisi d'approfondir l'analyse des matrices de confusion pour les produits GUF, HRL Imperviousness, et ceux issus des projets OSO S2 et A<sup>2</sup>S. En effet, ils possèdent des résolutions comprises entre 10 et 20m, spécifications qui sont en passe de se généraliser du fait de la mise à disposition d'un flux continu d'images Sentinel-2 par exemple.

Au regard des précisions globales et mesures F, le produit A<sup>2</sup>S est celui qui correspond le moins aux autres puisqu'il enregistre les scores les plus faibles. Un argument qui pourrait expliquer de tels résultats tient aux modes de production de ces différentes cartographies de l'occupation du sol employés. En effet, contrairement au reste des produits constitués à un niveau pixel, celui développé dans le cadre du projet A<sup>2</sup>S s'articule autour d'une méthode de classification orientée objet qui décrit de grandes enveloppes homogènes autour des surfaces artificialisées. Cela se traduit par des précisions pour l'utilisateur en général inférieures à 0.6, soulignant l'importance des commissions réalisées sur le non-urbain. En effet, les enveloppes produites lors de la segmentation et de la classification regroupent, pour la tache artificialisée, une grande variété de pixels, appartenant à la fois aux habitations, réseaux de transport, mais aussi à la végétation urbaine et aux surfaces en eau par exemple. A l'inverse, les autres bases de données livrées en format raster sont constituées à un niveau pixel, et n'intègrent donc pas par exemple la végétation urbaine, du fait d'une signature spectrale typique des végétaux et non pas des surfaces minérales caractéristiques de l'urbain.

Les produits qui se ressemblent le plus correspondent à GUF et HRL, qui s'attachent à ne cartographier que la tache artificialisée, sans aller plus loin d'un point de vue thématique. Le couple possède ainsi une précision globale et un score F respectivement supérieurs ou égaux à 95% et 0.7 pour la majorité des sites. Par rapport au reste des produits, ils ressemblent le moins au prototype proposé dans le cadre du projet A<sup>2</sup>S, notamment du fait d'omissions importantes par rapport à ce dernier, de l'ordre de 50%. En termes d'omissions et de commissions, les erreurs mesurées pour les couples GUF/HRL et HRL/GUF sont généralement inférieures ou égales à 30% des pixels de la tache artificialisée décrite par le produit de référence.

Enfin, la cartographie proposée dans le cadre du CES OSO possède le plus de similitudes avec GUF et HRL Imperviousness, au regard de la précision globale et de la mesure F. Concernant les omissions, celles-ci sont les plus importantes lorsque le produit A<sup>2</sup>S est utilisé pour la vérification. Cela s'explique, en outre, par les méthodes de classification employées, l'une orientée pixel pour OSO S2, et l'autre orientée objet pour A<sup>2</sup>S, avec des enveloppes qui englobent l'essentiel des pixels de la tache artificialisée décrite par OSO S2. En termes de commissions cependant, la précision pour l'utilisateur atteint ses valeurs maximales lorsque le prototype A<sup>2</sup>S est utilisé comme référence, pour les mêmes raisons.

La dimension statistique nous a ainsi permis de mettre en évidence les disparités qui existent entre les produits d'occupation du sol et les zones d'étude, avec une représentation plus difficile de la tache artificialisée au niveau de Rennes notamment. Les matrices de confusion ont également souligné des différences entre les formats de livraison vecteur et image, avec une meilleure correspondance entre les bases de données vectorielles. D'un point de vue géographique cependant, ces indicateurs ne permettent pas d'apprécier la manière dont les produits représentent la tache artificialisée, ni les disparités entre ceux-ci : cela justifie de cartographier leur niveau d'accord.

### **c. Cartographie de l'agrément**

En complément des matrices de confusion, nous avons également cartographié l'agrément, qui permet d'apprécier spatialement le degré de ressemblance entre les différents produits. L'ensemble des 6 cartographies de l'agrément est disponible en annexe pour Bordeaux (Annexes 34 & 35),

Grenoble (Annexes 36 & 37), Metz (Annexes 38 & 39), Rennes (Annexes 40 & 41), Strasbourg (Annexes 42 & 43), puis Toulouse (Annexes 44 & 45).

Pour les mêmes raisons que celles évoquées dans la partie IV.2.b, l'analyse a de nouveau été décomposée en plusieurs sous-parties, avec une distinction entre les produits vecteur, raster, et un sous-ensemble de ces derniers. Une description de l'agrément pour l'ensemble des bases de données a également été proposée, permettant de discuter de certains points communs à l'ensemble des produits et non pas spécifiques à l'un ou l'autre des formats de livraison.

Pour pouvoir apprécier la bonne correspondance entre les différentes taches artificialisées issues du processus d'harmonisation, nous avons cartographié l'agrément en sommant ces taches pour l'ensemble des produits, les vecteurs seulement, les rasters seulement, et un sous-ensemble des rasters (GUF, HRL Imperviousness, OSO S2 et A<sup>2</sup>S). Les sorties de ces sommes consistent en des images dont les pixels possèdent des valeurs comprises entre 0 (non-artificialisé) et n (degré d'accord pour la tache artificialisée), avec n le nombre produits de sommés. Pour permettre une meilleure lisibilité, ces niveaux d'agrément ont été résumés sur les cartographies par quatre catégories d'accord spatial : faible, moyen, fort, complet (tache urbaine minimale).

La tache urbaine minimale (Tableau 10) correspond à l'ensemble des pixels pour lesquels l'agrément atteint sa valeur maximale, soit la portion du territoire que les différents produits cartographient comme étant artificialisée.

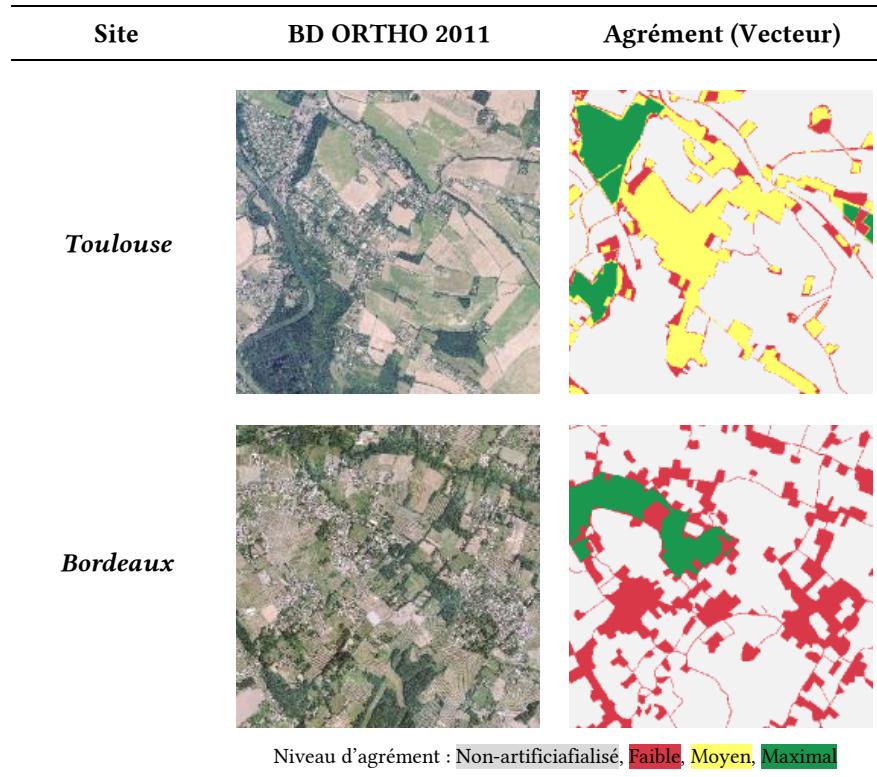
| Tache urbaine minimale (km <sup>2</sup> ) | Total | Vecteur | Raster | Rr  |
|---|-------|---------|--------|-----|
| Bordeaux                                  | 96    | 409     | 98     | 221 |
| Grenoble                                  | 32    | 149     | 32     | 82  |
| Metz                                      | 27    | 166     | 27     | 88  |
| Rennes                                    | 19    | 192     | 19     | 100 |
| Strasbourg                                | 46    | 192     | 47     | 131 |
| Toulouse                                  | 65    | 392     | 66     | 206 |

**Tableau 10 :** Surface des taches urbaines minimales pour différentes catégories de produits. *Total (9 à 10 produits), Vecteur (2 à 3 produits), Raster (7 produits), Rr (sous-ensemble de 4 produits raster).*

#### *i. Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits vecteur*

Compte-tenu des surfaces renseignées dans le Tableau 10, nous pouvons déduire que la tache artificialisée n'est pas cartographiée de la même manière selon la base de données exploitée. En effet, nous avons pu constater que les produits vectoriels tendent à générer la plus grande tache artificialisée minimale. Spatialement, leur bonne correspondance est donc supérieure à celle obtenue lorsque l'agrément est mesuré pour l'ensemble des produits, les rasters seulement, ou un sous-ensemble de ces rasters. D'un point de vue cartographique, les zones qui n'appartiennent pas à la tache artificialisée minimale correspondent aux isolats identifiés dans le cadre de la partie IV.1.b. Les valeurs d'agrément maximal sont quant à elles obtenues pour les zones d'habitat d'une densité moyenne à forte, correctement représentées par Urban Atlas et CORINE Land Cover. Pour Toulouse, nous avons pu observer que les espaces périphériques se caractérisent surtout par un niveau d'accord moyen entre les bases de données. Compte-tenu des résultats obtenus à partir des matrices

de confusion et de la cartographie des isolats, nous pouvons en conclure qu'un agrément moyen est ici le résultat d'une bonne correspondance entre Urban Atlas et OCS GE. Celui-ci caractérise principalement les hameaux, zones d'habitat diffus et réseaux de transport (Figure 8). La tache artificialisée minimale est donc avant tout contrainte par CORINE Land Cover, dont l'UMC n'est pas suffisante pour la cartographie des installations isolées ou de dimensions modestes.



**Figure 8 :** Description des valeurs d'agrément pour les produits vectoriels dans les périphéries toulousaine et bordelaise

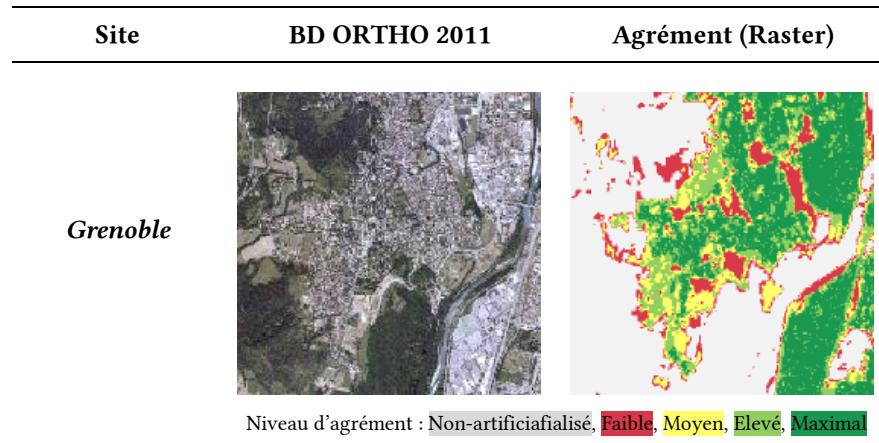
#### *ii. Analyse de l'agrément pour le sous-ensemble de produits raster*

L'agrément mesuré pour le sous-ensemble de produits raster – GUF, HRL Imperviousness, OSO S2 et A<sup>2</sup>S – génère des taches artificialisées minimales de surfaces environ deux fois inférieures à celles obtenues à partir des bases de données vectorielles (Tableau 10).

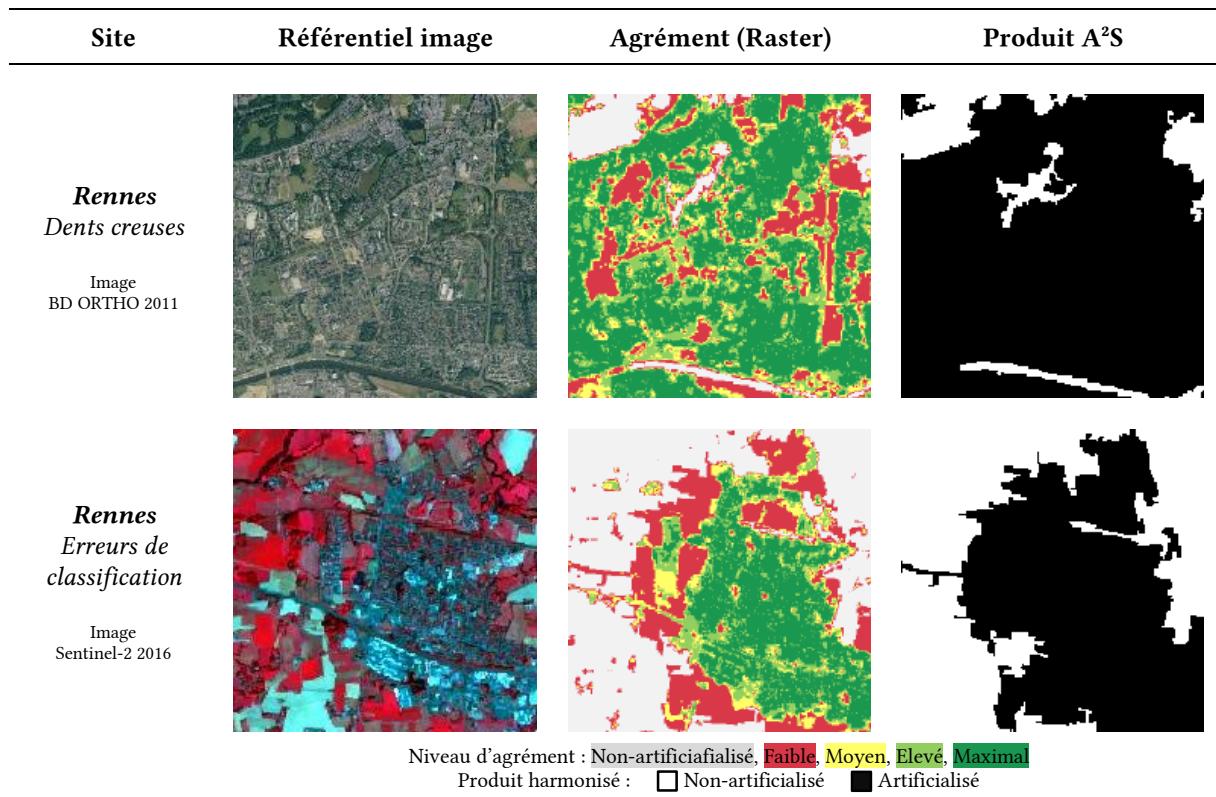
Ils ont donc plus de difficulté à cartographier le phénomène d'artificialisation de façon uniforme, malgré des résolutions proches, comprises entre 10 et 20m. En effet, les produits livrés en format raster ne décrivent pas d'enveloppes homogènes pour représenter la tache artificialisée : celle-ci se compose de pixels qui ne sont pas forcément contigus, avec un certain manque d'uniformité entre les 4 bases de données qui constituent ce sous-ensemble. Les pixels caractérisés par un degré d'accord faible se situent au-delà des centres denses. Nous les retrouvons principalement au niveau de l'interface urbain – rural, qui combine donc différents types d'occupation du sol, mais aussi dans les parties plus rurales de la zone de navettement (Figure 9).

A noter que nous pouvons également observer un agrément faible au niveau des dents creuses de la tache artificialisée. Ce phénomène s'explique avant tout par le produit A<sup>2</sup>S qui décrit l'urbain à l'aide de grandes enveloppes, issues de l'algorithme de segmentation Mean-Shift. Ces enveloppes s'étendent cependant parfois au-delà de l'emprise occupée par la tache artificialisée, du fait d'erreurs

de classification ou de segmentation, donnant lieu à une surestimation de l'urbain, notamment sur les franges des zones habitées (Figure 10).



**Figure 9 :** Description des valeurs d'agrément pour un sous-ensemble de produits raster sur le continuum urbain – rural de l'aire urbaine grenobloise

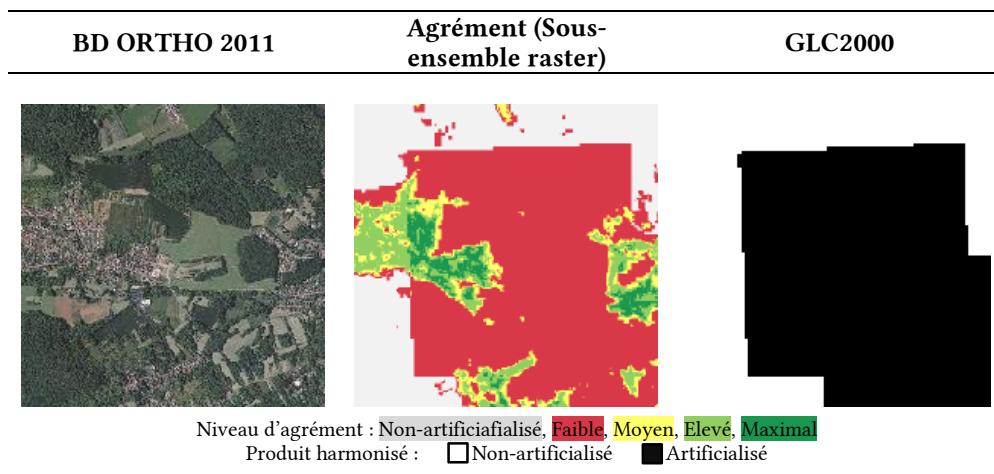


**Figure 10 :** Influence du prototype A<sup>2</sup>S sur les valeurs d'agrément mesurées pour un sous-ensemble de produits raster

### iii. Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits raster

Les taches artificialisées minimales obtenues à partir de l'ensemble des produits raster possèdent des surfaces deux à trois fois inférieures à celles calculées grâce au sous-ensemble analysé précédemment. Une ou plusieurs des trois bases de données restantes – OSO L8, GLC2000 ou

GlobeLand30 – diminue donc l'accord spatial pour la cartographie de la tache artificialisée. D'un point de vue statistique, nous avons pu constater grâce aux matrices de confusion que GLC2000 omet une fraction non négligeable des formes issues du processus d'urbanisation. Ce produit semble donc être le candidat le plus évident pour justifier une telle chute des valeurs de surface pour la tache artificialisée minimale (Figure 11). D'un point de vue cartographique, la zone d'agrément total correspond ainsi au centre dense, en général historique, éventuellement complété par des centralités secondaires. La portion de la tache artificialisée caractérisée par un accord fort rejoint globalement la tache artificialisée minimale identifiée précédemment sur le sous-ensemble de produits raster.



**Figure 11 :** Influence du produit GLC2000 sur les valeurs d'agrément mesurées pour les bases de données raster

#### iv. Analyse de l'agrément pour l'ensemble des produits

Enfin, les taches artificialisées minimales obtenues à partir de l'ensemble des produits possèdent les surfaces les plus petites. Celles-ci sont cependant très proches des valeurs calculées à partir des sept bases de données raster, montrant donc que le manque d'accord spatial provient avant tout de celles-ci. La cartographie de l'agrément complet montre également que selon le mode de production des différentes bases de données, le territoire n'est pas dépeint de la même manière. Ainsi, les produits constitués par interprétation d'image ont tendance à décrire des patchs dont l'occupation et/ou l'usage du sol est homogène. C'est notamment le cas pour les grandes emprises, par exemple aéroportuaires, qui sont représentées par une entité qui combine d'un seul tenant l'aérogare, les piste d'atterrissage et les terrains associés. En revanche, un produit issu des méthodes informatiques de classification a plutôt tendance à ne considérer comme tache artificialisée que l'aérogare et les pistes d'atterrissage, du fait de signatures spectrales particulières. Dans le même esprit, les bases de données produites par interprétation d'image autorisent les thématiciens à aller plus loin dans la distinction de différentes classes d'occupation et d'usage du sol. Ainsi, pour des surfaces qui sont les mêmes spectralement, il est possible de les différencier selon leur situation et la place qu'elles occupent d'un point de vue socioéconomique au sein d'un système territorial. C'est notamment l'exemple des espaces verts urbains, qui sont correctement cartographiés par les thématiciens, mais qui ne sont pas ou peu détectés comme faisant partie de la tache artificialisée lorsque les méthodes informatiques de classification sont employées. Ces portions du territoire se caractérisent donc par des valeurs d'agrément faibles ou moyennes.

Comme nous avons pu l'observer au travers des spécifications des différents produits, leur précision géographique n'est pas égale à 100% : il est donc possible de retrouver des erreurs de classification, comme souligné précédemment avec le prototype A<sup>2</sup>S sur la Figure 10. Les origines sont multiples : interprétation inexacte des formes observées sur un référentiel image, confusion entre différentes classes d'occupation du sol, modèle de classification pas suffisamment robuste... Cela se traduit ainsi par des valeurs d'agrément faibles (Figure 12).

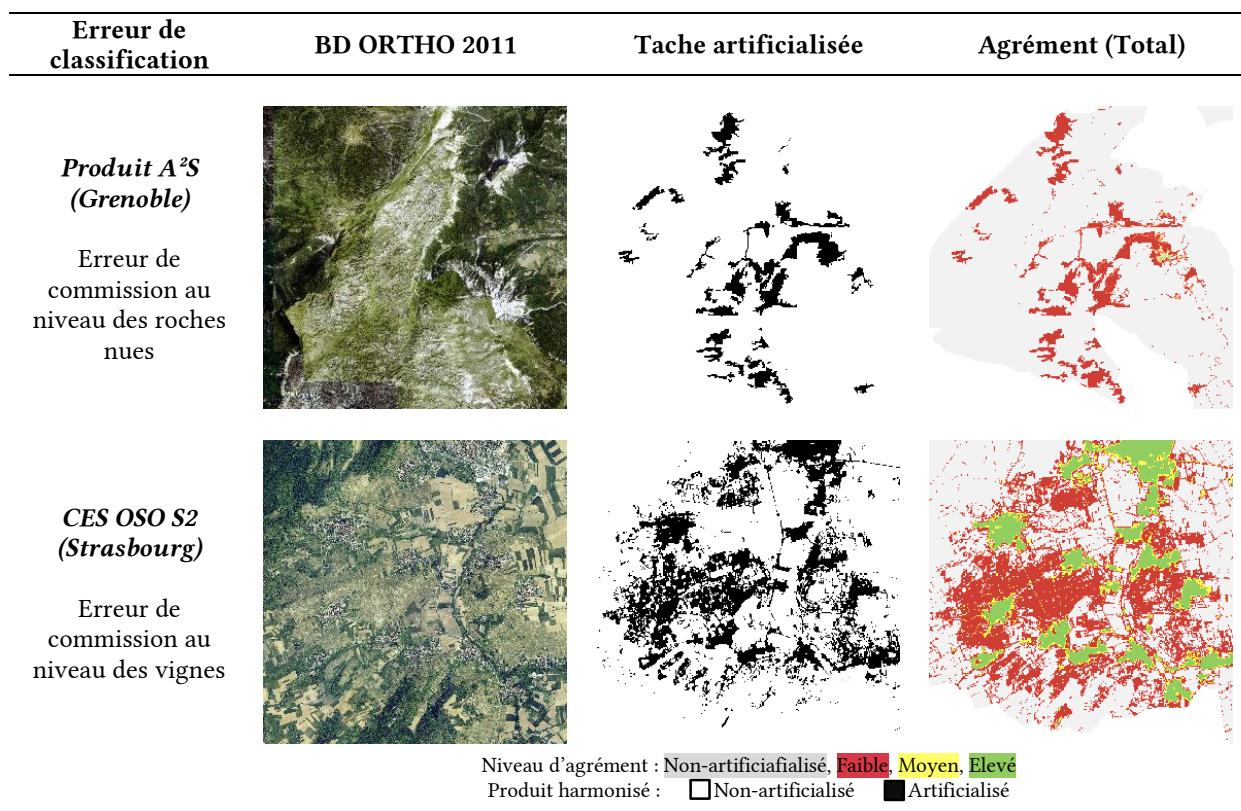


Figure 12 : Erreurs de classification observées à Grenoble et Strasbourg, sur les produits A<sup>2</sup>S et CES OSO S2

Enfin, ces cartographies du niveau d'accord entre les produits permettent à nouveau de souligner les disparités qui existent entre les différents sites étudiés. En effet, nous pouvons constater pour Rennes et Strasbourg des taches artificialisées minimales dont les surfaces sont les mêmes lorsqu'étudiées au travers des bases de données vectorielles, soit 192km<sup>2</sup>. Un écart important se creuse lorsque l'analyse s'étend au reste des produits avec, pour l'agrément complet, une surface minimale de 46km<sup>2</sup> sur Strasbourg, contre 19km<sup>2</sup> au niveau de l'aire urbaine rennaise (Tableau 10). Le propos vaut également pour les bases de données raster, traduisant donc l'influence de la morphologie urbaine sur la cartographie de la tache artificialisée et la bonne correspondance des différents produits. Ces observations viennent ainsi compléter les résultats obtenus à l'aide des matrices de confusion. En effet, ils montrent à nouveau une moins bonne concordance entre les différents produits lorsque le paysage s'organise autour d'un habitat diffus. Comme nous avons pu le voir, le propos concerne également les milieux périurbains et ruraux, où la cartographie des taches artificialisées manque d'uniformité. Cela peut s'expliquer par la combinaison de différents types d'occupation du sol, par la taille des installations humaines dans ces milieux, par leur distribution au sein du territoire...

## V. DISCUSSION

Compte-tenu des objectifs énoncés au départ, nous pouvons considérer que les résultats obtenus sont satisfaisants. L'ensemble des hypothèses posées a donc pu être vérifié, hormis cette mesure de la qualité intrinsèque des produits, pour laquelle nous aurions dû constituer un échantillon d'évaluation et qui n'a donc pas été réalisée. Il a été possible d'harmoniser les nomenclatures de ces produits pour aboutir à plusieurs taches urbaines, comparables entre elles. L'analyse de différentes métriques et cartographies a ainsi montré l'existence d'une forte hétérogénéité dans la manière dont est représenté le phénomène de l'artificialisation. Cela justifie la pertinence de cette étude dont l'objectif est, rappelons-le, de proposer une évaluation de ces produits, ainsi qu'un compte-rendu des usages qu'il est possible d'en faire.

A ce titre la méthodologie employée a permis de mettre en évidence une diversité de comportements pour la cartographie du centre dense et des zones de navettement de chacune des aires urbaines fonctionnelles étudiées. Elle s'explique tout d'abord par les résolutions, unités minimales de cartographie et échelles des différents produits, qui conditionnent la taille des plus petites unités qui sont représentées ou saisies dans la base de données. Compte-tenu des résultats proposés dans la partie IV, nous pouvons tout d'abord opposer GLC2000 au reste des produits. En effet, il permet de cartographier de façon synthétique les zones d'habitat dense, avec une résolution de 1km, sans donc s'intéresser aux installations de tailles moyennes et modestes. Les produits restants offrent des niveaux de détail très disparates, avec :

- (1) CORINE Land Cover et GlobeLand30 qui agrègent l'information sur la tache urbaine au sein de grandes enveloppes homogènes, adaptées à des analyses à petite échelle. En effet, les cartes harmonisées montrent une ressemblance entre les deux produits, ensuite confirmée par les métriques spatiales calculées à l'aide de FRAGSTATS. Quant aux échelles d'analyse, celles-ci sont confirmées pour CLC par les profils granulométriques, qui ont montré des polygones de grande taille, avec des superficies comprises entre 25 et plus de 10.000ha. Les métriques spatiales vont également dans le sens de ces observations pour les deux produits cette fois-ci, avec des patchs dont les aires moyennes sont d'environ 100ha ;
- (2) CES OSO L8, CES OSO S2, Global Urban Footprint et HRL Imperviousness, différents produits issus de l'imagerie satellitaire à haute résolution, qui permettent d'étudier l'artificialisation à des échelles moyennes. En effet, les résultats ont montré qu'ils font partie des bases de données d'occupation du sol qui proposent des patchs de petite taille, avec une aire moyenne inférieure à 5ha ;
- (3) Le produit A<sup>2</sup>S, qui possède un comportement à mi-chemin entre celui des différentes bases de données décrites aux points (1) et (2). En effet, les aires moyennes de ses patchs sont comprises entre 10 et 100ha selon les sites, avec une résolution de 10m et une UMC de 2ha, ce qui autorise donc des études à des échelles grandes ou moyennes. Contrairement aux produits énoncés au point (2), la tache urbaine est décrite par des enveloppes homogènes ;
- (4) Les produits Urban Atlas et OCS GE, qui permettent de cartographier l'artificialisation à grande échelle. Ils ne s'attachent cependant pas à représenter les mêmes choses, comme en témoignent les profils granulométriques et les isolats. En effet, Urban Atlas représente l'occupation et l'usage du sol par des emprises homogènes proches de l'îlot, tandis qu'OCS GE va plus loin en décrivant les installations elles-mêmes et non pas seulement leur enveloppe englobante. Les résultats ont montré une certaine complémentarité entre les deux produits pour des analyses multi-scalaires, avec en plus des taux de bonne correspondance élevés selon les matrices de confusion.

Cette hétérogénéité est aussi le fait de la richesse sémantique des différents produits, justifiant d'ailleurs l'étape d'harmonisation de leurs nomenclatures. Ainsi, nous avons des bases de données qui proposent de cartographier la tache urbaine au travers d'une seule classe ou de degrés d'imperméabilisation : Global Urban Footprint, HRL Imperviousness et le produit A<sup>2</sup>S. Issues de méthodes informatiques de classification, ces couches sont complétées par d'autres produits raster – CES OSO L8, CES OSO S2, Globeland30 et GLC2000 – qui permettent de représenter l'objet urbain au travers de plusieurs postes différents cette fois-ci. Viennent finalement CORINE Land Cover, OCS GE et Urban Atlas, dont les nomenclatures sont suffisamment riches pour autoriser une analyse plus minutieuse du contenu de la tache urbaine. En effet, une production par interprétation d'image présente l'avantage d'offrir une description détaillée de la couverture et des usages faits de chaque terrain. Ainsi, les produits vectoriels permettent plus de flexibilité dans la manière dont est décrit le territoire, aspect qui sera par exemple intéressant pour les questions d'aménagement et d'urbanisme où la seule délimitation de la tache artificialisée n'est pas suffisante.

A ces points-là vient s'ajouter la disponibilité spatiotemporelle des produits. En effet, l'ensemble des bases de données étudiées est disponible pour la France entière, sauf Urban Atlas qui n'est publié que pour les AUF. OCS GE le rejoint aussi dans une certaine mesure, puisque sa production dépend des partenariats engagés avec des acteurs territoriaux. La question des dates de publication importe également, puisqu'elle peut contraindre l'utilisation de l'un ou l'autre de ces produits. En effet, les couches non-millésimées seront par exemple difficilement exploitables pour une analyse diachronique du processus d'artificialisation. La compilation puis l'harmonisation de différentes bases de données restent envisageables, malgré la forte hétérogénéité des résultats en sortie soulignée par cette étude. En outre, les produits publiés par le CES OSO ou dans le cadre du projet A<sup>2</sup>S prévoient une publication annuelle voire biannuelle d'une cartographie de l'occupation du sol, pas de temps adapté à l'étude des dynamiques urbaines dans les régions soumises à une forte pression foncière. OCS GE prévoit également des mises-à-jour fréquentes.

Compte-tenu des spécifications et résultats obtenus pour chaque produit, une synthèse de leurs usages est disponible dans les Tableaux 11 (format vecteur) et 12 (format raster). A noter cependant que l'objectif n'est pas de déterminer si l'un est meilleur que les autres, seulement de proposer aux utilisateurs les usages les plus adaptés au regard de la question de l'artificialisation.

|                          | Avantages   | Inconvénients  |
|--------------------------|---|--|
| <b>CORINE Land Cover</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nomenclature hiérarchique à 3 niveaux pour une analyse multiscalaire de l'artificialisation.</li> <li>Description de la tache artificialisée en 11 classes d'occupation et d'usage du sol pour le 3<sup>e</sup> niveau.</li> <li>Nomenclature, échelle et UMC adaptées pour des analyses à petite échelle.</li> <li>Mise à disposition d'une couche décrivant les changements d'un millésime à l'autre.</li> <li>Complémentarité avec les autres bases de données vectorielles.</li> <li>Compatible avec les autres produits Copernicus.</li> <li>Facilité d'accès à la donnée.</li> <li>Quatre millésimes sont actuellement disponibles.</li> <li>Adapté aux analyses diachroniques.</li> <li>Disponible pour la France entière.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>UMC et échelles insuffisantes pour un usage à échelle locale.</li> <li>Description grossière des taches d'habitat, avec omission des installations isolées et/ou de dimensions modestes.</li> <li>Incohérence avec les autres bases de données vectorielles pour certains thèmes et polygones.</li> <li>Fréquence de mise-à-jour peu adaptée aux territoires soumis à une forte pression foncière.</li> </ul> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  | <p>Description de la tache artificialisée en 4 classes de couverture et 8 classes d'usage du sol.</p> <p>Différenciation évidente de la couverture et de l'usage du sol.</p> <p>Adapté pour la cartographie des zones d'habitat diffus, espaces verts urbains et réseaux de transport.</p> <p>Nomenclature, échelle et UMC adaptées pour des analyses à grande échelle.</p> <p>Description des habitations et autres installations humaines représentées dans le RGE.</p> <p>Complémentarité avec les autres bases de données vectorielles.</p> <p>Compatible avec les autres produits de l'IGN.</p> <p>Facilité d'accès à la donnée.</p> <p>Mises-à-jour fréquentes.</p> <p>Adapté aux analyses diachroniques.</p> <p>Disponible pour la France entière.</p> | <p>Spécifications peu appropriées pour des travaux à des échelles grande ou moyenne.</p> <p>Nomenclature peu détaillée sur la morphologie de l'habitat, en matière de densité.</p> <p>Constitution et publication soumise aux partenariats avec les acteurs territoriaux.</p>  |
|  |  | <p>Description de la tache artificialisée en 17 classes d'occupation et d'usage du sol.</p> <p>Différenciation des taches d'habitat selon leur densité et degré d'imperméabilisation.</p> <p>Adapté pour la cartographie des zones d'habitat diffus, espaces verts urbains et réseaux de transport.</p> <p>Nomenclature, échelle et UMC adaptées pour des analyses à grande échelle.</p> <p>Compatible avec les autres produits Copernicus.</p> <p>Mise à disposition d'une couche décrivant les changements d'un millésime à l'autre.</p> <p>Facilité d'accès à la donnée.</p> <p>Deux millésimes sont actuellement disponibles.</p> <p>Adapté aux analyses diachroniques.</p> <p>Disponible pour les aires urbaines fonctionnelles françaises.</p>          | <p>Spécifications peu appropriées pour des travaux à des échelles grande ou moyenne.</p> <p>Nomenclature peu détaillée sur les espaces ruraux et naturels pour le premier millésime.</p> <p>Fréquence de mise-à-jour inad适应ée pour les territoires soumis à une forte pression foncière.</p> <p>Indisponible pour l'ensemble de la France.</p> |

**Tableau 11 : Résumé des caractéristiques des produits vecteur et propositions d'usages adéquats**

|                  | <b>Avantages</b>  | <b>Inconvénients</b>   |
|------------------|---|--|
| CES OSO L8 et S2 | <p>Description de la tache artificialisée en 4 postes d'occupation du sol.</p> <p>Adapté pour distinguer l'urbain selon sa densité, et pour l'étude des grands axes de transport.</p> <p>Nomenclature et résolution adaptées pour des analyses à moyenne échelle.</p> <p>Chaîne de production libre et simple à mettre en place.</p> <p>Facilité d'accès à la donnée.</p> <p>Mise-à-jour annuelle voire biannuelle.</p> <p>Adapté aux analyses diachroniques.</p> <p>Disponible pour la France entière.</p> | <p>Hétérogénéité des résultats selon la région étudiée.</p> <p>Nomenclature peu détaillée pour les analyses intra-urbaines (espaces verts urbains, habitat discontinu individuel ou collectif, installations sportives et de loisirs...).</p> <p>Résolution trop petite pour un usage local.</p> |
| GLC2000          | <p>Description de la tache artificialisée en 1 classe, ce qui évite à l'opérateur de sélectionner quels postes appartiennent effectivement à l'urbain.</p>  | <p>Résolution insuffisante pour des analyses à échelles régionale et locale.</p> <p>Description grossière de l'habitat, avec détection des formes denses seulement.</p>  |

|                            |  |  |
|----------------------------|--|--|
|                            | Nomenclature et résolution adaptées pour des analyses à très petite échelle.<br>Disponible pour la France entière.   | Inadapté pour étudier les dynamiques dans les milieux périurbains et ruraux.<br>Nomenclature insuffisante pour les analyses intra-urbaines.<br>Disponible pour une année seulement.<br>Inadapté aux analyses diachroniques.  |
| GlobeLand30                | Description de la tache artificialisée en 1 classe, ce qui évite à l'opérateur de sélectionner quels postes appartiennent effectivement à l'urbain.<br>Nomenclature et résolution adaptées pour des analyses à moyenne échelle.<br>Complémentarité avec CORINE Land Cover sur le plan géométrique.<br>Disponible pour deux années de référence.<br>Disponible pour la France entière.                          | Résolution insuffisante pour des analyses à échelle locale.<br>Nomenclature insuffisante pour les analyses intra-urbaines (espaces verts urbains, installations sportives et de loisirs...).<br>Ne distingue pas les formes d'habitat selon leur densité.<br>Peu adapté aux analyses diachroniques.<br>Fréquence de mise-à-jour inadaptée pour les territoires soumis à une forte pression foncière. |
| GUF                        | Description de la tache artificialisée en 1 classe, ce qui évite à l'opérateur de sélectionner quels postes appartiennent effectivement à l'urbain.<br>Résolution adaptée pour des analyses à moyenne échelle.<br>Disponible pour la France entière.   | Résolution insuffisante pour des analyses à échelle locale.<br>Nomenclature insuffisante pour les analyses intra-urbaines.<br>Ne distingue pas les formes d'habitat selon leur densité.<br>Disponible pour une année seulement.<br>Inadapté aux analyses diachroniques.  |
| Kermap                     | —  | —  |
| HRL<br>Imperviousness      | Description du degré d'artificialisation au niveau de la tache urbaine.<br>Possibilité d'en déduire une information sur la densité de l'habitat.<br>Nomenclature et résolution adaptées pour des analyses à moyenne échelle.<br>Compatible avec les autres produits Copernicus.<br>Trois millésimes sont actuellement disponibles.<br>Adapté aux analyses diachroniques.<br>Disponible pour la France entière. | Résolution insuffisante pour des analyses à échelle locale.<br>Nomenclature insuffisante pour les analyses intra-urbaines (espaces verts urbains, réseau viaire, installations sportives et de loisirs...).<br>Fréquence de mise-à-jour inadaptée pour les territoires soumis à une forte pression foncière.   |
| Prototype A <sup>2</sup> S | Description de la tache artificialisée en 1 classe, ce qui évite à l'opérateur de sélectionner quels postes appartiennent effectivement à l'urbain.<br>Description de l'habitat par des taches d'occupation homogènes.<br>Résolution et UMC adaptées pour des analyses à moyenne échelle.<br>Mise-à-jour annuelle voir biannuelle.<br>Adapté aux analyses diachroniques.                                       | Résolution trop petite pour un usage local.<br>Nomenclature insuffisante pour les analyses intra-urbaines (espaces verts urbains, habitat discontinu individuel ou collectif, installations sportives et de loisirs...).<br>Hétérogénéité de la qualité intrinsèque du produit selon les aires urbaines fonctionnelles.<br>Omission de certaines portions des zones d'habitat isolé.                 |

Tableau 12 : Résumé des caractéristiques des produits raster et propositions d'usages adéquats

Outre l'hétérogénéité qui existe entre les qualités intrinsèques de ces produits, nous avons également pu noter des comportements différents selon l'aire urbaine fonctionnelle étudiée. Pour l'utilisateur, le choix d'un produit devra donc se faire en fonction de ses spécifications, des objets recherchés dans

la nomenclature, mais aussi de la morphologie du site étudié. En effet, l'AUF de Rennes a montré d'importantes disparités dans la manière dont est cartographiée la tache artificialisée, s'expliquant par un habitat particulièrement diffus. A ce titre, les bases de données vectorielles sont celles qui ont apporté l'information la plus adaptée à la cartographie d'espaces de ce type.

L'hétérogénéité entre différentes bases de données d'occupation du sol pour la cartographie de la tache urbaine a également été mise en évidence par une étude du CERTU (2005a, 2005b), menée en 2005 sur 6 produits disponibles en France : BD Carto, BD TOPO, Spot Théma, Gus Land Use, Géolandis et Land Use Map. La méthodologie employée consistait à étudier le nombre d'objets constituant la tache urbaine, ainsi que leur surface, de sorte à mettre en évidence les différences entre ces bases de données, pour les agglomérations lyonnaise et toulousaine. Les résultats ont ainsi montré peu de variations entre les produits pour les centres denses, mais d'importantes disparités en périphérie et au niveau des franges des villes, qui constituent aujourd'hui le front d'urbanisation. Cela montre la pertinence de nos conclusions, mais souligne également le fait que la tache artificialisée apparaît encore maintenant comme un objet mal connu, difficile à suivre du fait de ses caractéristiques, puis d'un manque de consensus sur sa définition et sa représentation spatiale.

Nous souhaitons finalement souligner le fait que les résultats de ce travail de recherche doivent être interprétés avec prudence, dans la mesure où des biais ont pu être incorporés à l'étude. L'étape d'harmonisation correspond ainsi au moment charnière, du fait des nombreux traitements qui ont été nécessaires pour permettre l'inter-comparaison des produits. En effet, nous avons d'une part les tables de conversions employées, construites à partir de la définition énoncée dans la partie I.1, qui ont pu générer des erreurs, dans la mesure où nous avons par exemple retenu les espaces verts urbains comme faisant partie de la tache artificialisée. Présents dans les bases de données vectorielles, ces espaces sont cependant absents des produits raster du fait d'une signature spectrale qui rend leur détection difficile, souvent confondus avec la végétation non-urbaine. Nous pouvons donc supposer que les indicateurs dérivés à partir de CORINE Land Cover, OCS GE et Urban Atlas, pourraient être sujets à certaines évolutions si nous étions amenés à retirer ces espaces verts urbains de la tache artificialisée. D'autres part, dans le cas des bases de données vectorielles, leur rastérisation avec une résolution spatiale de 5m a modifié l'information initialement apportée sur la géométrie de l'urbain (Figure 13). Bien qu'ayant sélectionné la taille du pixel à partir des spécifications de l'ensemble des bases de données, les différents indicateurs calculés à partir des produits harmonisés sont donc susceptibles de présenter des erreurs dont il faut tenir compte pour interpréter les résultats et conclusions obtenus dans le cadre de cette étude.

| Produit                               | Format vectoriel | Format image (5m) | Superposition |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|---------------|
| Urban Atlas<br><i>AUF de Bordeaux</i> |                  |                   |               |

**Figure 13 :** Conséquences de la rastérisation sur la géométrie de la tache artificialisée

## CONCLUSION

Au regard de la question du suivi des taches artificialisées en France Métropolitaine, nous avons pu constater qu'il existe aujourd'hui une offre importante et diversifiée en matière de produits géographiques. Nous avons donc extrait onze bases de données d'occupation et d'usage du sol, pour mener une analyse ciblée sur un total de 6 aires urbaines fonctionnelles. Cependant, du fait de spécifications particulières, ces produits ne sont pas interchangeables, si bien que chacune de ces bases de données possède ses propres applications. Le présent document ne vise donc pas à établir une hiérarchie dans la qualité de ces bases de données, mais seulement à proposer aux utilisateurs des solutions adaptées à leurs besoins.

Les résultats ont montré une importante hétérogénéité à la fois dans les caractéristiques des produits, et dans la manière dont ils décrivent le processus d'artificialisation. En effet, la mesure et la cartographie de l'agrément ont montré que les taches artificialisées sont loin de concorder parfaitement pour un même site. Cette hétérogénéité s'explique d'une part par les chaînes de traitement qui ont permis d'aboutir à ces produits, qui sont évidemment différentes et ne visent pas forcément à cartographier les mêmes objets avec la même précision. D'autre part, il est important de souligner le rôle qu'ont pu jouer les spécifications des produits, le niveau de précision des différentes nomenclatures, mais aussi les erreurs générées lors du processus d'harmonisation, avec la rasterisation des produits, leur rééchantillonnage, ou encore leur reclassification. Cette hétérogénéité s'exprime ainsi principalement au niveau des espaces de faible densité, périurbains et ruraux, zones pour lesquelles l'utilisateur devra redoubler de précaution lors du choix d'un produit. Malgré ces disparités importantes, nous avons pu constater une bonne correspondance des taches urbaines au niveau des centres denses et pôles périphériques.

Compte-tenu de ces observations, il pourrait être intéressant de répéter l'étude, en s'attachant cette fois-ci à différencier les centres denses des espaces périphériques où l'habitat est en général plus diffus. Cela permettrait d'apprécier plus en détails l'apport des différents produits pour la cartographie de la consommation des espaces situés en frange des villes, et qui font l'objet d'une périurbanisation importante.

Du fait des résultats obtenus dans le cadre de cette analyse, nous pouvons finalement souligner l'importance de la réflexion à mener quant à la sélection d'une base de données d'occupation ou d'usage du sol pour traiter d'une problématique en lien avec l'artificialisation. En effet, l'objet urbain prend des formes bien différentes selon la définition que l'on en a, mais aussi selon les échelles spatiotemporelles qui encadrent son observation. Cela renvoie alors au choix délicat d'un produit en fonction d'objectifs à définir en amont : S'intéresse-t-on à l'ensemble de la tache artificialisée ou seulement à certaines portions de cette dernière ? Faut-il étudier les modèles minéraux, organiques, ou les deux ? A quelle échelle faut-il mener l'étude ? Souhaite-t-on mener une analyse ponctuelle ou diachronique ? Doit-on cibler des années spécifiques, et si oui, lesquelles ? Autant de questions auxquelles il faudra nécessairement répondre pour pouvoir utiliser, et ce dans les meilleures conditions, un produit décrivant la tache artificialisée.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bessy-Pietri P. (2000)**, Les formes récentes de la croissance urbaine, Économie et statistique, vol. 336, n°1, pp. 35–52.
- Büttner G. (2012)**, Guidelines for verification of high-resolution layers produced under GMES initial operations (GIO) Land monitoring 2011 – 2013, 47p.
- Cambou B., Jean M. & Radjaï F. (2012)**, Matériaux granulaires : modélisation et simulation numérique, Hermès Science : Lavoisier, 408 p.
- CERTU (2005a)**, Les bases de données géographiques d'occupation du sol: Volet Tache Urbaine - Descriptif et comparatif de 6 bases de données, 37p.
- CERTU (2005b)**, Les bases de données géographiques d'occupation du sol: Volet Tache Urbaine - Mesures des données relatives aux 6 bases de données, 18p.
- CERTU (2008)**, Géoréférencement et RGF93: Théorie et concepts | Fiche T2, 6p.
- CERTU (2011)**, La consommation d'espaces par l'urbanisation : Panorama des méthodes d'évaluation, Lyon, Certu, 100 p.
- CES OSO (2017)**, Carte d'occupation des sols 2016. Ressource internet. URL [[http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/~oso/ui-ol/S2\\_2016/layer.html](http://osr-cesbio.ups-tlse.fr/~oso/ui-ol/S2_2016/layer.html)]
- Chen J., Chen J., Liao A., Cao X., Chen L., Chen X., He C., Han G., Peng S., Lu M., Zhang W., Tong X. & Mills J. (2015)**, Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 103, pp. 7-27.
- Esch T., Heldens W., Hirner A., Keil M., Marconcini M., Roth A. & Zeidler J. (2015)**, A Key Step in Characterizing the Global Human Settlements Pattern from Space, 32p.
- Esch T., Marconcini M., Felbier A., Roth A., Heldens W., Huber M., Schwinger M., Taubenbock H., Muller A. & Dech S. (2013)**, Urban Footprint Processor - Fully Automated Processing Chain Generating Settlement Masks From Global Data of the TanDEM-X Mission, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 10, n°6, pp. 1617-1621.
- Esch T. (2017)**, Global Urban Footprint: Methodology. Ressource internet. URL [[http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabcid-9631/16580\\_read-40465/](http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabcid-9631/16580_read-40465/)]
- European Commission (2016)**, Mapping Guide v4.7 for a European Urban Atlas, 42p.
- European Environment Agency (2007)**, CLC2006 technical guidelines, 70p.
- European Environment Agency (2015a)**, Copernicus Land Monitoring Service – Pan-European Component: CORINE Land Cover, 2p.
- European Environment Agency (2015b)**, Copernicus Land Monitoring Service – Pan-European Component: High Resolution Layers, 2p.
- European Environment Agency (2015c)**, Copernicus Land Monitoring Service – Local Component: Urban Atlas, 2p.

- Herold M., Scepan J. & Clarke K.C. (2002)**, The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Describe Structures and Changes in Urban Land Uses, Environment and Planning A, vol. 34, n°8, pp. 1443-1458.
- IGN (2015)**, Spécifications de la couche Occupation du Sol à Grande Echelle de l'IGN, 51p.
- IGN (2016)**, Occupation du Sol à Grande Echelle - Descriptif de contenu, 26p.
- Ingla J., Arias M., Vincent A., Tardy B., Morin D. & Michel J. (2016)**, Large scale automatic land cover map production with Sentinel-2 image time series: current status and outlooks, 114p.
- INSEE (2016)**, Définition - Aire urbaine | Insee. Ressource internet. URL [<https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2070>]
- Langanke T. (2016)**, GIO land (GMES/Copernicus initial operations land) High Resolution Layers (HRLs) – Summary of product specifications, 14p.
- Laugier R. (2012)**, L'étalement urbain en France - Synthèse documentaire, 23p.
- Lefebvre M. (2013)**, Densité et formes urbains : Vers une meilleure qualité de vie, 45p.
- McGarigal K. & Marks B.J. (1995)**, FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, 141p.
- Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (2016)**, Atlas régional de l'occupation des sols en France, 168p.
- Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (2017)**, Artificialisation : De la mesure à l'action, 46p.
- Mucher C.A. & de Badts E.P.J. (2002)**, Global Land Cover 2000: Evaluation of the SPOT VEGTATION sensor for land use mapping, 47p.
- Nations unies et Division de statistique (2004)**, Manuel des systèmes d'information géographique et de cartographie numérique, New York, Nations unies, 233 p.
- OCDE (2012)**, Redefining « Urban », 151p.
- Puissant A. (2003)**, Information géographique et images à très haute résolution - Utilité et applications en milieu urbain, Thèse de doctorat, Laboratoire Image et Ville, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 447 p.
- Ran Y. & Li X. (2015)**, First comprehensive fine-resolution global land cover map in the world from China - Comments on global land cover map at 30m resolution, Science China Earth Sciences, vol. 58, n°9, pp. 1677-1678.
- Service de l'observation et des statistiques (2009)**, Les espaces artificialisés en 2006, 5p.
- Stibig H.E., Mayaux P., Bartalev S., Latifovic R., Kolmert S., Roy P.S., Agrawal S., Bingfang W., Wenting X., Ledwith M. & others (2003)**, Harmonisation, mosaicking and production of the Global Land Cover 2000 database, 41p.
- Story M. & Congalton R.G. (1986)**, Accuracy assessment: a user's perspective, Photogrammetric Engineering and remote sensing, vol. 52, n°3, pp. 397–399.

## **Bibliographie**

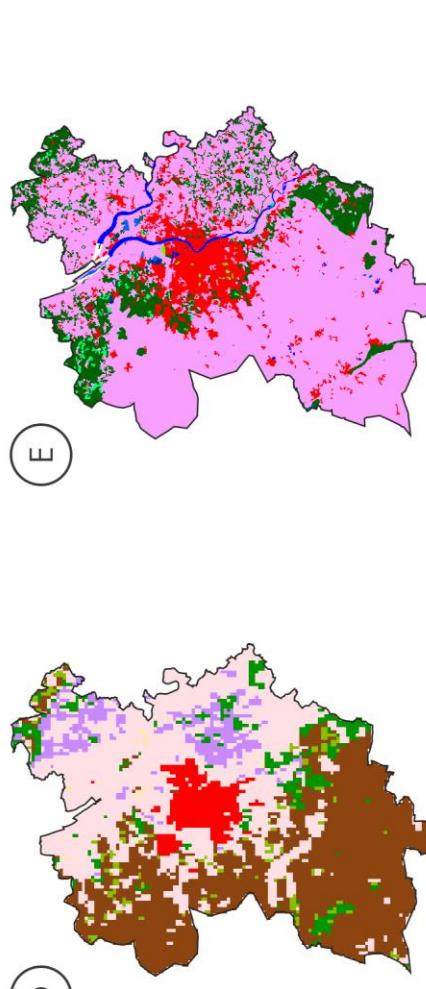
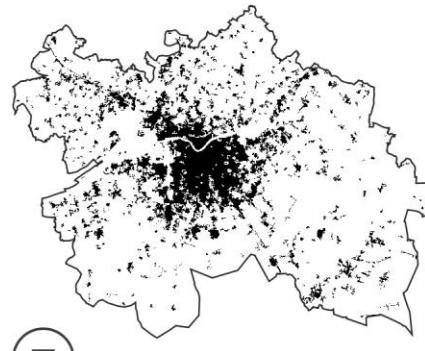
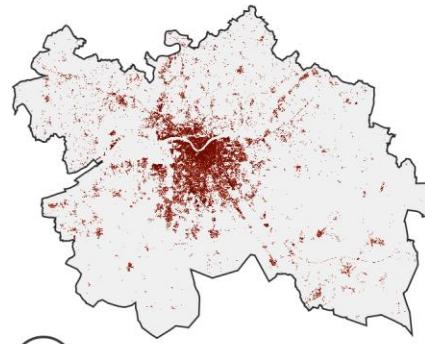
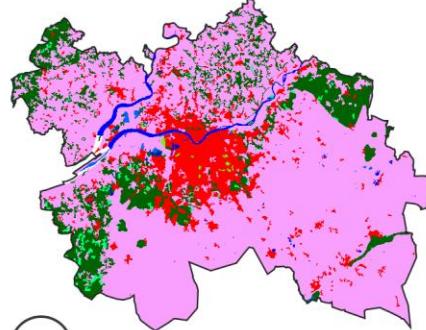
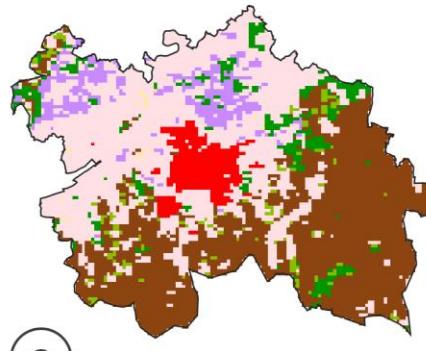
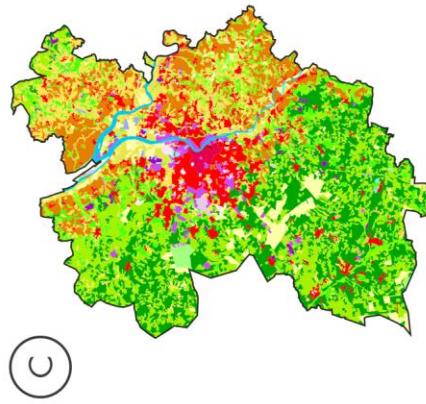
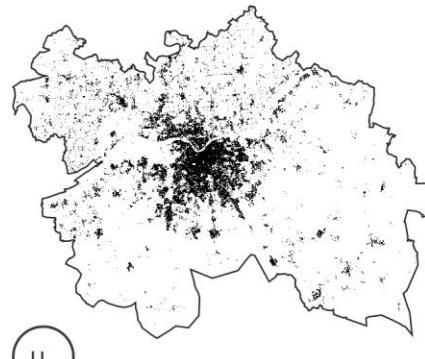
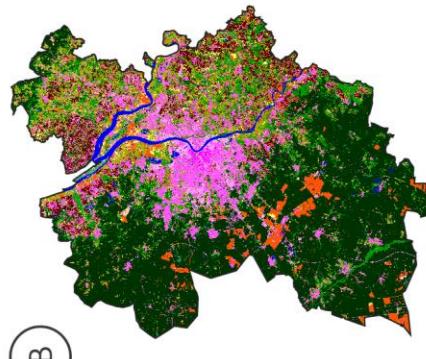
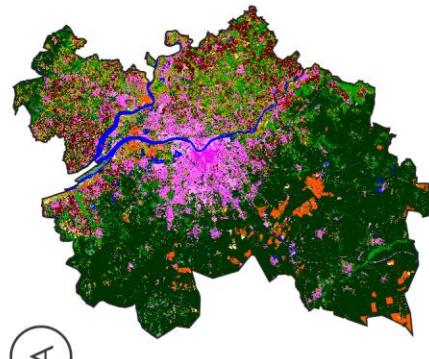
---

- Verheyen W. (2009)**, Land cover, land use and the global change, *Land Use, Land Cover and Soil Sciences*-Volume I: Land Cover, Land Use and the Global Change, 45p.
- Vincent A. (2016)**, iota2: Infrastructure pour l'Occupation des sols par Traitement Automatique Incorporant les Orfeo Toolbox (OTB) Applications, 30p.
- Vincent A., Inglada J. & Morin D. (2016)**, Apport de la stratification éco-climatique dans la production d'OCS à échelle nationale, 43p.
- Watteaux M. (2005)**, Sous le bocage, le parcellaire..., *Études rurales*, n°175-176, pp. 53-80.

# **ANNEXES**

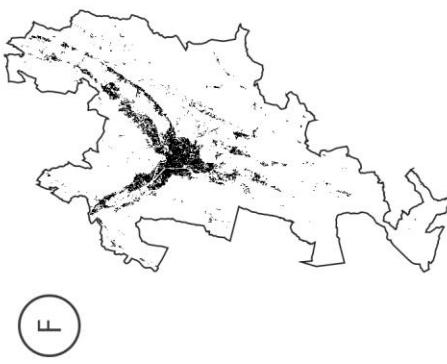
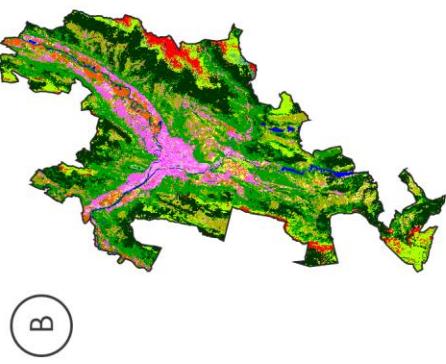
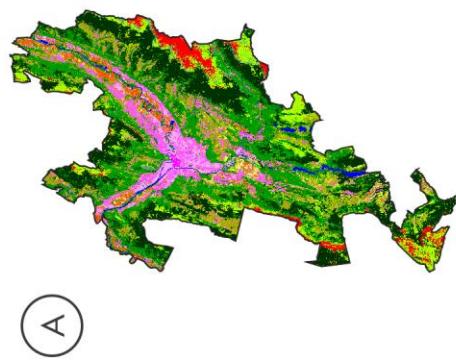
**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux**

A CES OSO - 18      B CES OSO - S2      C CORINE      D GLC2000      E GlobelLand30  
F GUF      G HRL Impervious.      H Produit A<sup>2</sup>S      I Urban Atlas



0 5 10 20 40km  
N

**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble**



A CES OSO - 18

B CES OSO - S2

C CORINE

D GLC2000

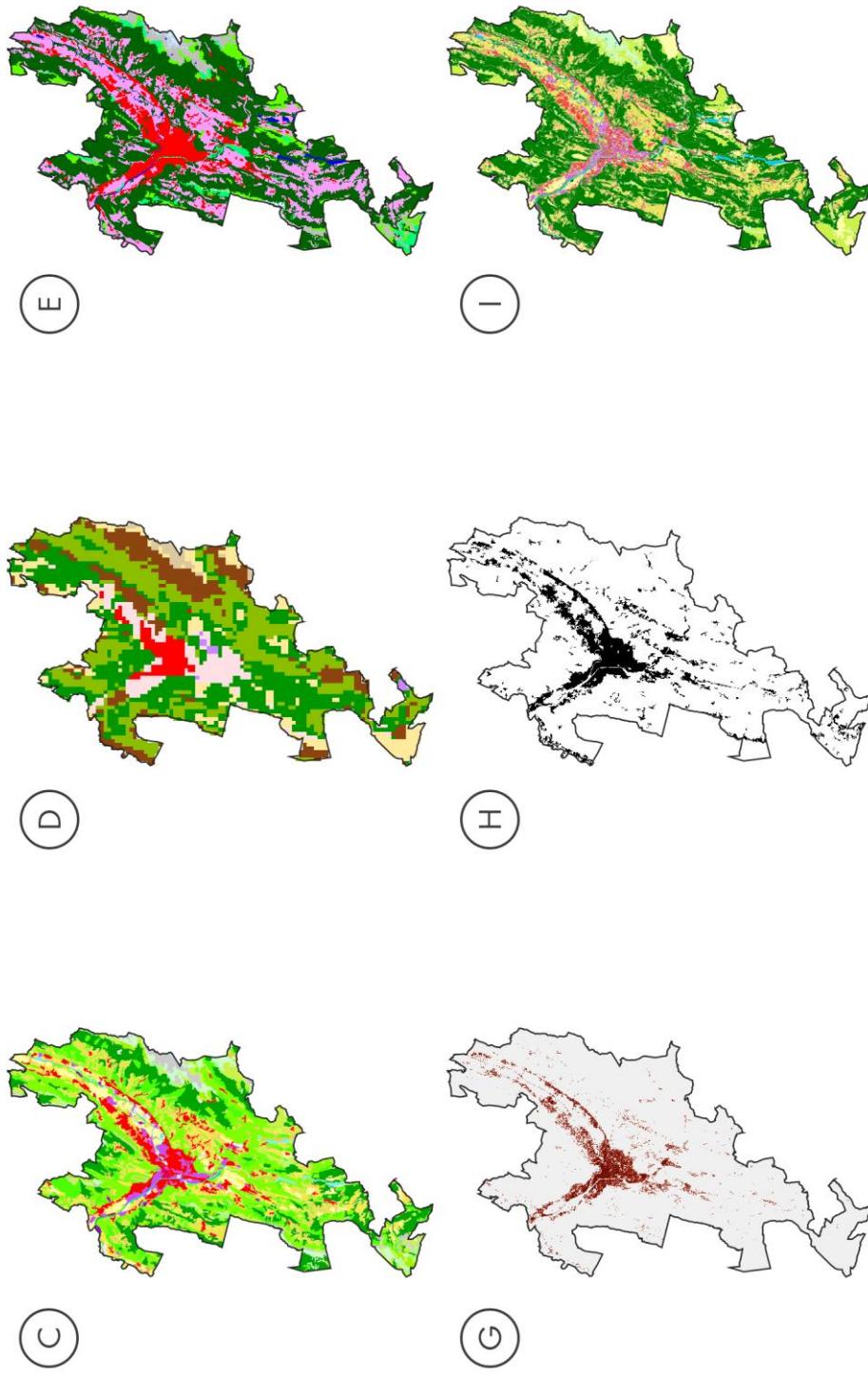
E GlobelLand30

F GUF

G HRL Impervious.

H Produit A<sup>2</sup>S

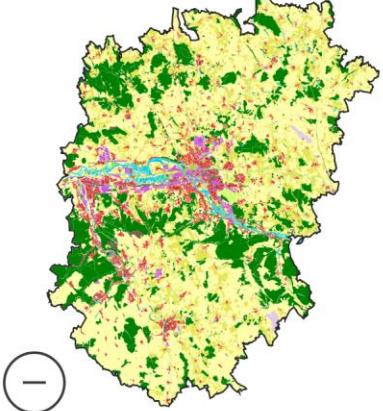
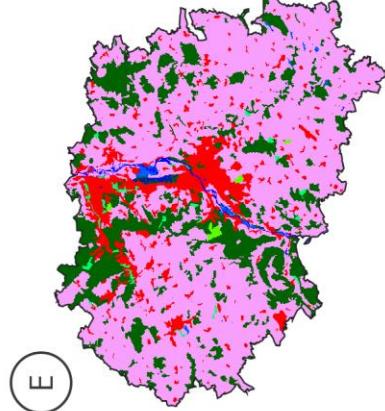
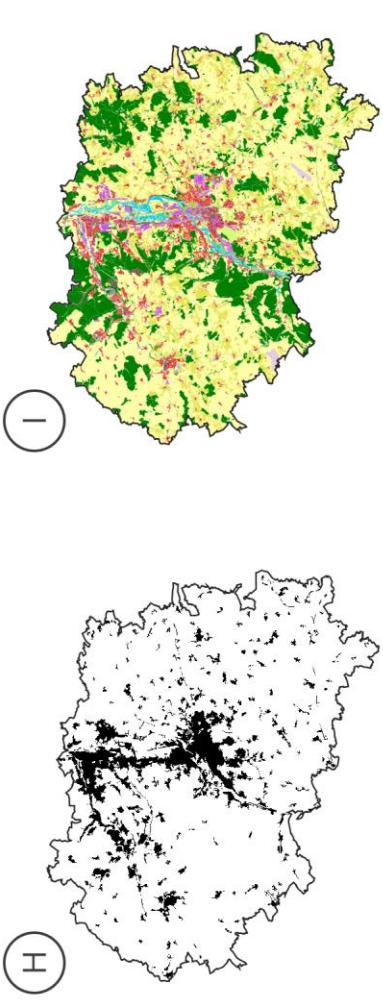
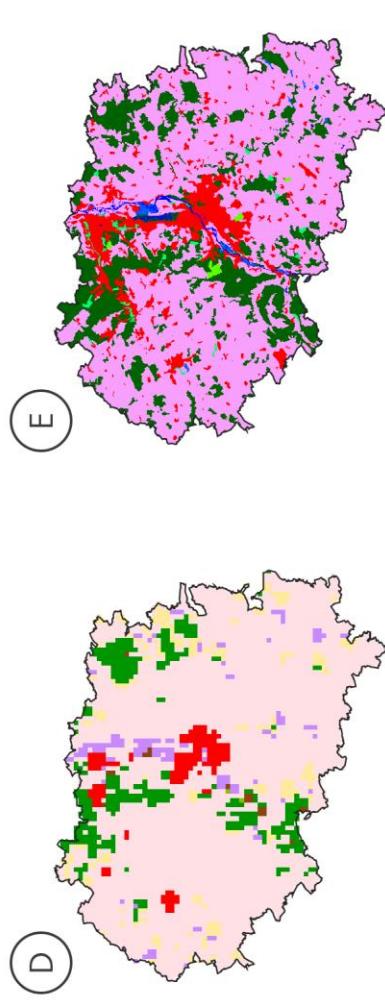
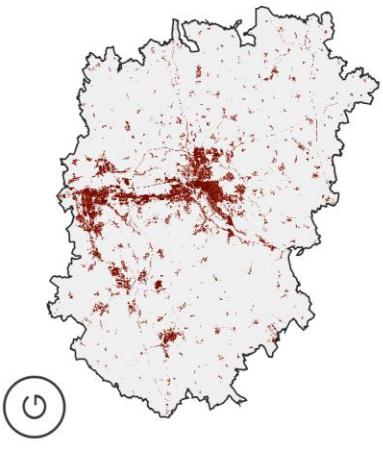
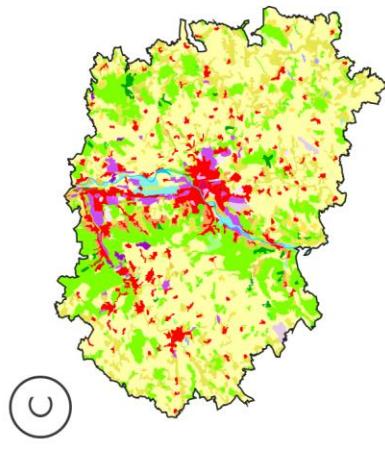
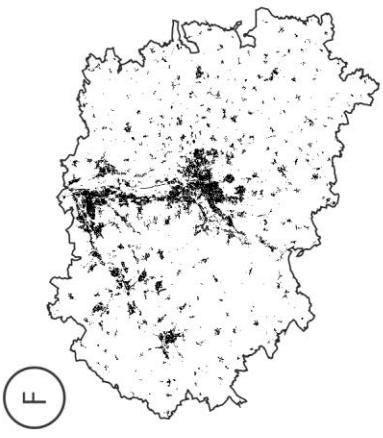
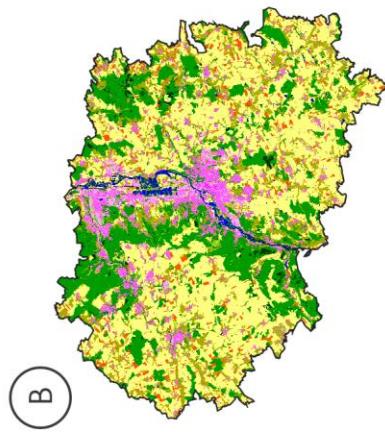
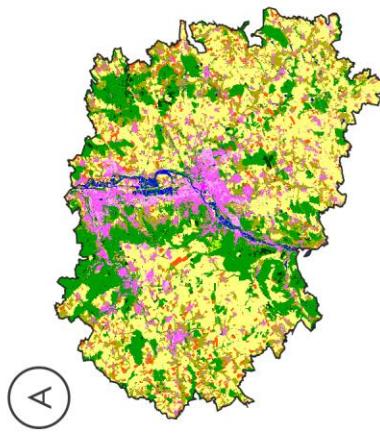
I Urban Atlas



0 5 10 20 40km  
N

**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz**

|                |                   |                            |               |                |
|----------------|-------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| A CES OSO - 18 | B CES OSO - S2    | C CORINE                   | D GLC2000     | E GlobelLand30 |
| F GUF          | G HRL Impervious. | H Produit A <sup>2</sup> S | I Urban Atlas |                |

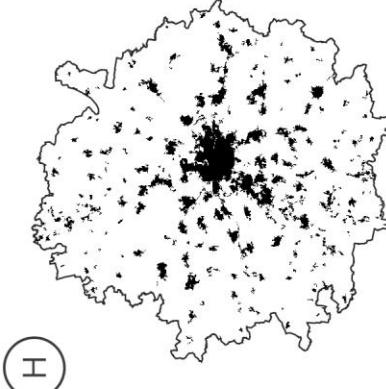
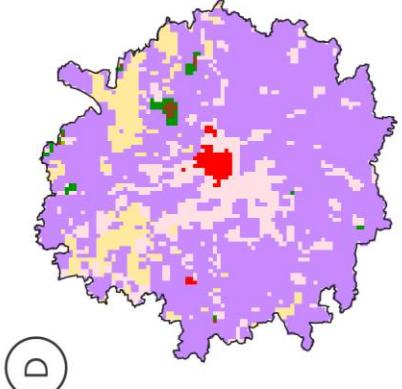
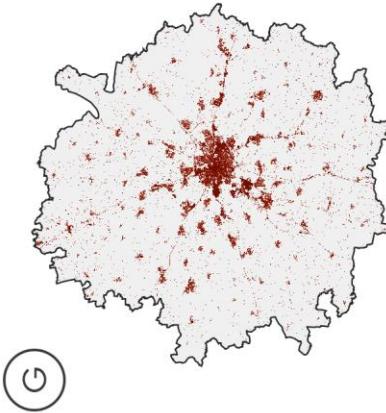
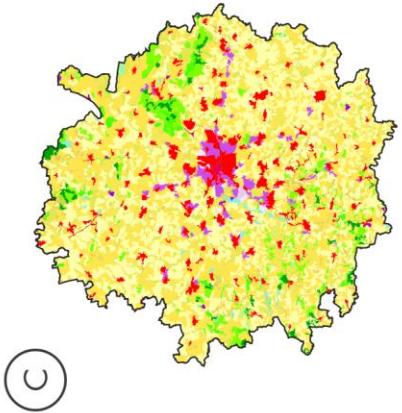
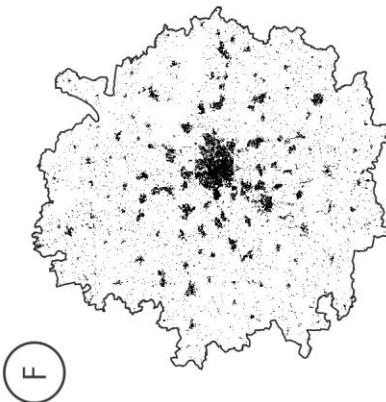
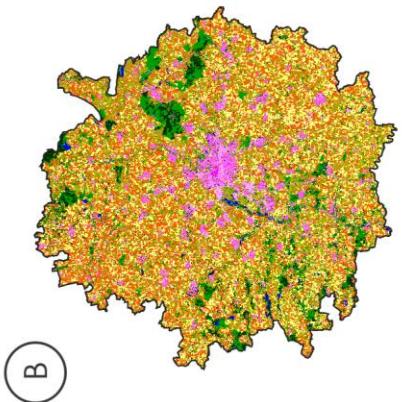
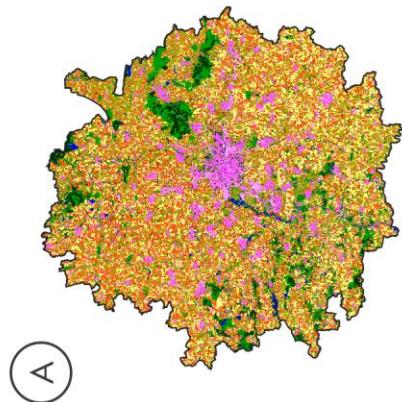


0 5 10 20 40km



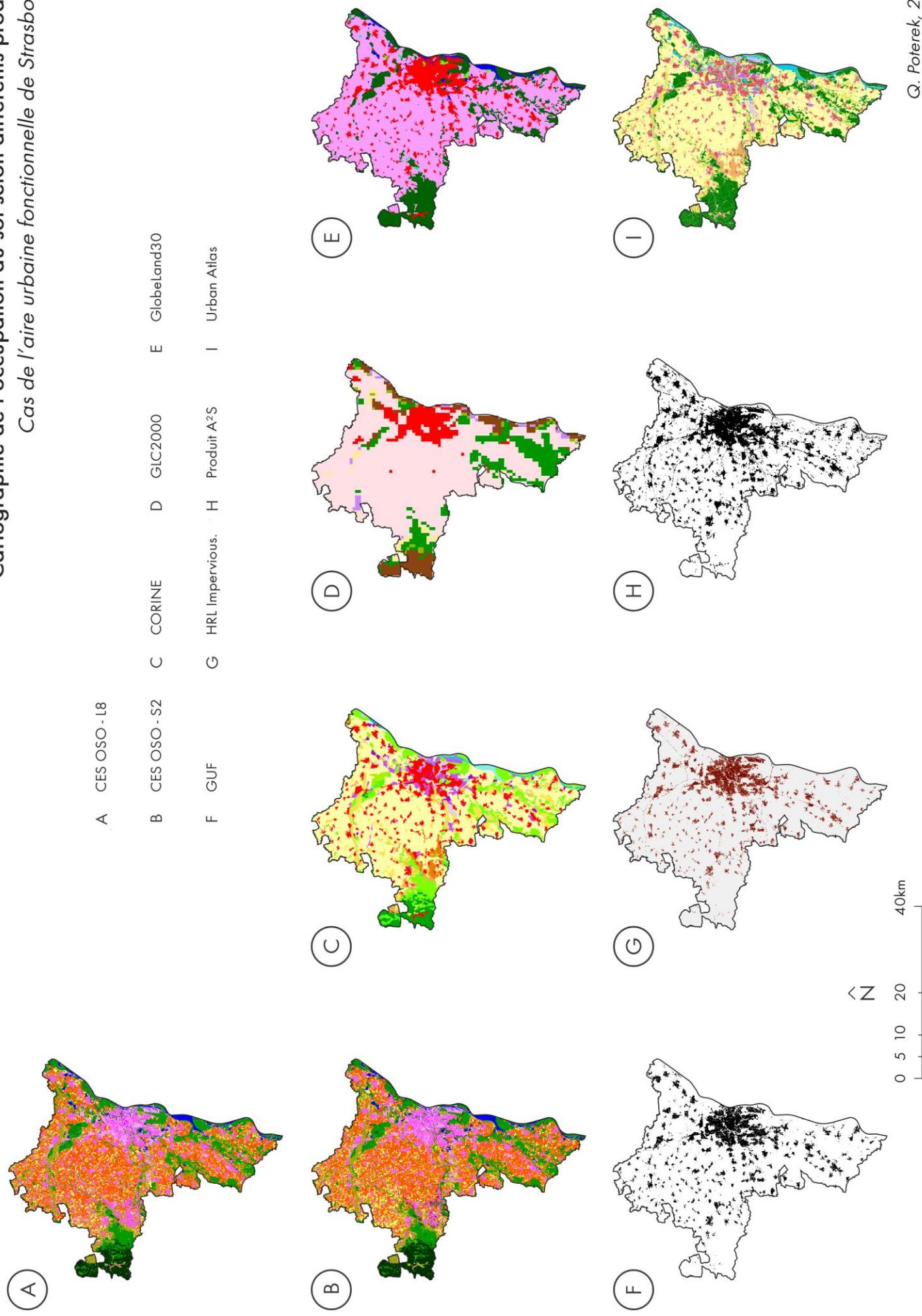
**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes**

|               |                   |                            |               |                |
|---------------|-------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| A CES OSO -18 | B CES OSO -S2     | C CORINE                   | D GLC2000     | E GlobelLand30 |
| F GUF         | G HRL Impervious. | H Produit A <sup>2</sup> S | I Urban Atlas |                |



0 5 10 20 40Km  
N

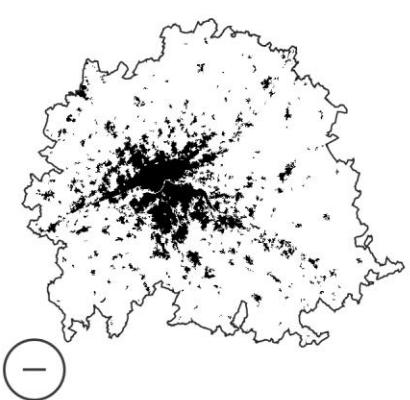
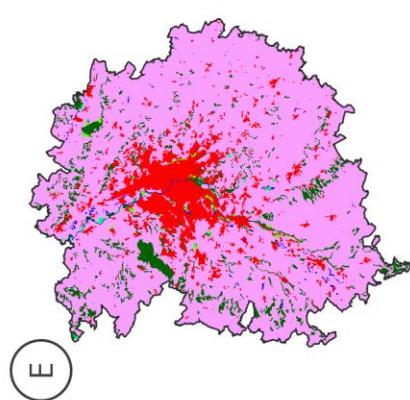
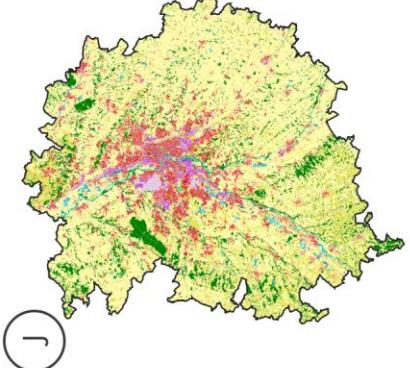
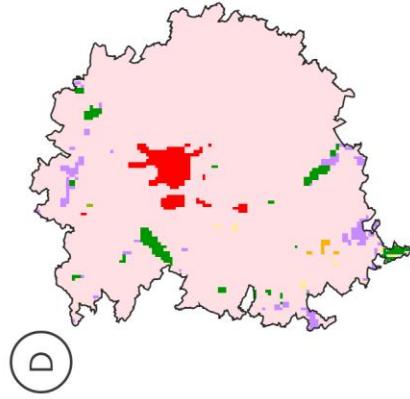
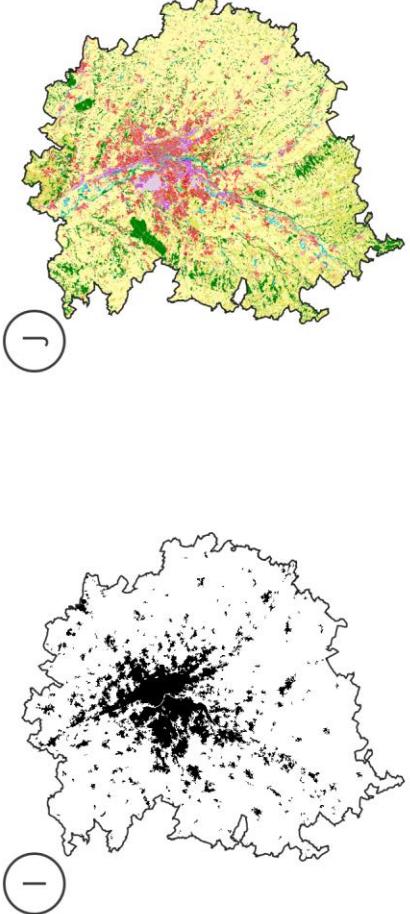
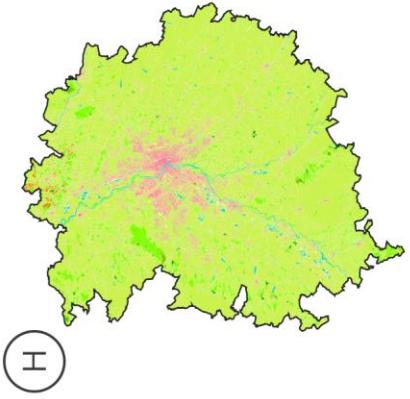
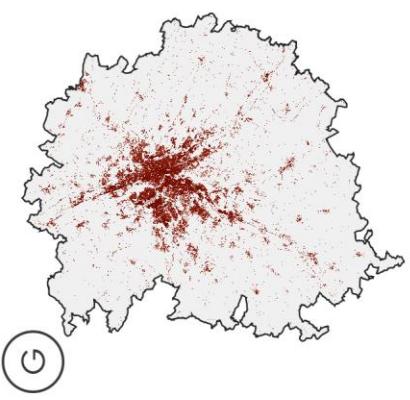
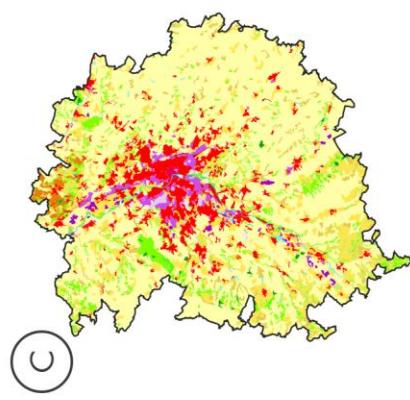
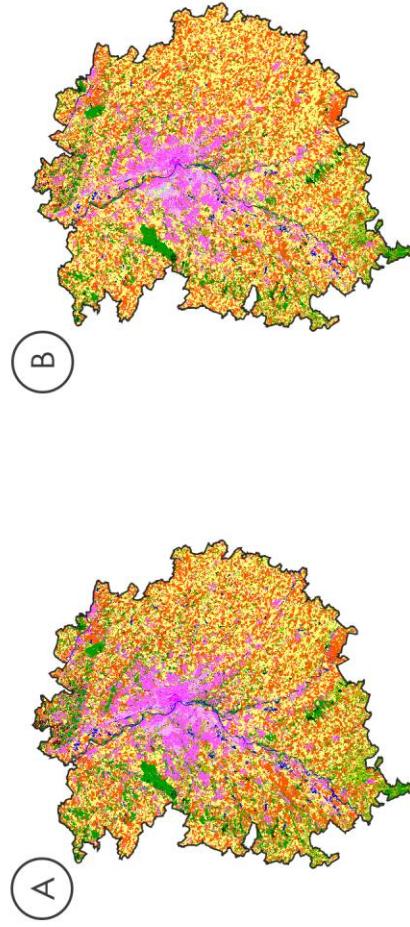
**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg**



**Cartographie de l'occupation du sol selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse**

A CES OSO - 18      B CES OSO - S2  
C CORINE      D GLC2000  
G HRL Impervious.      H OCS GE

E GlobelLand30      F GUF  
I Produit A<sup>2</sup>S      J Urban Atlas



0 5 10 20 40km  
N

## Annexes

---

### Annexe 7 : Nomenclatures et tables d'harmonisation pour les produits étudiés

L'annexe décrit les nomenclatures de l'ensemble des produits retenus, avec les couleurs et codes associés à chaque classe d'occupation du sol. Le code harmonisé, disponible dans la partie droite des tableaux, permet la comparaison des produits selon 2 classes :

|  |   |                   |
|--|---|-------------------|
|  | 0 | Non-artificialisé |
|  | 1 | Artificialisé     |

- CES OSO L8 & S2 :

| Code | Classe                              | Code harmonisé |
|------|-------------------------------------|----------------|
| 11   | Culture d'été                       | 0              |
| 12   | Culture d'hiver                     | 0              |
| 31   | Forêt de feuillus                   | 0              |
| 32   | Forêt de conifères                  | 0              |
| 34   | Pelouses                            | 0              |
| 36   | Landes ligneuses                    | 0              |
| 41   | Urbain dense                        | 1              |
| 42   | Urbain diffus                       | 1              |
| 43   | Zones industrielles et commerciales | 1              |
| 44   | Surfaces routières                  | 1              |
| 45   | Surfaces minérales                  | 0              |
| 46   | Plages et dunes                     | 0              |
| 51   | Eau                                 | 0              |
| 53   | Glaciers ou neige                   | 0              |
| 211  | Prairies                            | 0              |
| 221  | Vergers                             | 0              |
| 222  | Vignes                              | 0              |

- CORINE Land Cover (Niveau 3) :

| Code | Classe   | Code harmonisé |
|------|--|----------------|
| 111  | Tissu urbain continu   | 1              |
| 112  | Tissu urbain discontinu  | 1              |
| 121  | Zones industrielles ou commerciales et installations publiques | 1              |
| 122  | Réseaux routier et ferroviaire et espaces associées            | 1              |
| 123  | Zones portuaires   | 1              |
| 124  | Aéroports  | 1              |
| 131  | Extraction de matériaux  | 1              |
| 132  | Décharges  | 1              |
| 133  | Chantiers  | 1              |
| 141  | Espaces verts urbains  | 1              |
| 142  | Equipements sportifs et de loisirs                             | 1              |
| 211  | Terres arables hors périmètres d'irrigation                    | 0              |
| 212  | Périmètres irrigués en permanence                              | 0              |
| 213  | Rizières   | 0              |
| 221  | Vignobles  | 0              |

|  |     |  |   |
|--|-----|--|---|
|  | 222 | Vergers et petits fruits   | 0 |
|  | 223 | Oliveraies   | 0 |
|  | 231 | Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole                       | 0 |
|  | 241 | Cultures annuelles associées à des cultures permanentes                              | 0 |
|  | 242 | Systèmes culturaux et parcellaires complexes   | 0 |
|  | 243 | Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants | 0 |
|  | 244 | Territoires agroforestiers   | 0 |
|  | 311 | Forêts de feuillus   | 0 |
|  | 312 | Forêts de conifères  | 0 |
|  | 313 | Forêts mélangées   | 0 |
|  | 321 | Pelouses et pâturages naturels   | 0 |
|  | 322 | Landes et broussailles   | 0 |
|  | 323 | Végétation sclérophylle  | 0 |
|  | 324 | Forêt et végétation arbustive en mutation  | 0 |
|  | 331 | Plages, dunes et sable   | 0 |
|  | 332 | Roches nues  | 0 |
|  | 333 | Végétation clairsemée  | 0 |
|  | 334 | Zones incendiées   | 0 |
|  | 335 | Glaciers et neiges éternelles  | 0 |
|  | 411 | Marais intérieurs  | 0 |
|  | 412 | Tourbières   | 0 |
|  | 421 | Marais maritimes   | 0 |
|  | 422 | Marais salants   | 0 |
|  | 423 | Zones intertidales   | 0 |
|  | 511 | Cours et voies d'eau   | 0 |
|  | 512 | Plans d'eau  | 0 |
|  | 521 | Lagunes littorales   | 0 |
|  | 522 | Estuaires  | 0 |
|  | 523 | Mers et océans   | 0 |

Expression utilisée pour la calculatrice de champ « URB\_FOOT » :

```

1 CASE
2 WHEN "Code" LIKE '1%' THEN 1
3 ELSE 0
4 END

```

- GLC2000 :

| Code | Classe  | Code harmonisé |
|------|---|----------------|
|      | 1 Végétation arborée à feuilles persistantes                    | 0              |
|      | 2 Végétation arborée à feuilles caduques, fermée                | 0              |
|      | 3 Végétation arborée à feuilles caduques, ouverte               | 0              |
|      | 4 Végétation arborée conifère et persistante                    | 0              |
|      | 5 Végétation arborée conifère et caduque                        | 0              |
|      | 6 Végétation arborée mixte                                      | 0              |
|      | 7 Végétation arborée régulièrement submergée par de l'eau douce | 0              |
|      | 8 Végétation arborée régulièrement submergée par de l'eau salée | 0              |

## Annexes

---

|   |    |  |   |   |
|---|----|--|---|---|
|  | 9  | Végétation arborée et autres formes de couverture végétale |   | 0 |
|  | 10 | Végétation arborée brûlée                                  |   | 0 |
|  | 11 | Végétation arbustive persistante, fermée – ouverte         |   | 0 |
|  | 12 | Végétation arbustive caduque, fermée – ouverte             |   | 0 |
|  | 13 | Végétation herbacée, fermée – ouverte                      |   | 0 |
|  | 14 | Végétation arbustive ou herbacée clairsemée                |   | 0 |
|  | 15 | Végétation arbustive ou herbacée régulièrement inondée     |   | 0 |
|  | 16 | Territoires cultivés et entretenus                         |   | 0 |
|  | 17 | Cultures, végétation arborée, autres formations végétales  |   | 0 |
|  | 18 | Cultures, végétation arbustive ou pelouses                 |   | 0 |
|  | 19 | Surfaces à nu  |   | 0 |
|  | 20 | Objets hydrologiques (naturels et artificiels)             |   | 0 |
|  | 21 | Neige et glace (naturelles et artificielles)               |   | 0 |
|  | 22 | Surfaces artificialisées et terrains associés              |  | 1 |

- GlobeLand30 :

| Code  | Classe                       | Code harmonisé  |
|---|------------------------------|---|
|    | 10 Territoire agricole       | 0   |
|    | 20 Formation arborée         | 0   |
|    | 30 Formation herbacée        | 0   |
|   | 40 Formation arbustive       | 0   |
|  | 50 Objet hydrologique        | 0   |
|  | 60 Zone humide               | 0   |
|  | 70 Toundra                   | 0   |
|  | 80 Surfaces artificialisées  |  1 |
|  | 90 Surfaces à nu             | 0   |
|  | 100 Glace et neige éternelle | 0   |

- GUF :

| Code  | Classe              | Code harmonisé  |
|---|---------------------|---|
|  | 0 Non-artificialisé | 0   |
|  | 1 Artificialisé     |  1 |

- High Resolution Layers « Imperviousness » :

| Code  | Classe                | Code harmonisé  |
|---|-----------------------|---|
|  | 0 Non-artificialisé   | 0   |
|  | 1 - 100 Artificialisé |  1 |

- OCSGE IGN :

| Code  | Classe   | Code harmonisé  |
|---|--|---|
|  | CS1.1.1.1 Zones bâties   |  1 |
|  | CS1.1.1.2 Zones non bâties (routes, places, parking...)  |  1 |
|  | CS1.1.2.1 Zones à matériaux minéraux (pierre-terre – voies terrées, pistes forestières, chemins empierrés, chantiers, carrières, salines...) |  1 |
|  | CS1.1.2.2 Zones à autres matériaux   |  1 |
|  | CS1.2.1 Sols nus   |  0 |

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| CS1. 2.2  | Surfaces d'eau  | 0 |
| CS1.2.3   | Névés et glaciers                                     | 0 |
| CS2.1.1.1 | Peuplement de feuillus                                | 0 |
| CS2.1.1.2 | Peuplement de conifères                               | 0 |
| CS2.1.1.3 | Peuplement mixte                                      | 0 |
| CS2.1.2   | Formations arbustives et sous-arbrisseaux             | 0 |
| CS2.1.3   | Autres formations ligneuses                           | 0 |
| CS2.2.1   | Formations herbacées                                  | 0 |
| CS2.2.2   | Autres formations non ligneuses                       | 0 |
| US1.1     | Agriculture   | 0 |
| US1.2     | Sylviculture  | 0 |
| US1.3     | Activités d'extraction                                | 0 |
| US1.4     | Pêche et aquaculture                                  | 0 |
| US1.5     | Production primaire – Autre                           | 0 |
| US235     | Production secondaire, tertiaire et usage résidentiel | 1 |
| US4.1.1   | Réseaux de transport – Routier                        | 1 |
| US4.1.2   | Réseaux de transport – Ferré                          | 1 |
| US4.1.3   | Réseaux de transport – Aérien                         | 1 |
| US4.1.4   | Réseaux de transport – Fluvial et maritime            | 1 |
| US4.1.5   | Réseaux de transport – Autres réseaux de transport    | 1 |
| US4.2     | Services logistiques et de stockage                   | 1 |
| US4.3     | Réseaux d'utilité publique                            | 1 |
| US6.1     | Zones de transition                                   | 0 |
| US6.2     | Zones abandonnées                                     | 0 |
| US6.3     | Sans usage  | 0 |
| US6.4     | Usage inconnu   | 0 |

Expression utilisée pour la calculatrice de champ « URB\_FOOT » :

```

1 CASE
2 WHEN "Code" LIKE 'CS1.1%' THEN 1
3 WHEN ("Code" LIKE 'US4%') OR ("Code" = 'US235') THEN 1
4 ELSE 0
5 END

```

- Produit A<sup>2</sup>S :

| Code | Classe            | Code harmonisé |
|------|-------------------|----------------|
| 0    | Non-artificialisé | 0              |
| 1    | Artificialisé     | 1              |

- Urban Atlas :

| Code  | Classe                                    | Code harmonisé |
|-------|---|----------------|
| 11100 | Tissu urbain continu                      | 1              |
| 11210 | Tissu urbain discontinu dense             | 1              |
| 11220 | Tissu urbain discontinu moyennement dense | 1              |
| 11230 | Tissu urbain discontinu peu dense         | 1              |
| 11240 | Tissu urbain discontinu très peu dense    | 1              |

## Annexes

---

|       |   |  |  |  |   |
|-------|---|--|--|--|---|
|       |   |  |  |  |   |
| 11300 | Structures isolées  |  |  |  | 1 |
| 12100 | Emprises industrielles, commerciales, publiques, militaires et structures privées |  |  |  | 1 |
| 12210 | Voies de circulation rapide et terrains associés                                  |  |  |  | 1 |
| 12220 | Autres voies de circulation et terrains associés                                  |  |  |  | 1 |
| 12230 | Réseau ferré et terrains associés   |  |  |  | 1 |
| 12300 | Zones portuaires  |  |  |  | 1 |
| 12400 | Aéroports   |  |  |  | 1 |
| 13100 | Extraction de matériaux et décharges  |  |  |  | 1 |
| 13300 | Chantiers   |  |  |  | 1 |
| 13400 | Sans usage  |  |  |  | 1 |
| 14100 | Espaces verts urbains   |  |  |  | 1 |
| 14200 | Equipements sportifs et de loisirs  |  |  |  | 1 |
| 21000 | Cultures annuelles  |  |  |  | 0 |
| 22000 | Cultures permanentes  |  |  |  | 0 |
| 23000 | Pâturages   |  |  |  | 0 |
| 24000 | Formes agricoles mixtes et complexes  |  |  |  | 0 |
| 25000 | Vergers   |  |  |  | 0 |
| 31000 | Forêts  |  |  |  | 0 |
| 32000 | Formations herbacées  |  |  |  | 0 |
| 33000 | Espaces ouverts sans végétation, ou à végétation clairsemée                       |  |  |  | 0 |
| 40000 | Zones humides   |  |  |  | 0 |
| 50000 | Objets hydrologiques  |  |  |  | 0 |

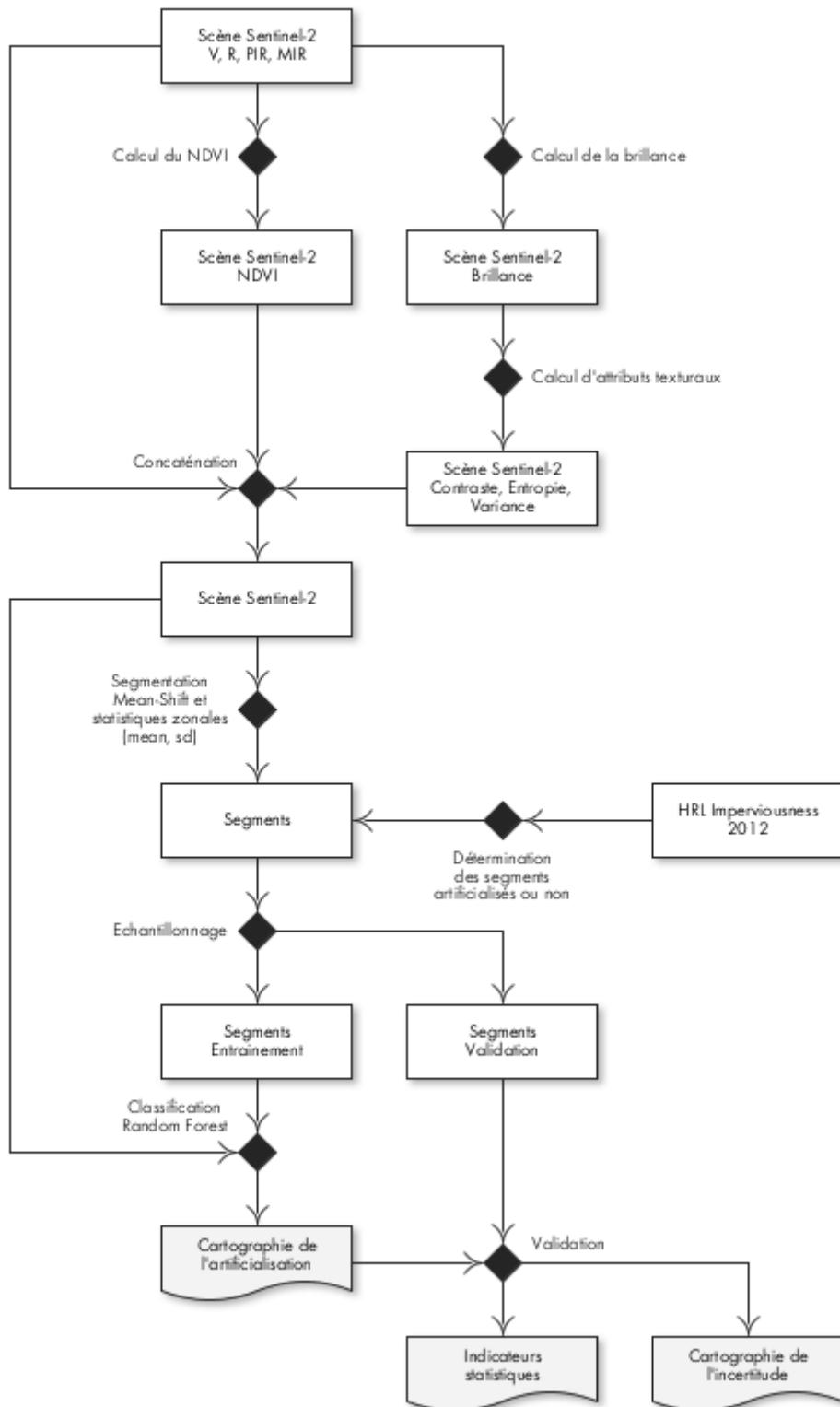
Expression utilisée pour la calculatrice de champ « URB\_FOOT » :

```

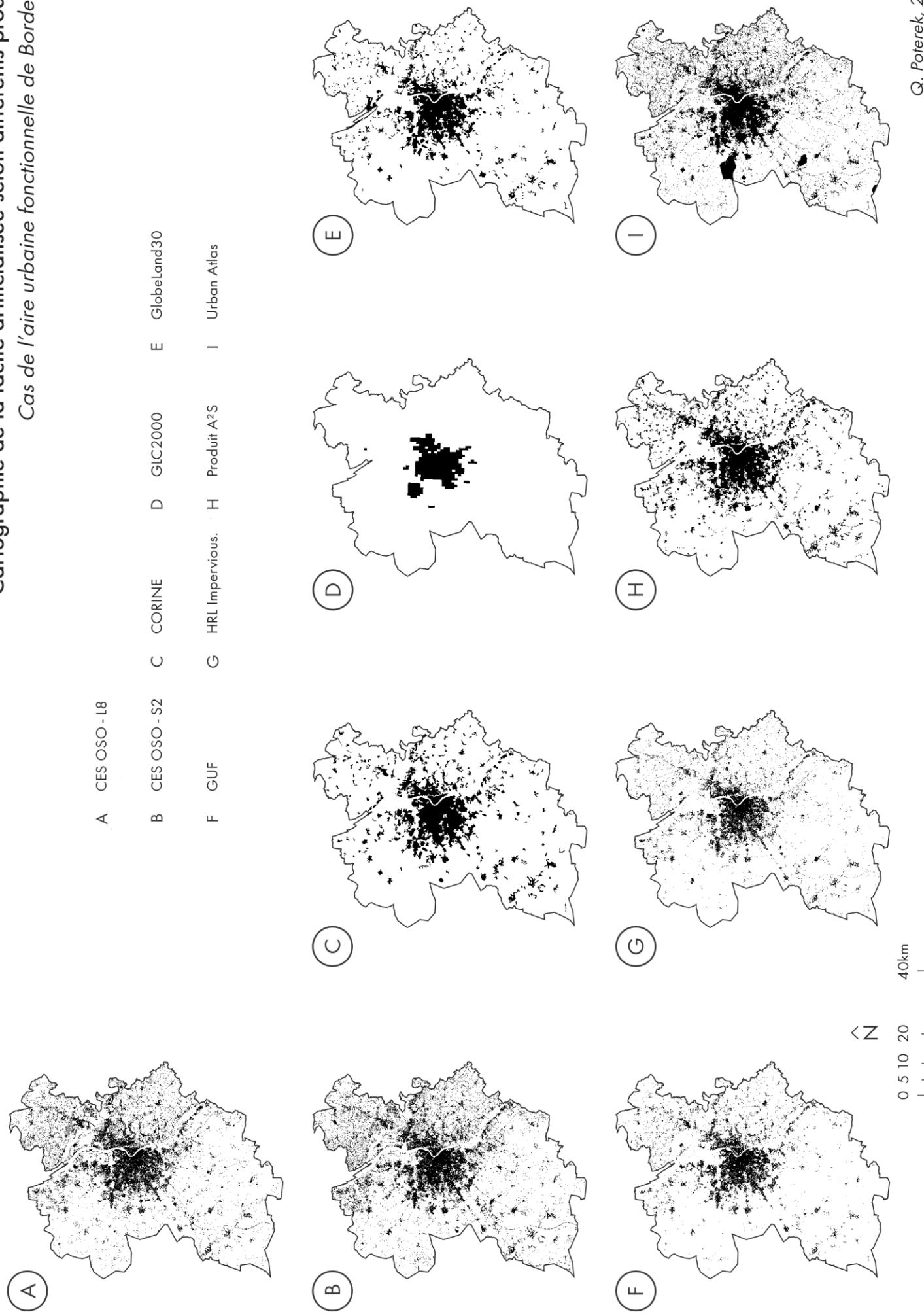
1 CASE
2 WHEN "Code" LIKE '1%' THEN 1
3 ELSE 0
4 END

```

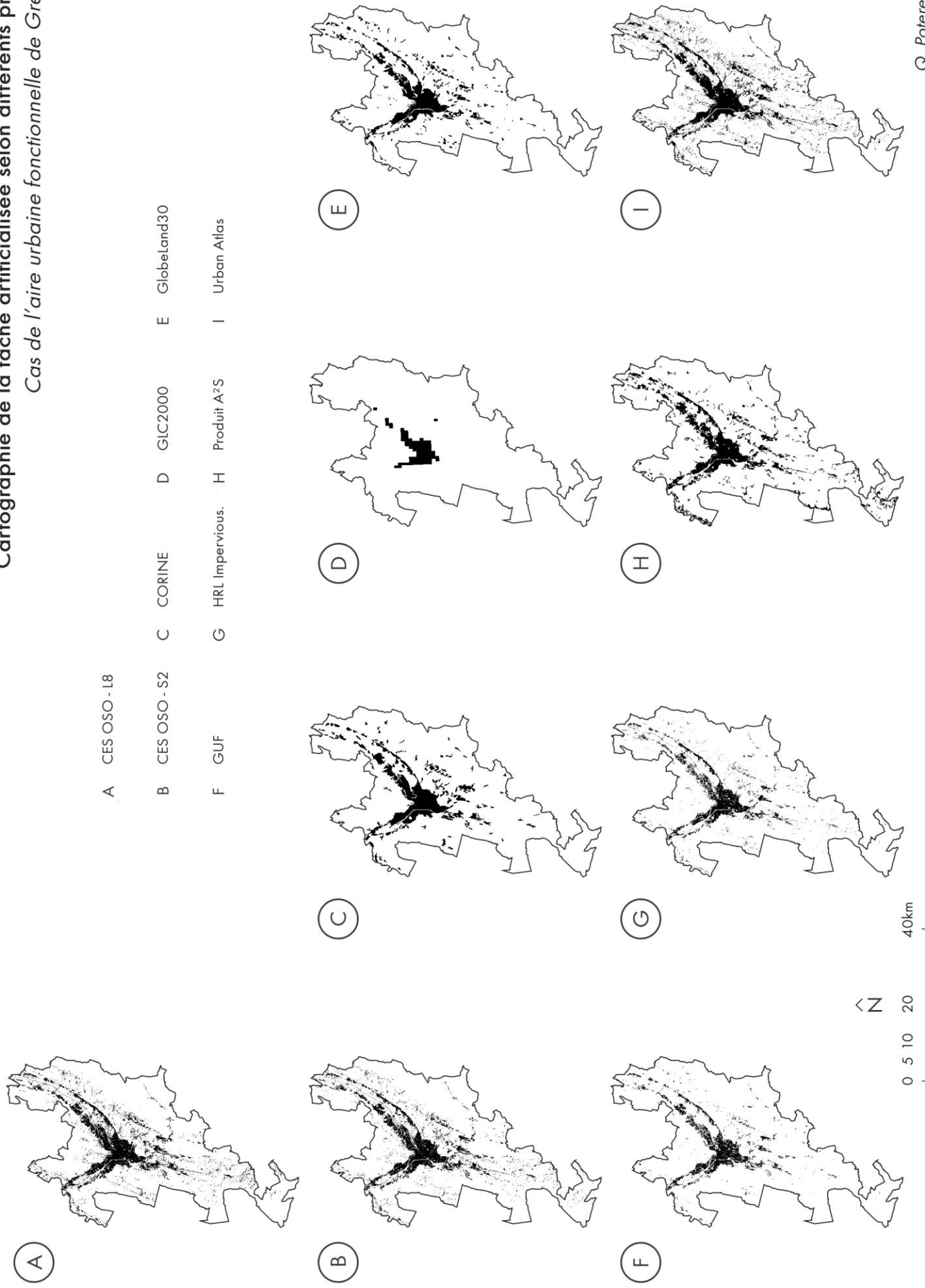
**Annexe 8 : Organigramme de la chaîne de traitements utilisée pour aboutir au produit A<sup>2</sup>S**



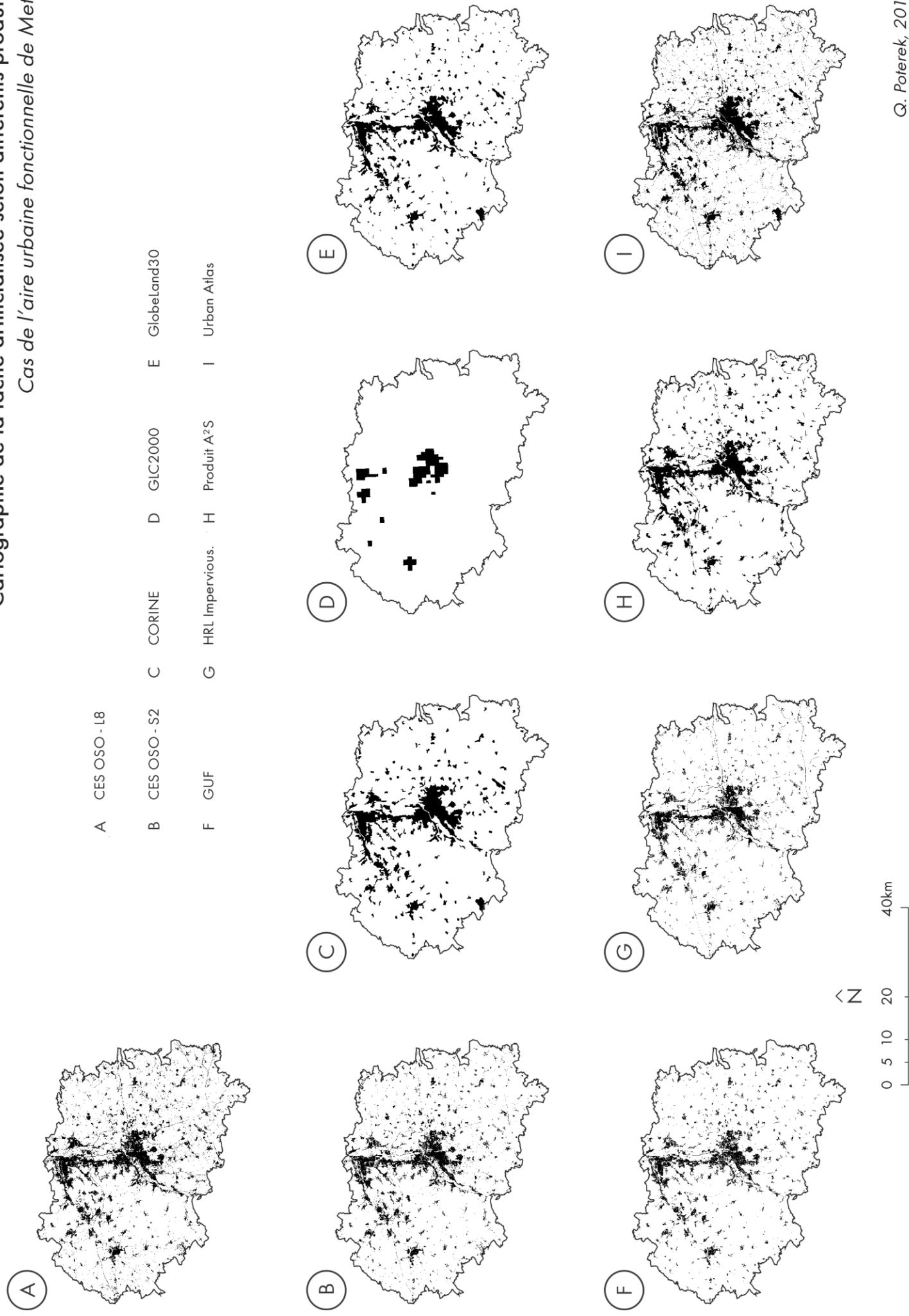
**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux**



**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble**

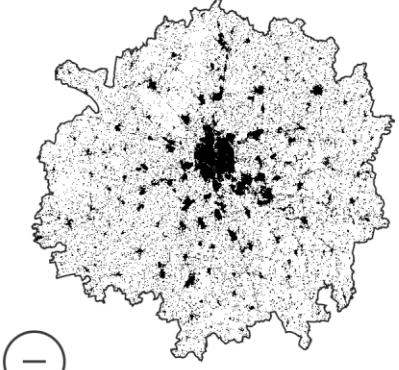
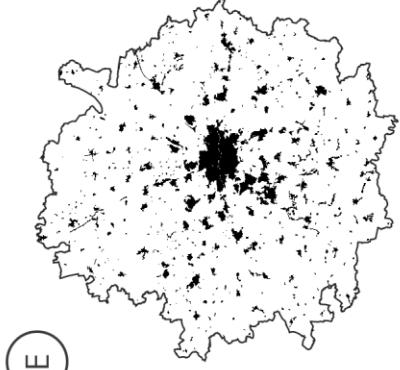
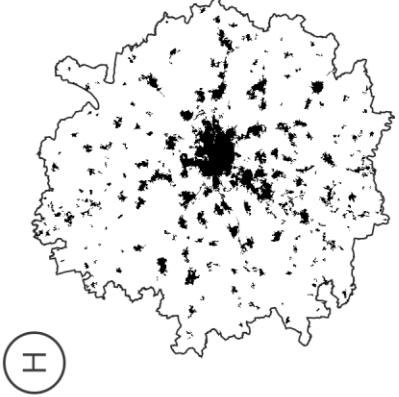
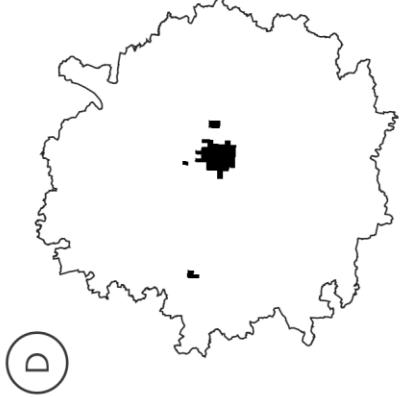
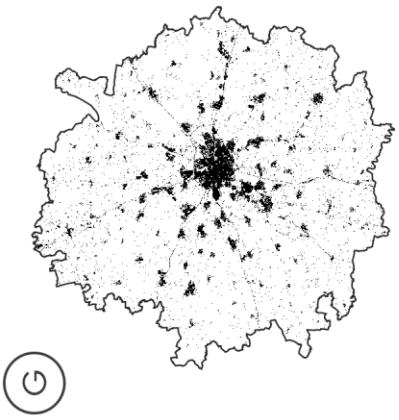
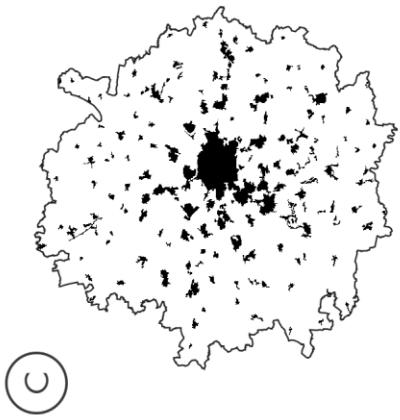
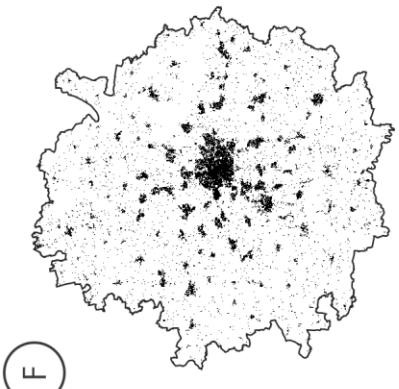
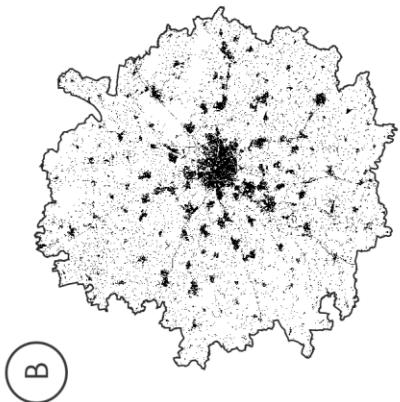
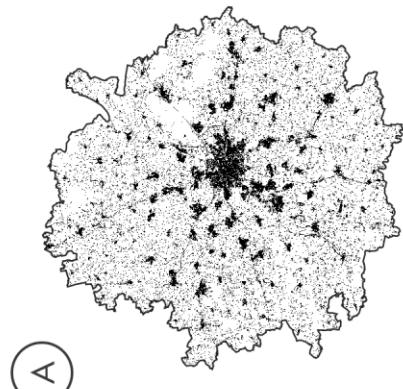


**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz**



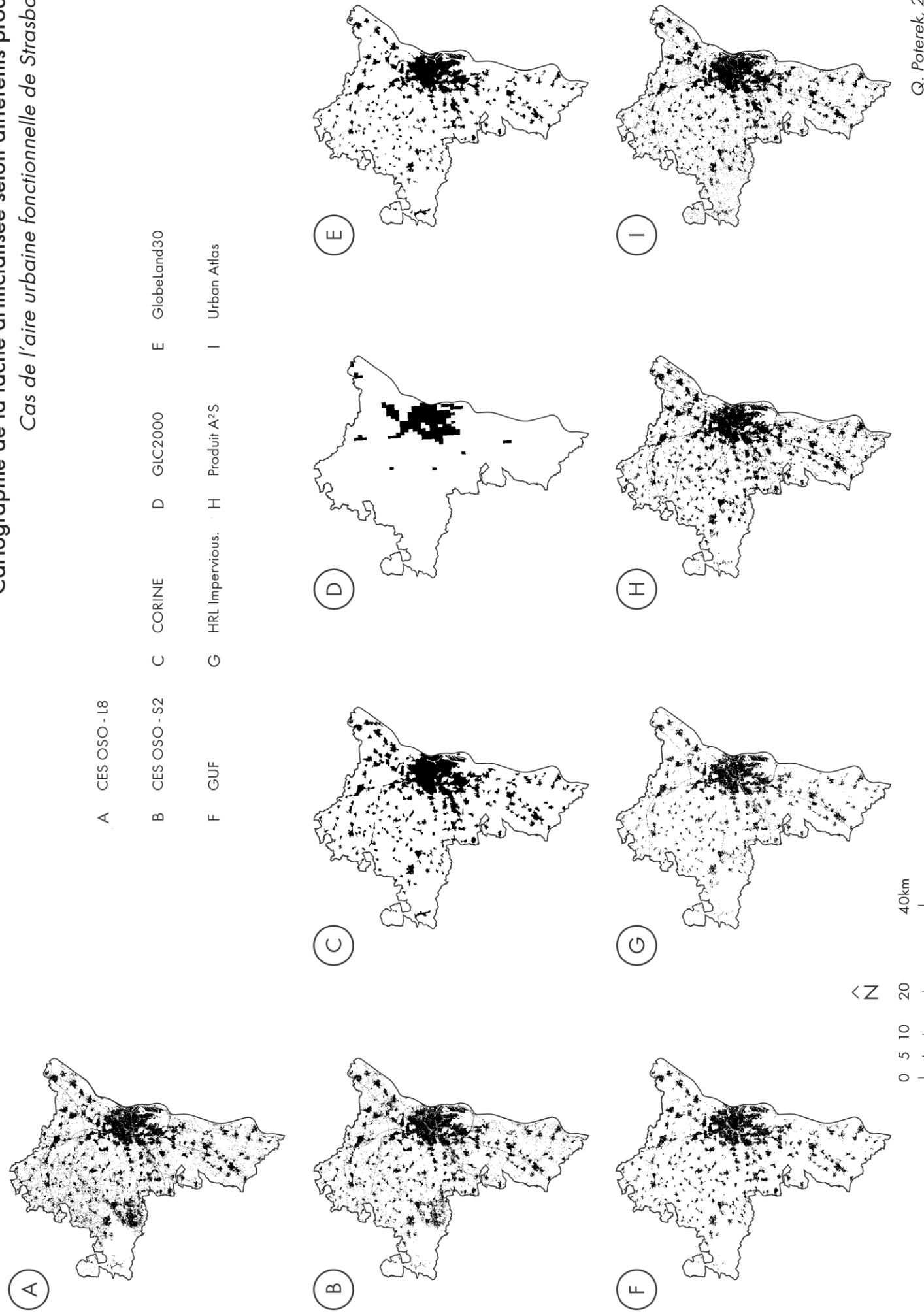
**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes**

|                |                   |                            |               |                |
|----------------|-------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| A CES OSO - 18 | B CES OSO - S2    | C CORINE                   | D GLC2000     | E GlobetLand30 |
| F GUF          | G HRL Impervious. | H Produit A <sup>2</sup> S | I Urban Atlas |                |



0 5 10 20 40Km  
N

**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg**

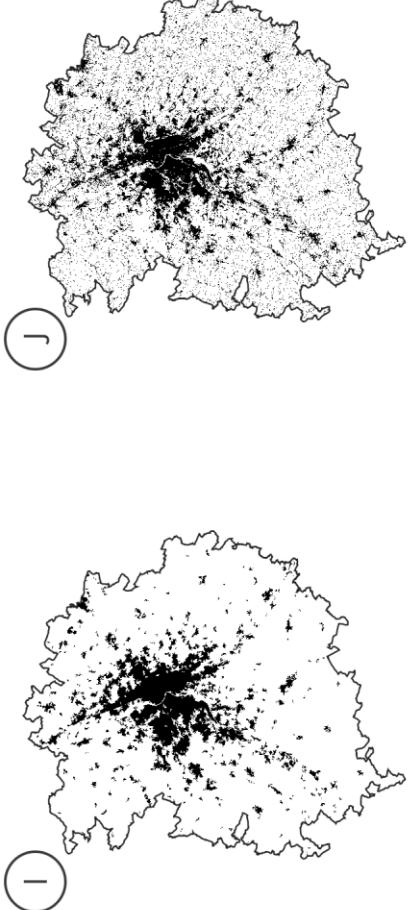
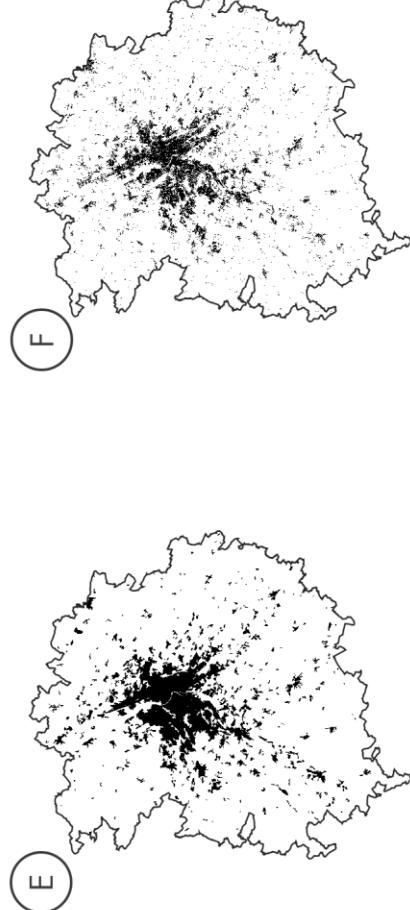
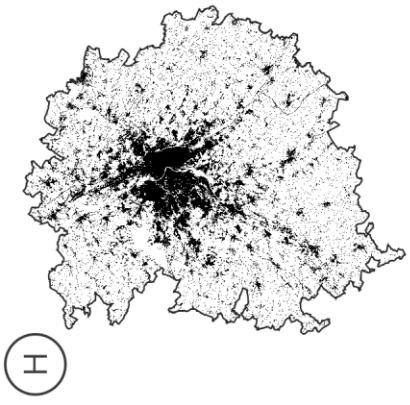
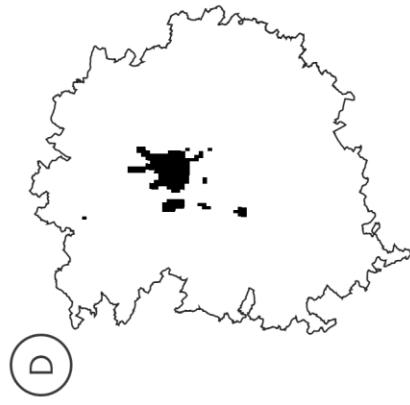
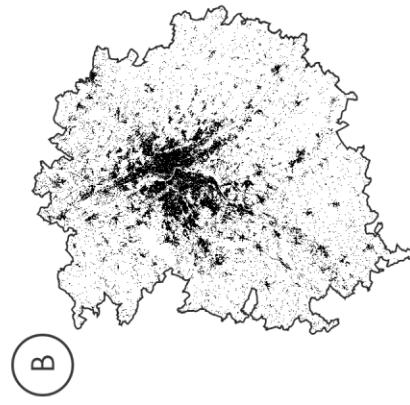
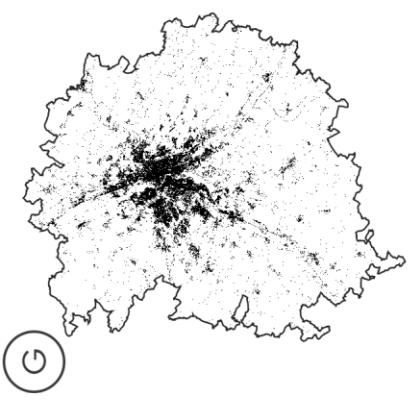
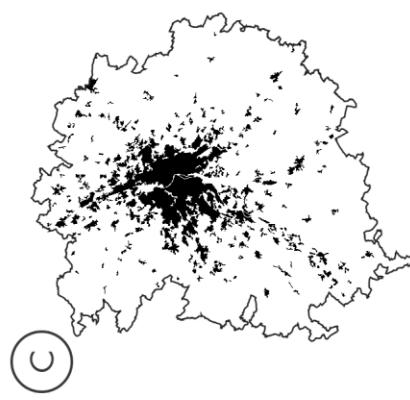
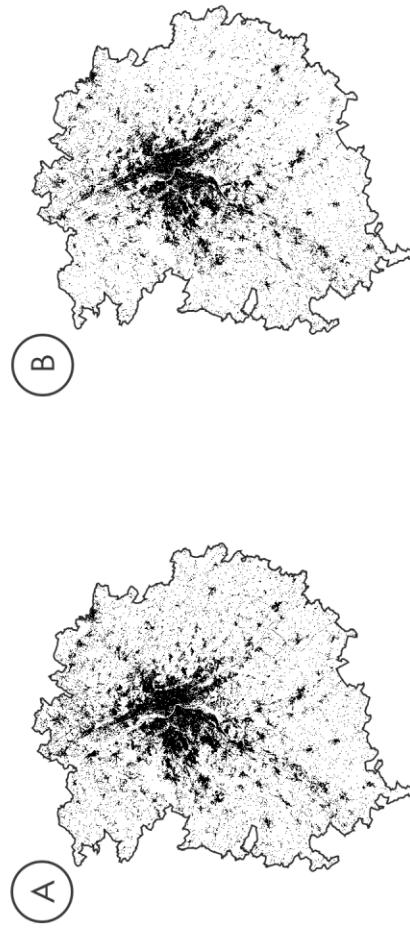


**Cartographie de la tache artificialisée selon différents produits**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse*

A CES OSO - I8      B CES OSO - S2  
C CORINE      D GLC2000  
G HRL Impervious.

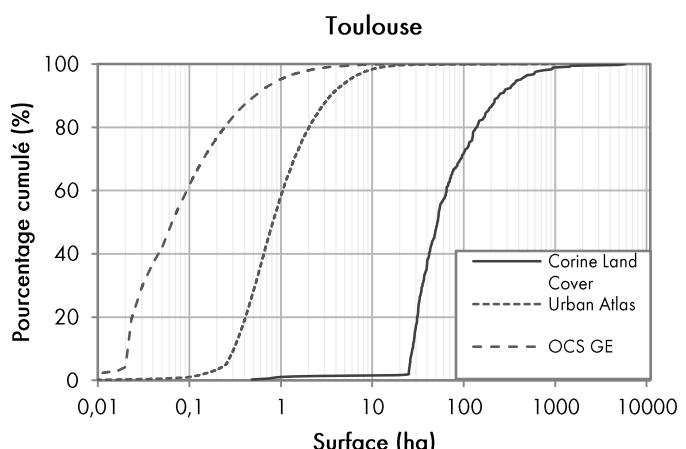
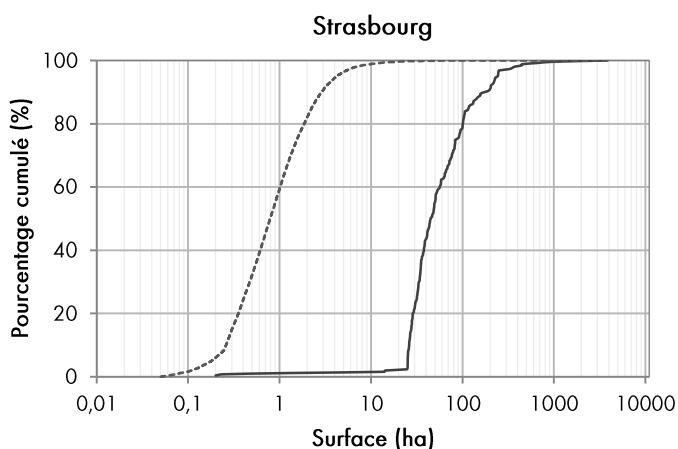
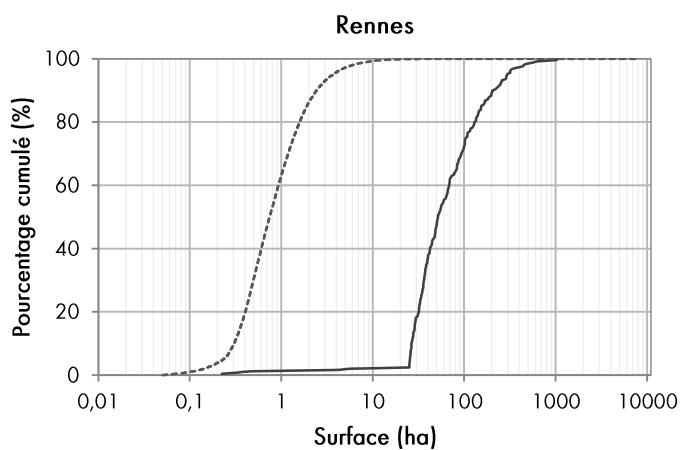
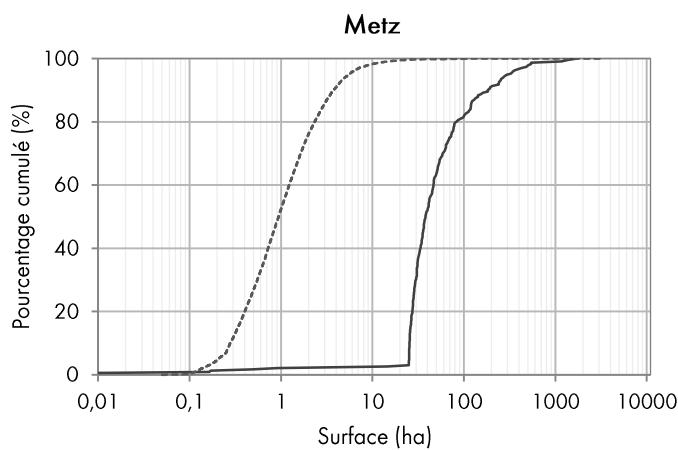
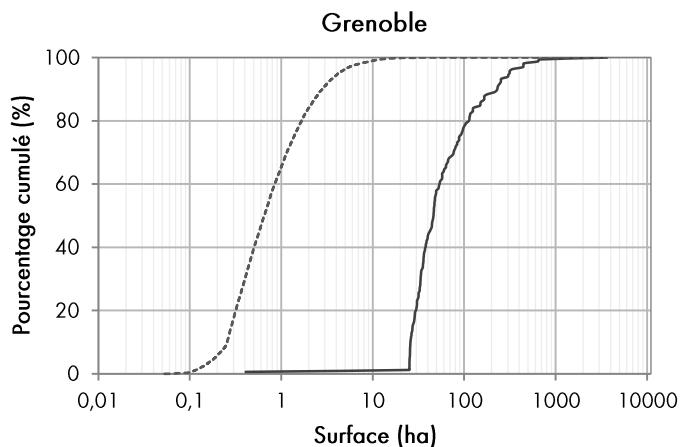
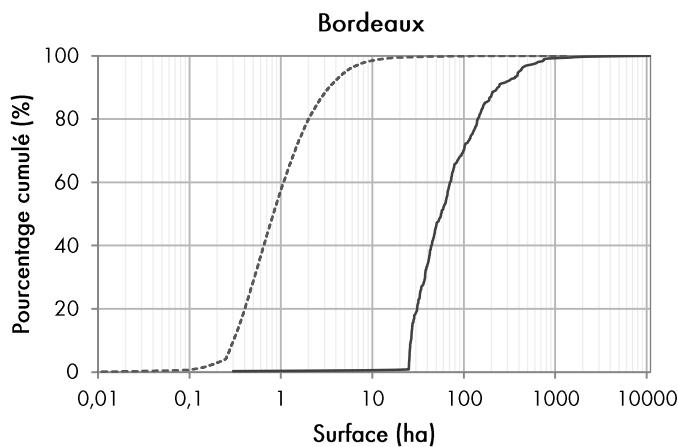
E GlobelLand30      F GUF  
H OCS GE  
I Produit A<sup>2</sup>S

J Urban Atlas

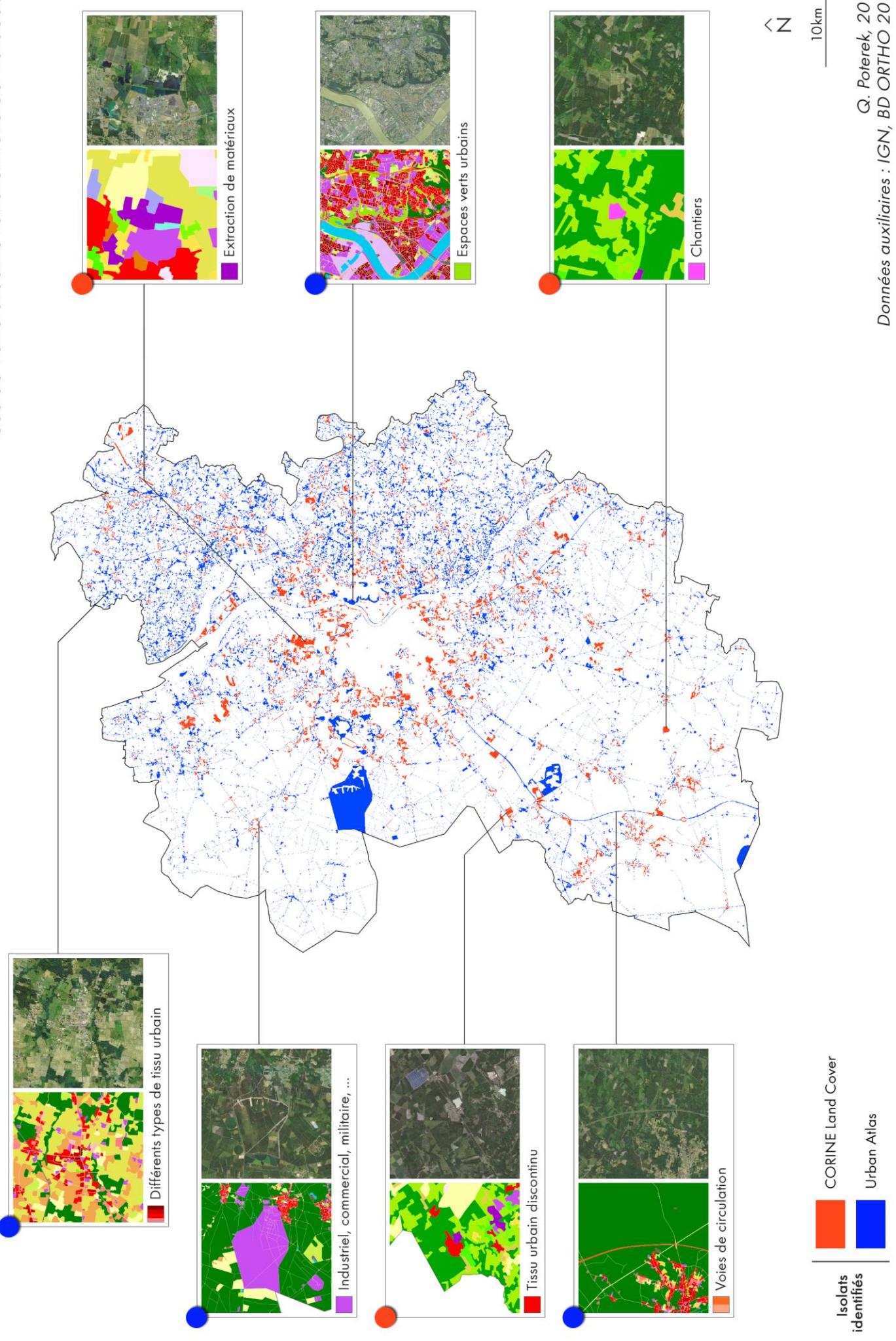


## Annexes

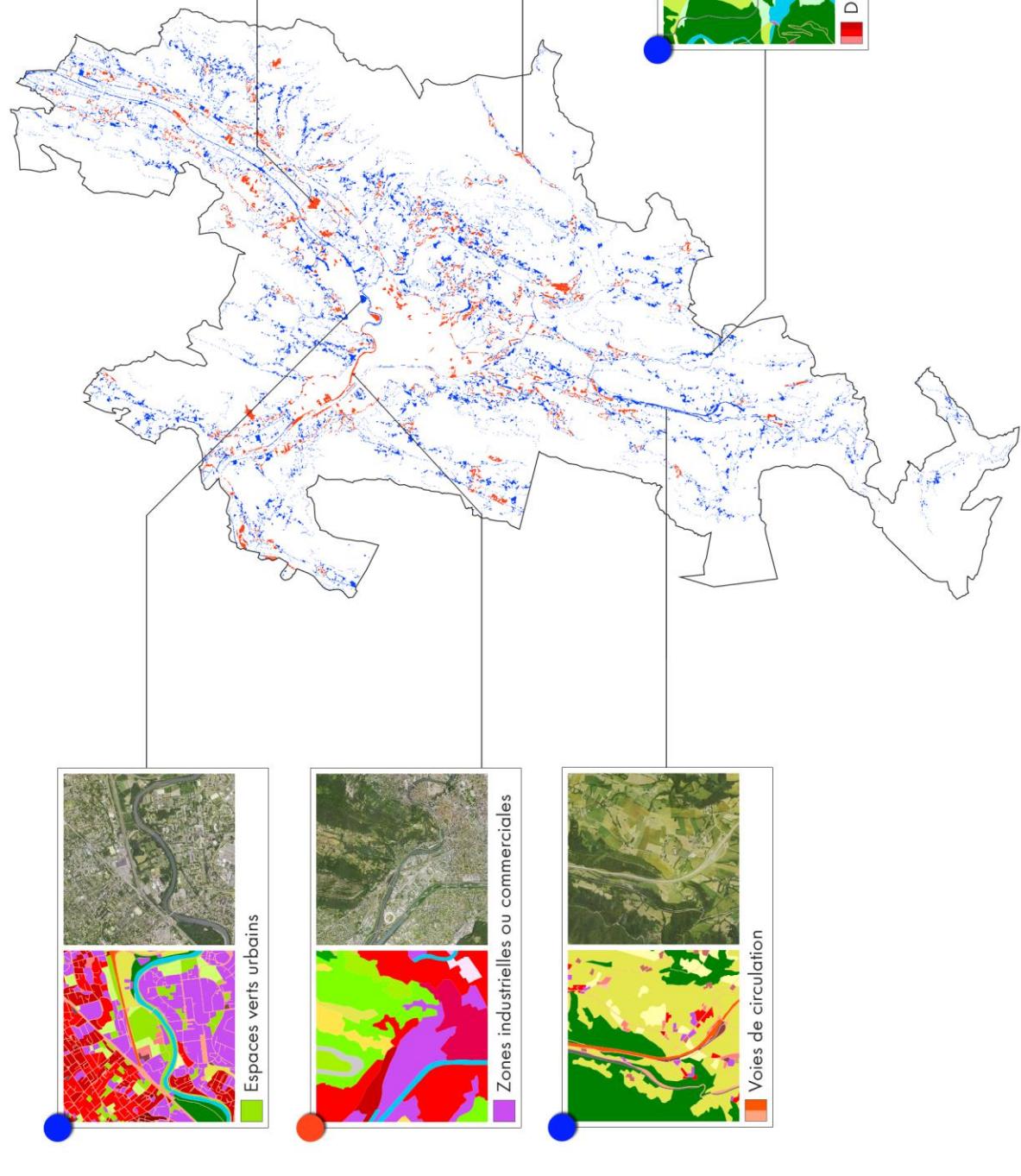
**Annexe 15 : Profils granulométriques des produits vectoriels pour chaque site (échelle logarithmique)**



## Identification des isolats sur la tâche artificialisée Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux



## Identification des isolats sur la tâche artificialisée Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble

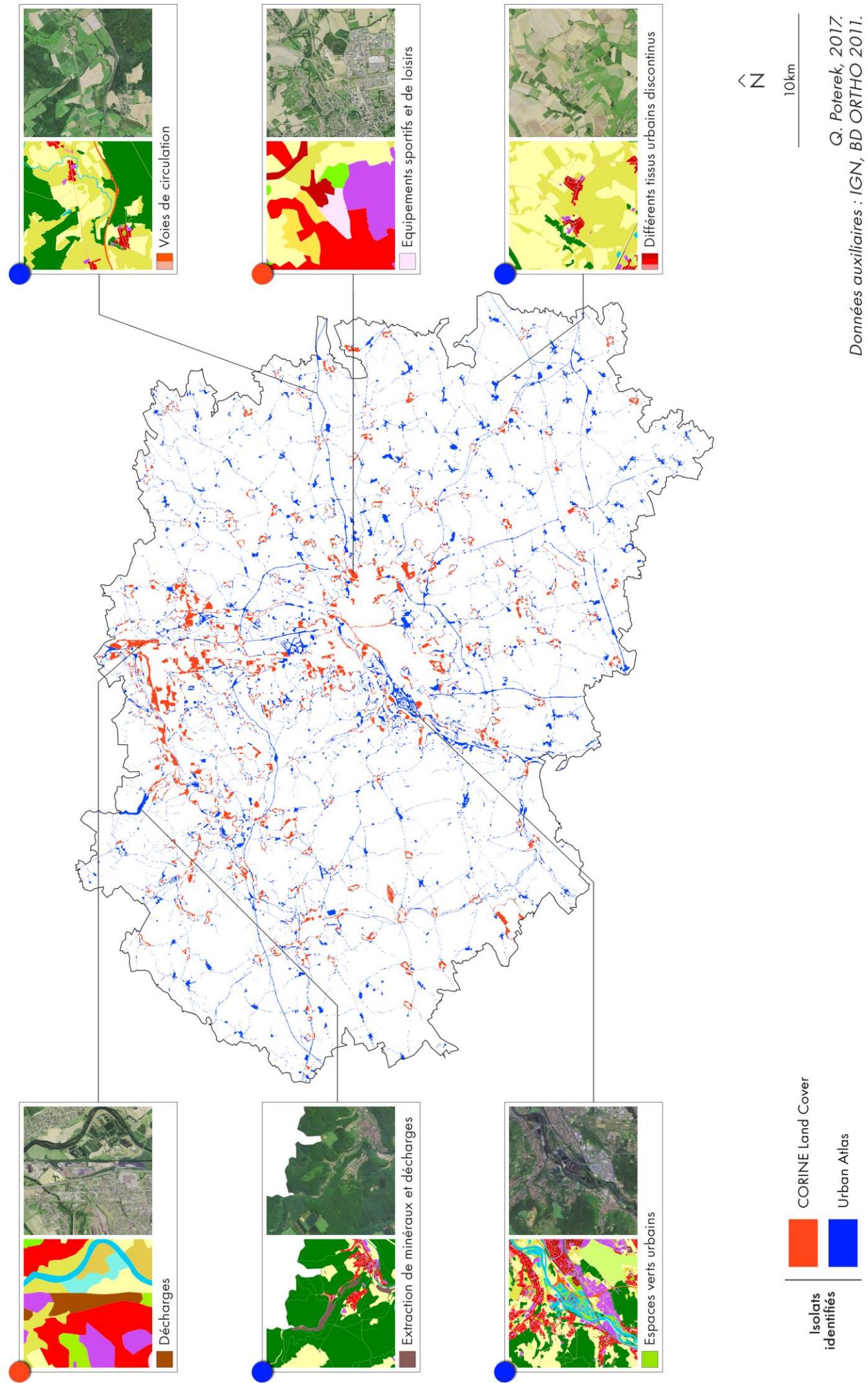


Isolats identifiés

CORINE Land Cover

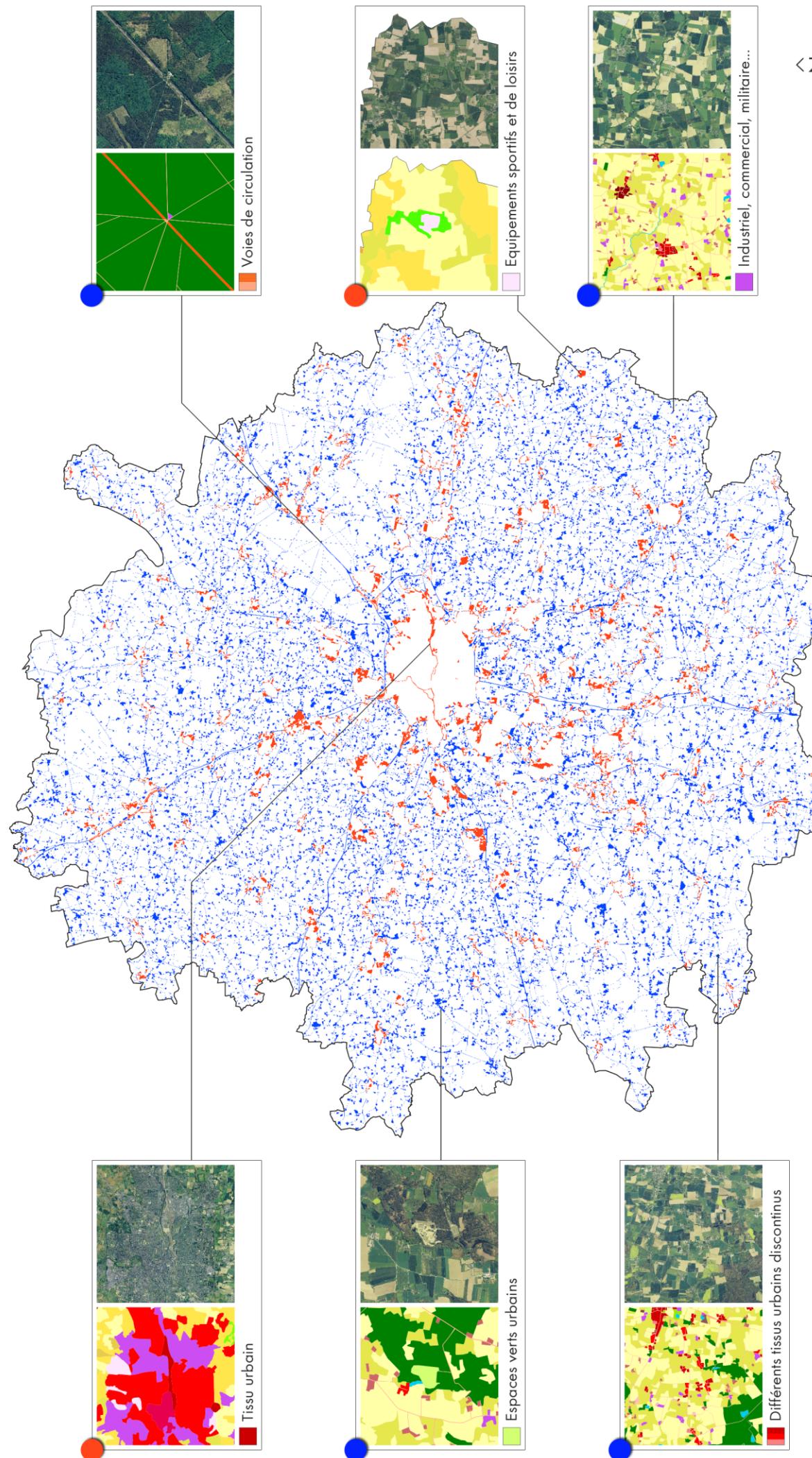
Urban Atlas

**Identification des isolats sur la tâche artificialisée  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz**



Q. Poterek, 2017  
Données auxiliaires : IGN, BD ORTHO 2011.

**Identification des isolats sur la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes*

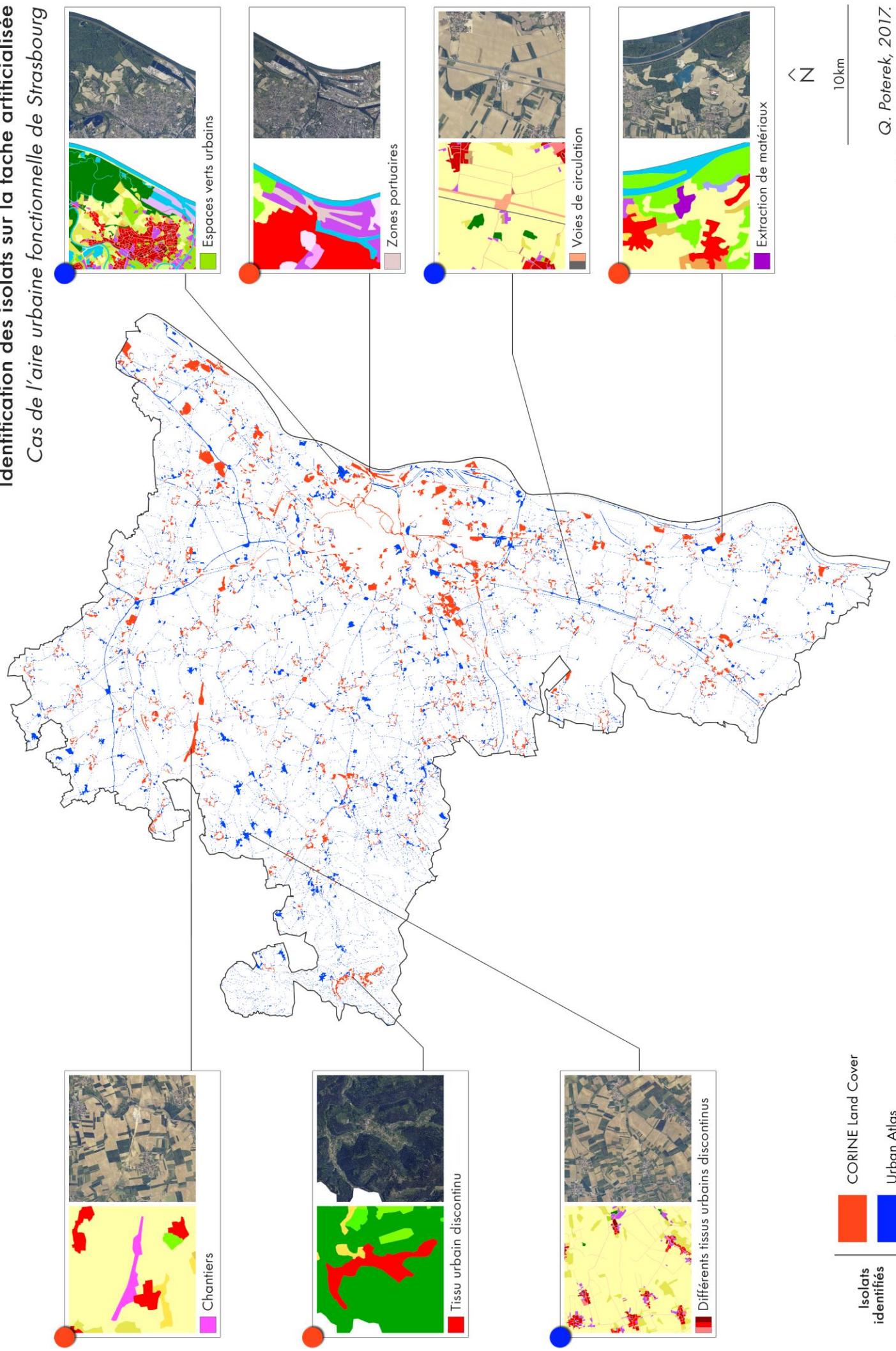


Q. Poterek, 2017  
Données auxiliaires : IGN, BD ORTHO 2011.

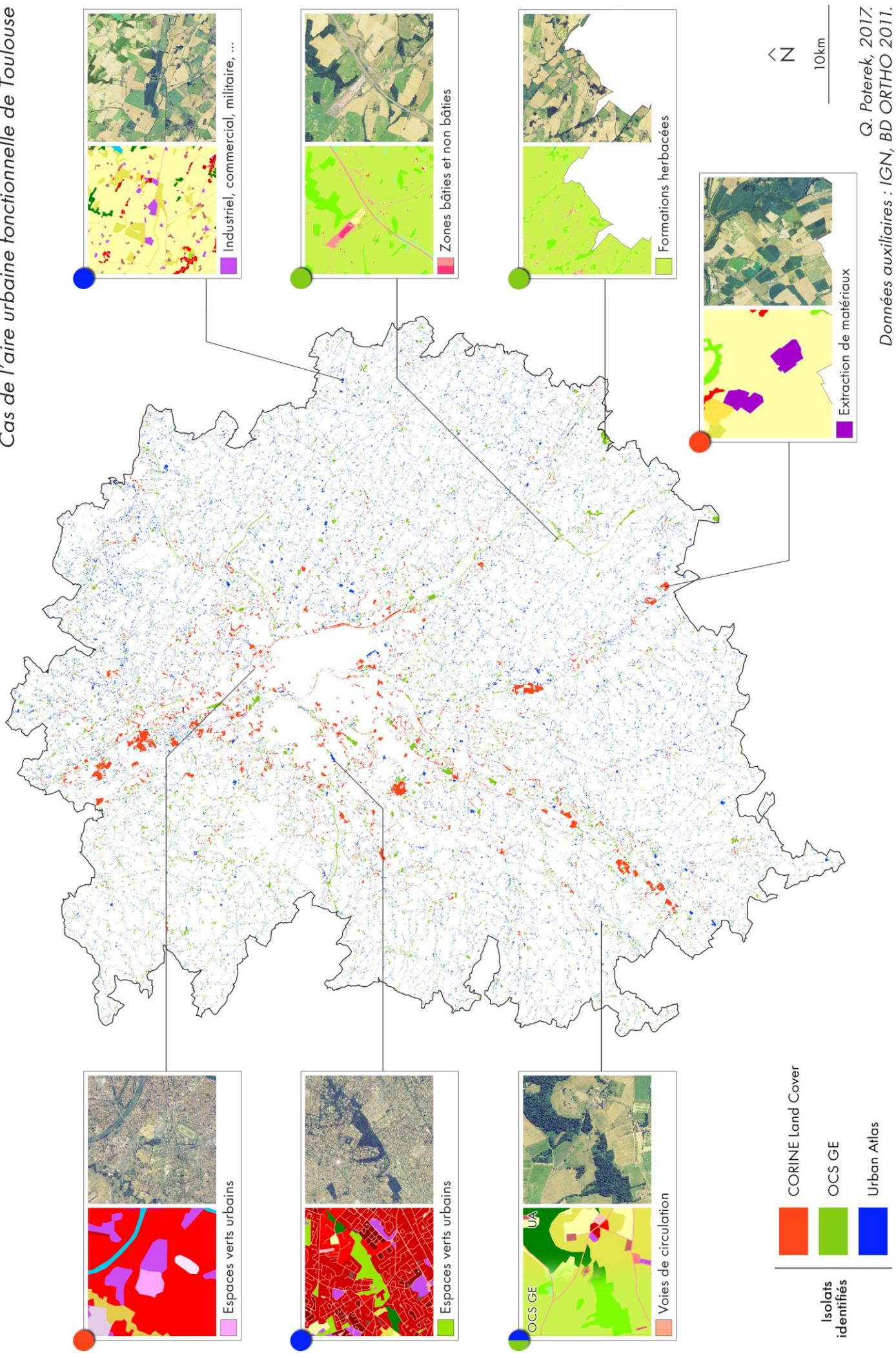


10km

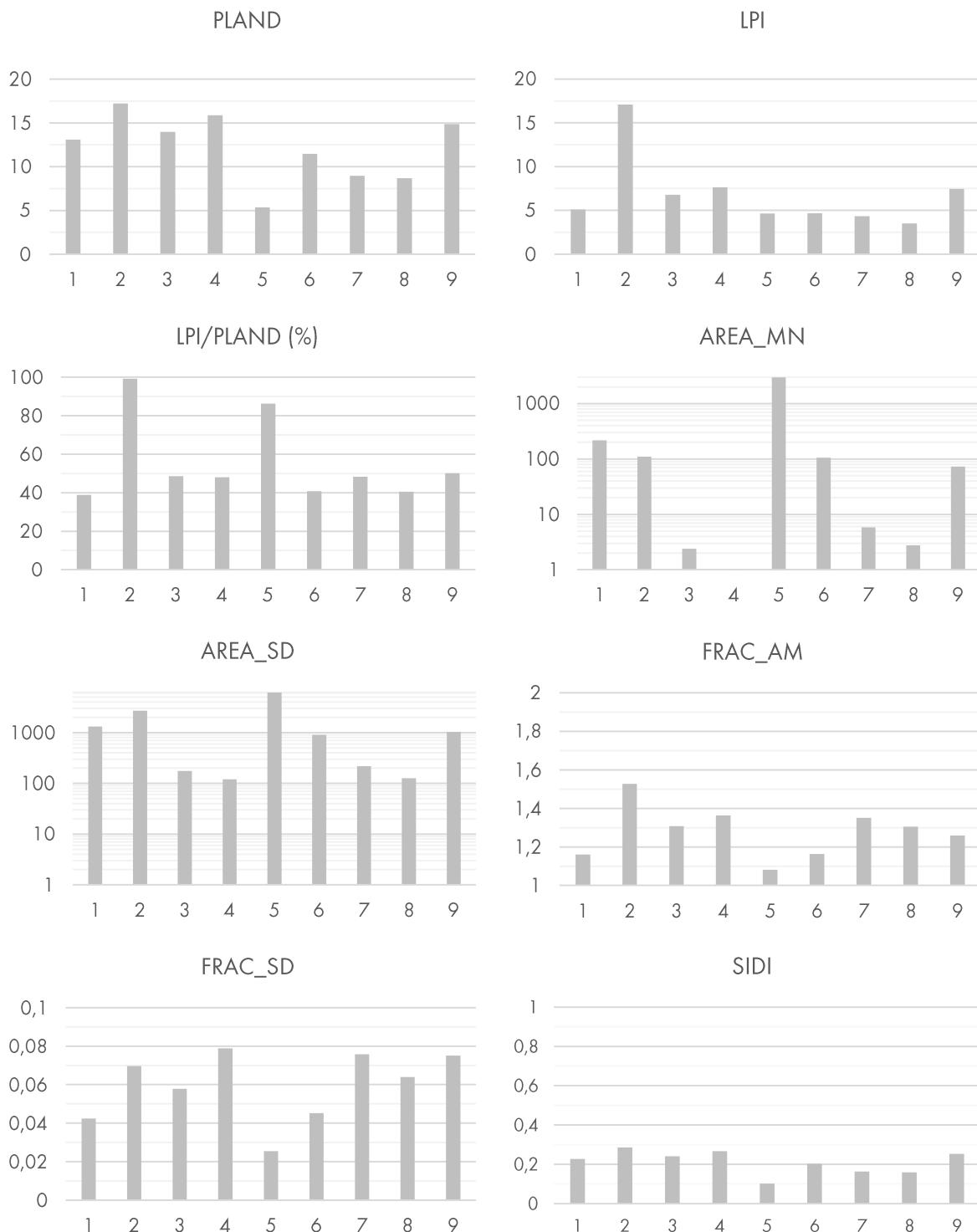
## Identification des isolats sur la tâche artificialisée Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg



## Identification des isolats sur la tâche artificialisée Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse



**Annexe 22 : Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux**



1 : CORINE Land Cover  
4 : CES OSO S2  
7 : GUF

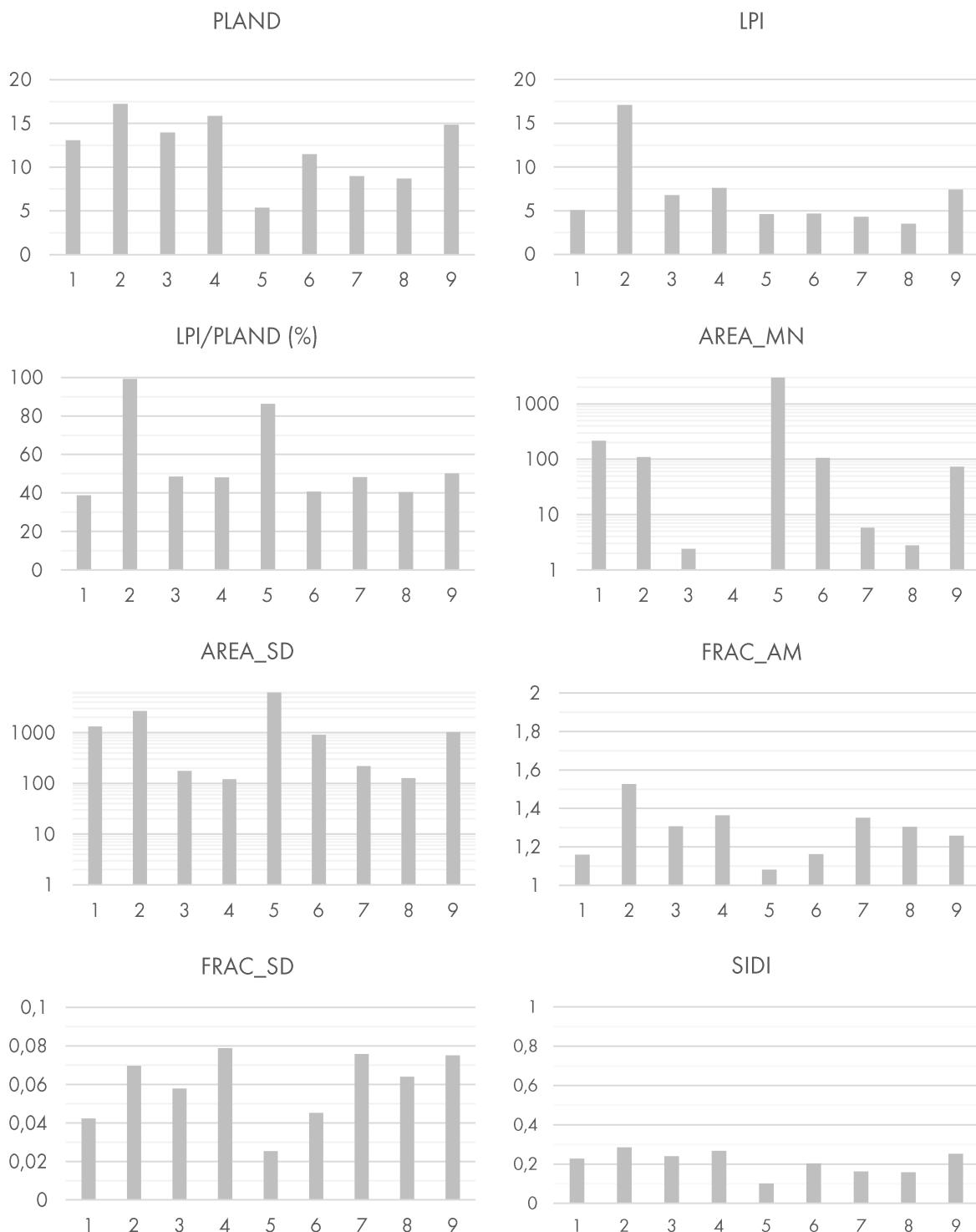
2 : Urban Atlas  
5 : GLC2000  
8 : HRL Imperviousness

3 : CES OSO L8  
6 : GlobeLand30  
9 : Produit A<sup>2</sup>S

## Annexes

---

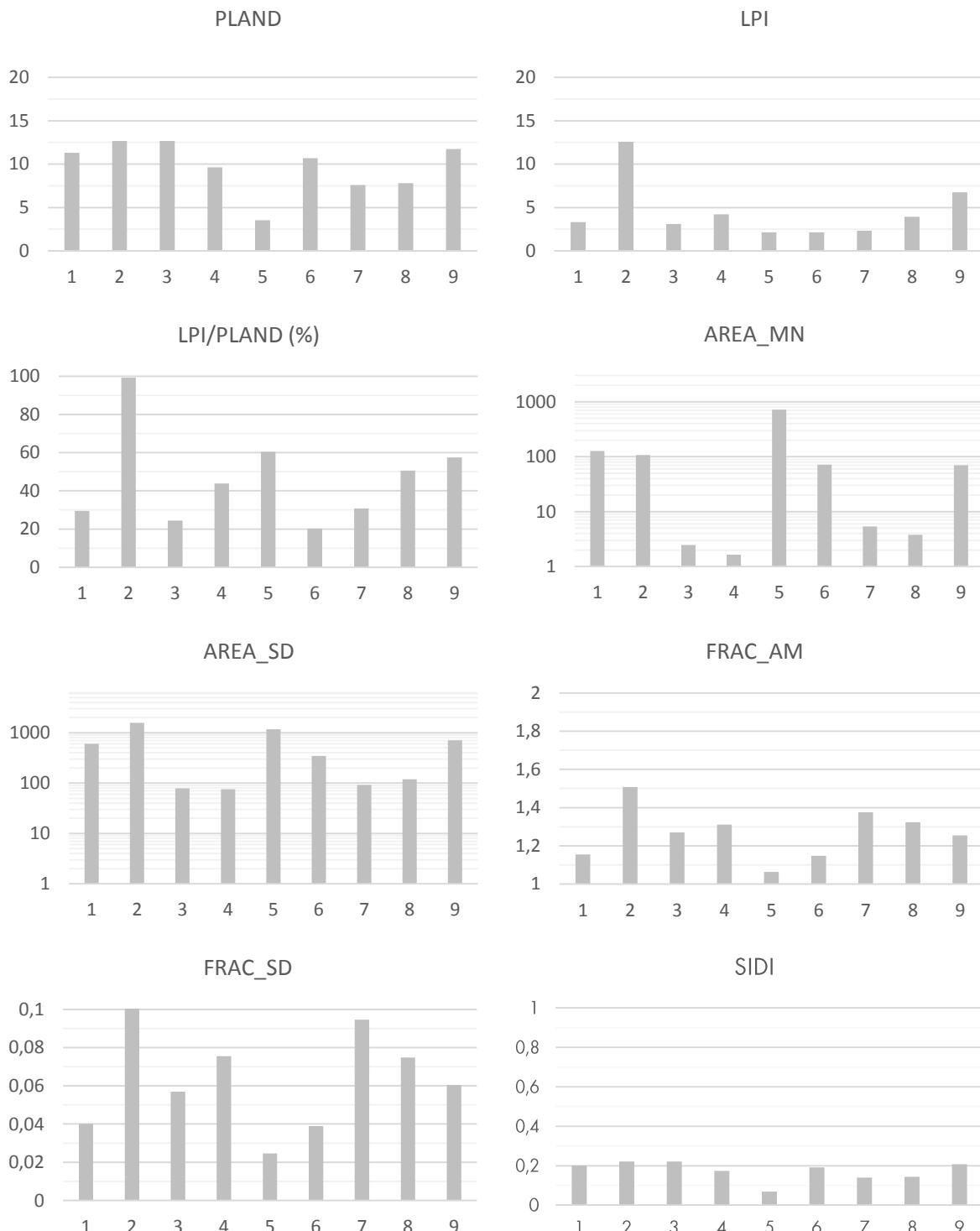
**Annexe 23 :** Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble



1 : CORINE Land Cover  
4 : CES OSO S2  
7 : GUF

2 : Urban Atlas  
5 : GLC2000  
8 : HRL Imperviousness

3 : CES OSO L8  
6 : GlobeLand30  
9 : Produit A<sup>2</sup>S

**Annexe 24 : Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Metz**

1 : CORINE Land Cover  
4 : CES OSO S2  
7 : GUF

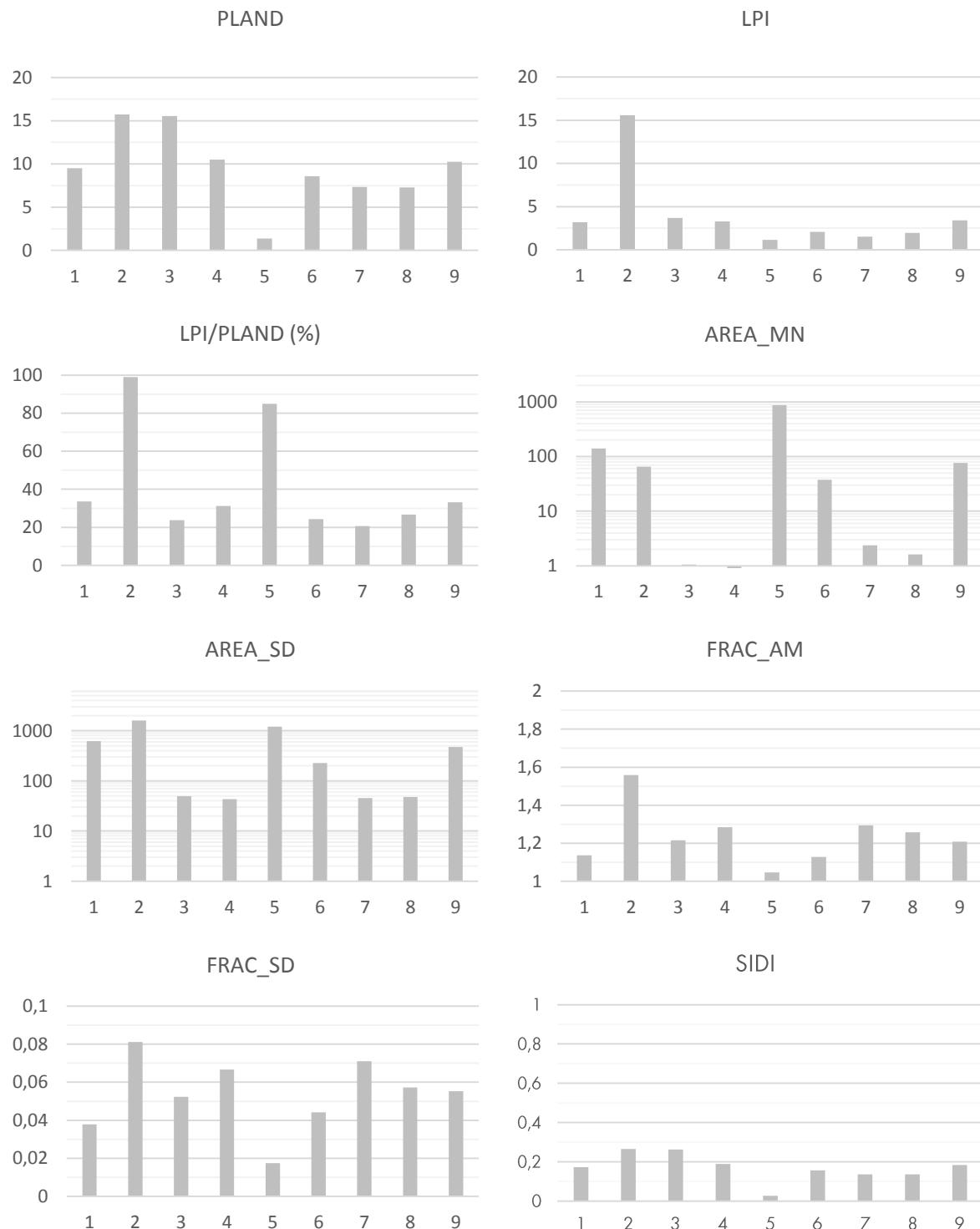
2 : Urban Atlas  
5 : GLC2000  
8 : HRL Imperviousness

3 : CES OSO L8  
6 : GlobeLand30  
9 : Produit A<sup>2</sup>S

## Annexes

---

### Annexe 25 : Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes

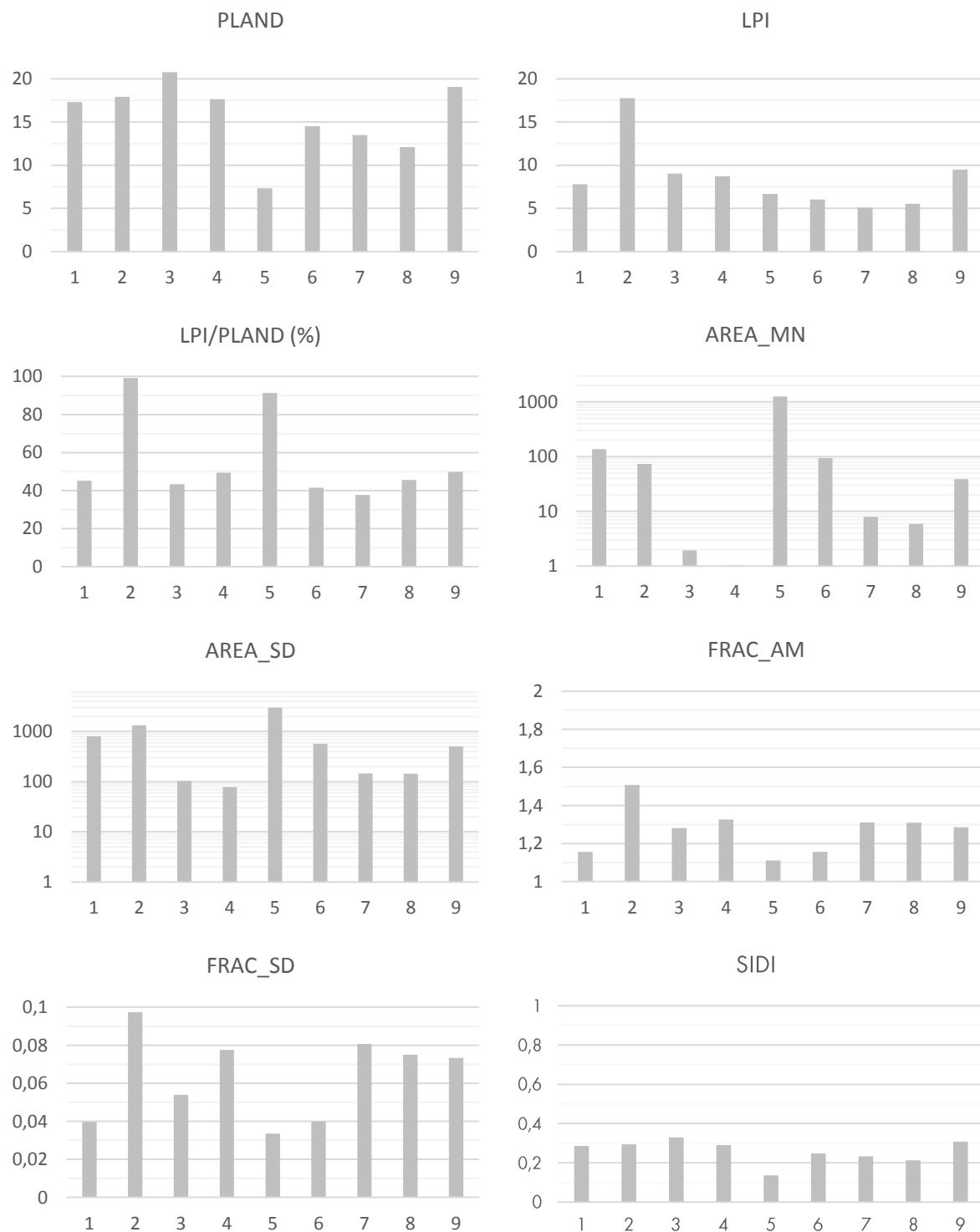


1 : CORINE Land Cover  
4 : CES OSO S2  
7 : GUF

2 : Urban Atlas  
5 : GLC2000  
8 : HRL Imperviousness

3 : CES OSO L8  
6 : GlobeLand30  
9 : Produit A<sup>2</sup>S

**Annexe 26 : Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg**



1 : CORINE Land Cover  
4 : CES OSO S2  
7 : GUF

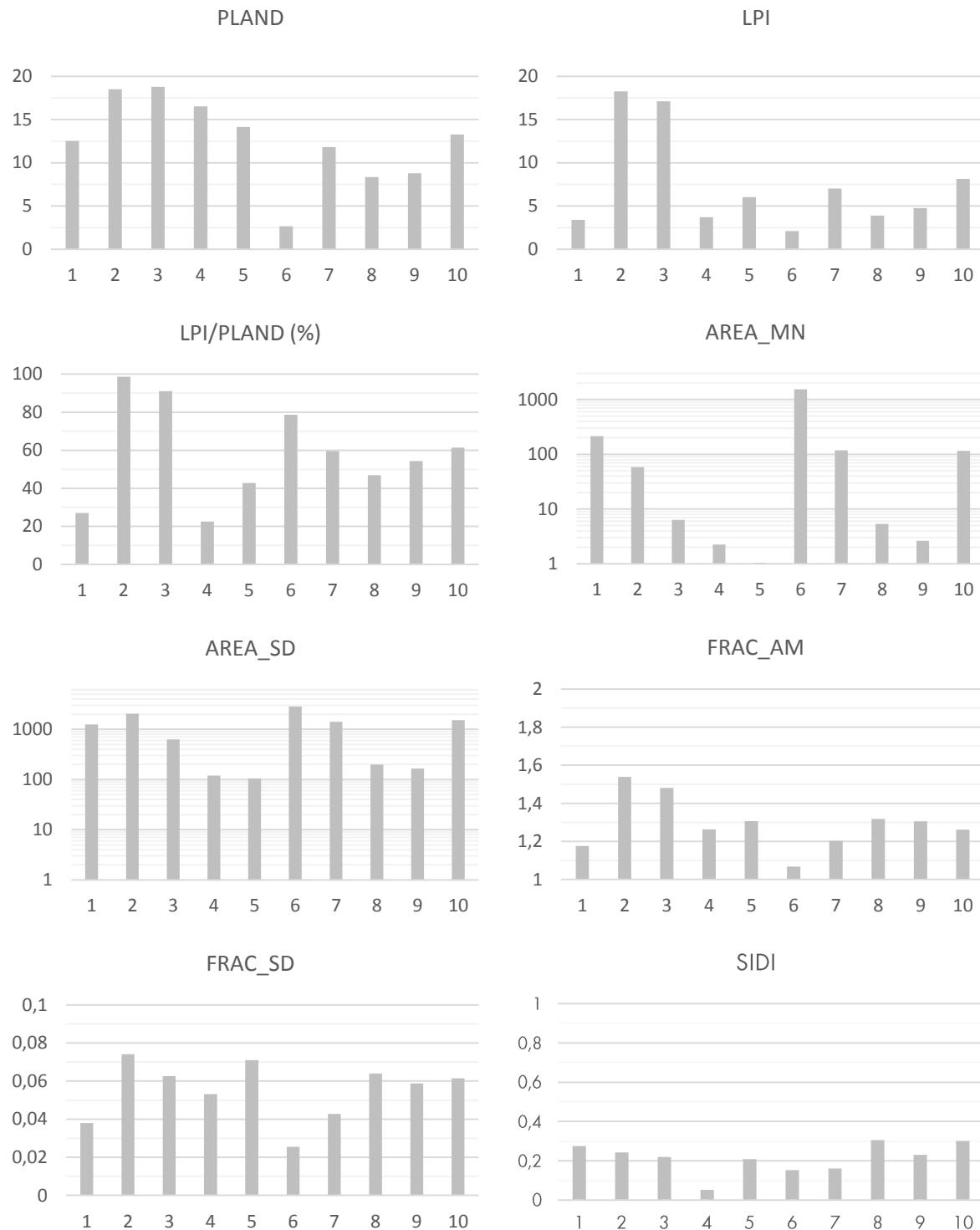
2 : Urban Atlas  
5 : GLC2000  
8 : HRL Imperviousness

3 : CES OSO L8  
6 : GlobeLand30  
9 : Produit A<sup>2</sup>S

## Annexes

---

**Annexe 27 :** Métriques spatiales de classe et de paysage pour l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse



1 : CORINE Land Cover

4 : CES OSO L8

7 : GlobeLand30

10 : Produit A<sup>2</sup>S

2 : OCS GE

5 : CES OSO S2

8 : GUF

3 : Urban Atlas

6 : GLC2000

9 : HRL – Imperviousness

**Annexe 28 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Bordeaux**

Pour ces matrices synthétiques, les produits évalués sont en ligne, et les produits de référence en colonne.

Les diagonales des 2 premières matrices expriment respectivement pour chaque produit évalué la moyenne de sa précision globale, et la moyenne de sa mesure F.

*Noms utilisés : A2S (Produit A<sup>2</sup>S), OSO L8 (Produit CES OSO L8), OSO S2 (Produit CES OSO S2), CLC (CORINE Land Cover), GL30 (GlobeLand30), GLC (GLC2000), GUF (Global Urban Footprint), HRL (High Resolution Layers « Imperviousness »), OCS GE (OCS GE), UA (Urban Atlas).*

| Précision glob. (%)   | VECTEUR |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|-----------------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                       | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                   | 90,7    | 90,7 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    |         | 90,7 |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |         |      | 88,6   | 80,6   | 90,7 | 88,1 | 91,8 | 90,8 | 89,3             |
| <b>OSO S2</b>         |         |      |        | 88,2   | 89,8 | 86,6 | 91,6 | 90,9 | 89,7             |
| <b>GL30</b>           |         |      |        |        | 91,8 | 91,6 | 93,6 | 93,1 | 91,8             |
| <b>GLC</b>            |         |      |        |        |      | 90   | 92,6 | 92,7 | 88,5             |
| <b>GUF</b>            |         |      |        |        |      |      | 92,7 | 95,1 | 91,5             |
| <b>HRL</b>            |         |      |        |        |      |      |      | 92,3 | 91,1             |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |         |      |        |        |      |      |      |      | 90,3             |
| Mesure F              | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                   | 0,69    | 0,69 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    |         | 0,69 |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |         |      | 0,59   | 0,65   | 0,64 | 0,39 | 0,64 | 0,59 | 0,63             |
| <b>OSO S2</b>         |         |      |        | 0,6    | 0,63 | 0,37 | 0,66 | 0,63 | 0,66             |
| <b>GL30</b>           |         |      |        |        | 0,63 | 0,5  | 0,67 | 0,66 | 0,69             |
| <b>GLC</b>            |         |      |        |        |      | 0,42 | 0,49 | 0,48 | 0,31             |
| <b>GUF</b>            |         |      |        |        |      |      | 0,64 | 0,72 | 0,65             |
| <b>HRL</b>            |         |      |        |        |      |      |      | 0,62 | 0,62             |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |         |      |        |        |      |      |      |      | 0,59             |
| Précision prod.       | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                   | 1       | 0,61 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    | 0,8     | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |         |      | 1      | 0,61   | 0,71 | 0,69 | 0,82 | 0,77 | 0,61             |
| <b>OSO S2</b>         |         |      | 0,7    | 1      | 0,75 | 0,74 | 0,92 | 0,89 | 0,69             |
| <b>GL30</b>           |         |      | 0,58   | 0,54   | 1    | 0,79 | 0,74 | 0,76 | 0,61             |
| <b>GLC</b>            |         |      | 0,27   | 0,25   | 0,37 | 1    | 0,39 | 0,39 | 0,19             |
| <b>GUF</b>            |         |      | 0,53   | 0,52   | 0,61 | 0,65 | 1    | 0,73 | 0,52             |
| <b>HRL</b>            |         |      | 0,48   | 0,49   | 0,58 | 0,63 | 0,71 | 1    | 0,49             |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |         |      | 0,65   | 0,64   | 0,79 | 0,82 | 0,86 | 0,84 | 1                |
| Précision util.       | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                   | 1       | 0,8  |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    | 0,61    | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |         |      | 1      | 0,7    | 0,58 | 0,27 | 0,53 | 0,48 | 0,65             |
| <b>OSO S2</b>         |         |      | 0,61   | 1      | 0,54 | 0,25 | 0,52 | 0,49 | 0,64             |
| <b>GL30</b>           |         |      | 0,71   | 0,75   | 1    | 0,37 | 0,61 | 0,58 | 0,79             |
| <b>GLC</b>            |         |      | 0,69   | 0,74   | 0,79 | 1    | 0,65 | 0,63 | 0,82             |
| <b>GUF</b>            |         |      | 0,82   | 0,92   | 0,74 | 0,39 | 1    | 0,71 | 0,86             |
| <b>HRL</b>            |         |      | 0,77   | 0,89   | 0,76 | 0,39 | 0,73 | 1    | 0,84             |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |         |      | 0,61   | 0,69   | 0,61 | 0,19 | 0,52 | 0,49 | 1                |

## Annexes

---

**Annexe 29 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Grenoble**

| Précision glob. (%) | VECTEUR |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|---------------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                     | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 93,9    | 93,9 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  | 93,9    |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |      | 93,6   | 95,8   | 95,3 | 90,1 | 93,9 | 94,1 | 92,1             |
| OSO S2              |         |      |        | 94     | 94,2 | 91,1 | 95,1 | 95,2 | 92,8             |
| GL30                |         |      |        |        | 93,4 | 92,2 | 94,9 | 94,6 | 89,2             |
| GLC                 |         |      |        |        |      | 92,4 | 94,4 | 93,9 | 92,5             |
| GUF                 |         |      |        |        |      |      | 94,6 | 96,6 | 92,4             |
| HRL                 |         |      |        |        |      |      |      | 94,5 | 92,5             |
| A <sup>2</sup> S    |         |      |        |        |      |      |      |      | 91,9             |

| Mesure F         | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 0,75 | 0,75 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,75 |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 0,66   | 0,82   | 0,72 | 0,37 | 0,69 | 0,7  | 0,69             |
| OSO S2           |      |      |        | 0,68   | 0,73 | 0,38 | 0,72 | 0,75 | 0,7              |
| GL30             |      |      |        |        | 0,67 | 0,44 | 0,71 | 0,7  | 0,73             |
| GLC              |      |      |        |        |      | 0,42 | 0,46 | 0,44 | 0,46             |
| GUF              |      |      |        |        |      |      | 0,66 | 0,76 | 0,63             |
| HRL              |      |      |        |        |      |      |      | 0,67 | 0,64             |
| A <sup>2</sup> S |      |      |        |        |      |      |      |      | 0,64             |

| Précision prod.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,68 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,84 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,86   | 0,78 | 0,83 | 0,94 | 0,92 | 0,66             |
| OSO S2           |      |      | 0,78   | 1      | 0,75 | 0,81 | 0,94 | 0,92 | 0,64             |
| GL30             |      |      | 0,66   | 0,71   | 1    | 0,87 | 0,88 | 0,83 | 0,63             |
| GLC              |      |      | 0,24   | 0,25   | 0,29 | 1    | 0,34 | 0,32 | 0,33             |
| GUF              |      |      | 0,54   | 0,59   | 0,59 | 0,69 | 1    | 0,73 | 0,48             |
| HRL              |      |      | 0,57   | 0,63   | 0,61 | 0,71 | 0,79 | 1    | 0,5              |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,72   | 0,78   | 0,86 | 0,78 | 0,91 | 0,88 | 1                |

| Précision util.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,84 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,68 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,78   | 0,66 | 0,24 | 0,54 | 0,57 | 0,72             |
| OSO S2           |      |      | 0,86   | 1      | 0,71 | 0,25 | 0,59 | 0,63 | 0,78             |
| GL30             |      |      | 0,78   | 0,75   | 1    | 0,29 | 0,59 | 0,61 | 0,86             |
| GLC              |      |      | 0,83   | 0,81   | 0,87 | 1    | 0,69 | 0,71 | 0,78             |
| GUF              |      |      | 0,94   | 0,94   | 0,88 | 0,34 | 1    | 0,79 | 0,91             |
| HRL              |      |      | 0,92   | 0,92   | 0,83 | 0,32 | 0,73 | 1    | 0,88             |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,66   | 0,64   | 0,63 | 0,33 | 0,48 | 0,5  | 1                |

**Annexe 30 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Metz**

| Précision glob. (%) | VECTEUR |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|---------------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                     | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 94,1    | 94,1 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  | 94,1    |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |      | 92,5   | 94     | 92,9 | 88,5 | 93,5 | 93,1 | 92,8             |
| OSO S2              |         |      |        | 94,2   | 93,9 | 91,2 | 95,9 | 95,9 | 94,3             |
| GL30                |         |      |        |        | 92,5 | 90,9 | 93,9 | 93,7 | 89,7             |
| GLC                 |         |      |        |        |      | 91,6 | 92,7 | 92,6 | 93,5             |
| GUF                 |         |      |        |        |      |      | 94,2 | 95,6 | 93,5             |
| HRL                 |         |      |        |        |      |      |      | 94,1 | 93,6             |
| A <sup>2</sup> S    |         |      |        |        |      |      |      |      | 92,9             |

| Mesure F         | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 0,75 | 0,75 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,75 |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 0,63   | 0,74   | 0,69 | 0,3  | 0,68 | 0,66 | 0,7              |
| OSO S2           |      |      |        | 0,67   | 0,7  | 0,34 | 0,76 | 0,76 | 0,74             |
| GL30             |      |      |        |        | 0,57 | 0,36 | 0,67 | 0,66 | 0,32             |
| GLC              |      |      |        |        |      | 0,4  | 0,34 | 0,36 | 0,71             |
| GUF              |      |      |        |        |      |      | 0,64 | 0,72 | 0,67             |
| HRL              |      |      |        |        |      |      |      | 0,64 | 0,67             |
| A <sup>2</sup> S |      |      |        |        |      |      |      |      | 0,64             |

| Précision prod.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,71 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,79 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,85   | 0,76 | 0,67 | 0,91 | 0,87 | 0,73             |
| OSO S2           |      |      | 0,65   | 1      | 0,67 | 0,62 | 0,87 | 0,85 | 0,67             |
| GL30             |      |      | 0,64   | 0,74   | 1    | 0,73 | 0,81 | 0,78 | 0,21             |
| GLC              |      |      | 0,19   | 0,23   | 0,24 | 1    | 0,25 | 0,26 | 0,68             |
| GUF              |      |      | 0,54   | 0,68   | 0,57 | 0,54 | 1    | 0,71 | 0,55             |
| HRL              |      |      | 0,53   | 0,69   | 0,57 | 0,56 | 0,73 | 1    | 0,56             |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,68   | 0,82   | 0,71 | 0,74 | 0,85 | 0,84 | 1                |

| Précision util.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,79 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,71 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,65   | 0,64 | 0,19 | 0,54 | 0,53 | 0,68             |
| OSO S2           |      |      | 0,85   | 1      | 0,74 | 0,23 | 0,68 | 0,69 | 0,82             |
| GL30             |      |      | 0,76   | 0,67   | 1    | 0,24 | 0,57 | 0,57 | 0,71             |
| GLC              |      |      | 0,67   | 0,62   | 0,73 | 1    | 0,54 | 0,56 | 0,74             |
| GUF              |      |      | 0,91   | 0,87   | 0,81 | 0,25 | 1    | 0,73 | 0,85             |
| HRL              |      |      | 0,87   | 0,85   | 0,78 | 0,26 | 0,71 | 1    | 0,84             |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,73   | 0,67   | 0,21 | 0,68 | 0,55 | 0,56 | 1                |

## Annexes

---

**Annexe 31 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Rennes**

| Précision glob. (%) | VECTEUR |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|---------------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                     | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 89,8    | 89,8 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  | 89,8    |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |      | 88,2   | 89,6   | 88,2 | 85,1 | 89,9 | 88,9 | 87,6             |
| OSO S2              |         |      |        | 92     | 92,1 | 90,2 | 94,3 | 94,4 | 91,5             |
| GL30                |         |      |        |        | 92   | 92,5 | 94,1 | 94,1 | 90,8             |
| GLC                 |         |      |        |        |      | 91,3 | 93,3 | 93,4 | 93,2             |
| GUF                 |         |      |        |        |      |      | 93,3 | 95,4 | 92,8             |
| HRL                 |         |      |        |        |      |      |      | 93,2 | 92,9             |
| A <sup>2</sup> S    |         |      |        |        |      |      |      |      | 91,5             |

| Mesure F         | CLC | UA  | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|-----|-----|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 0,6 | 0,6 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,6 |     |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |     |     | 0,47   | 0,6    | 0,51 | 0,13 | 0,56 | 0,52 | 0,52             |
| OSO S2           |     |     |        | 0,55   | 0,59 | 0,18 | 0,68 | 0,69 | 0,58             |
| GL30             |     |     |        |        | 0,47 | 0,24 | 0,63 | 0,63 | 0,21             |
| GLC              |     |     |        |        |      | 0,28 | 0,24 | 0,24 | 0,64             |
| GUF              |     |     |        |        |      |      | 0,57 | 0,69 | 0,59             |
| HRL              |     |     |        |        |      |      |      | 0,56 | 0,6              |
| A <sup>2</sup> S |     |     |        |        |      |      |      |      | 0,52             |

| Précision prod.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,48 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,79 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,74   | 0,72 | 0,75 | 0,88 | 0,81 | 0,65             |
| OSO S2           |      |      | 0,51   | 1      | 0,66 | 0,76 | 0,83 | 0,84 | 0,59             |
| GL30             |      |      | 0,39   | 0,53   | 1    | 0,91 | 0,68 | 0,69 | 0,12             |
| GLC              |      |      | 0,07   | 0,1    | 0,14 | 1    | 0,14 | 0,14 | 0,59             |
| GUF              |      |      | 0,41   | 0,58   | 0,59 | 0,75 | 1    | 0,69 | 0,51             |
| HRL              |      |      | 0,38   | 0,58   | 0,58 | 0,77 | 0,69 | 1    | 0,51             |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,43   | 0,58   | 0,91 | 0,71 | 0,71 | 0,72 | 1                |

| Précision util.  | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC              | 1    | 0,79 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA               | 0,48 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8           |      |      | 1      | 0,51   | 0,39 | 0,07 | 0,41 | 0,38 | 0,43             |
| OSO S2           |      |      | 0,74   | 1      | 0,53 | 0,1  | 0,58 | 0,58 | 0,58             |
| GL30             |      |      | 0,72   | 0,66   | 1    | 0,14 | 0,59 | 0,58 | 0,91             |
| GLC              |      |      | 0,75   | 0,76   | 0,91 | 1    | 0,75 | 0,77 | 0,71             |
| GUF              |      |      | 0,88   | 0,83   | 0,68 | 0,14 | 1    | 0,69 | 0,71             |
| HRL              |      |      | 0,81   | 0,84   | 0,69 | 0,14 | 0,69 | 1    | 0,72             |
| A <sup>2</sup> S |      |      | 0,65   | 0,59   | 0,12 | 0,59 | 0,51 | 0,51 | 1                |

**Annexe 32 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Strasbourg**

| Précision glob. (%)   | VECTEUR |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|-----------------------|---------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                       | CLC     | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                   | 92,8    | 92,8 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    | 92,8    |      |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |         | 88,7 | 91,7   | 89,1   | 81,5 | 90,8 | 89,6 | 89,3 |                  |
| <b>OSO S2</b>         |         |      | 90,9   | 91,2   | 84,5 | 93,8 | 92,8 | 91,5 |                  |
| <b>GL30</b>           |         |      |        | 89,8   | 88,3 | 93,5 | 93,1 | 83,8 |                  |
| <b>GLC</b>            |         |      |        |        | 87,0 | 87,9 | 89,1 | 90,9 |                  |
| <b>GUF</b>            |         |      |        |        |      | 92,1 | 95   | 91,8 |                  |
| <b>HRL</b>            |         |      |        |        |      |      | 91,8 | 91,1 |                  |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |         |      |        |        |      |      |      | 89,7 |                  |

| Mesure F              | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|-----------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC                   | 0,79 | 0,79 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    |      | 0,79 |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |      | 0,66 | 0,79   | 0,69   | 0,34 | 0,74 | 0,68 | 0,74 |                  |
| <b>OSO S2</b>         |      |      | 0,7    | 0,73   | 0,38 | 0,8  | 0,76 | 0,77 |                  |
| <b>GL30</b>           |      |      |        | 0,63   | 0,46 | 0,77 | 0,74 | 0,39 |                  |
| <b>GLC</b>            |      |      |        |        | 0,46 | 0,42 | 0,44 | 0,73 |                  |
| <b>GUF</b>            |      |      |        |        |      | 0,71 | 0,8  | 0,75 |                  |
| <b>HRL</b>            |      |      |        |        |      |      | 0,69 | 0,71 |                  |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |      |      |        |        |      |      |      | 0,68 |                  |

| Précision prod.       | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|-----------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC                   | 1    | 0,78 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    | 0,81 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |      | 1    | 0,86   | 0,84   | 0,66 | 0,93 | 0,93 | 0,77 |                  |
| <b>OSO S2</b>         |      | 0,73 | 1      | 0,81   | 0,65 | 0,92 | 0,93 | 0,74 |                  |
| <b>GL30</b>           |      | 0,59 | 0,66   | 1      | 0,69 | 0,8  | 0,82 | 0,27 |                  |
| <b>GLC</b>            |      | 0,23 | 0,27   | 0,35   | 1    | 0,32 | 0,35 | 0,64 |                  |
| <b>GUF</b>            |      | 0,61 | 0,71   | 0,74   | 0,6  | 1    | 0,85 | 0,64 |                  |
| <b>HRL</b>            |      | 0,54 | 0,64   | 0,68   | 0,58 | 0,76 | 1    | 0,58 |                  |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |      | 0,71 | 0,8    | 0,69   | 0,84 | 0,91 | 0,92 | 1    |                  |

| Précision util.       | CLC  | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
|-----------------------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
| CLC                   | 1    | 0,81 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                    | 0,78 | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| <b>OSO L8</b>         |      | 1    | 0,73   | 0,59   | 0,23 | 0,61 | 0,54 | 0,71 |                  |
| <b>OSO S2</b>         |      | 0,86 | 1      | 0,66   | 0,27 | 0,71 | 0,64 | 0,8  |                  |
| <b>GL30</b>           |      | 0,84 | 0,81   | 1      | 0,35 | 0,74 | 0,68 | 0,69 |                  |
| <b>GLC</b>            |      | 0,66 | 0,65   | 0,69   | 1    | 0,6  | 0,58 | 0,84 |                  |
| <b>GUF</b>            |      | 0,93 | 0,92   | 0,8    | 0,32 | 1    | 0,76 | 0,91 |                  |
| <b>HRL</b>            |      | 0,93 | 0,93   | 0,82   | 0,35 | 0,85 | 1    | 0,92 |                  |
| <b>A<sup>2</sup>S</b> |      | 0,77 | 0,74   | 0,27   | 0,64 | 0,64 | 0,58 | 1    |                  |

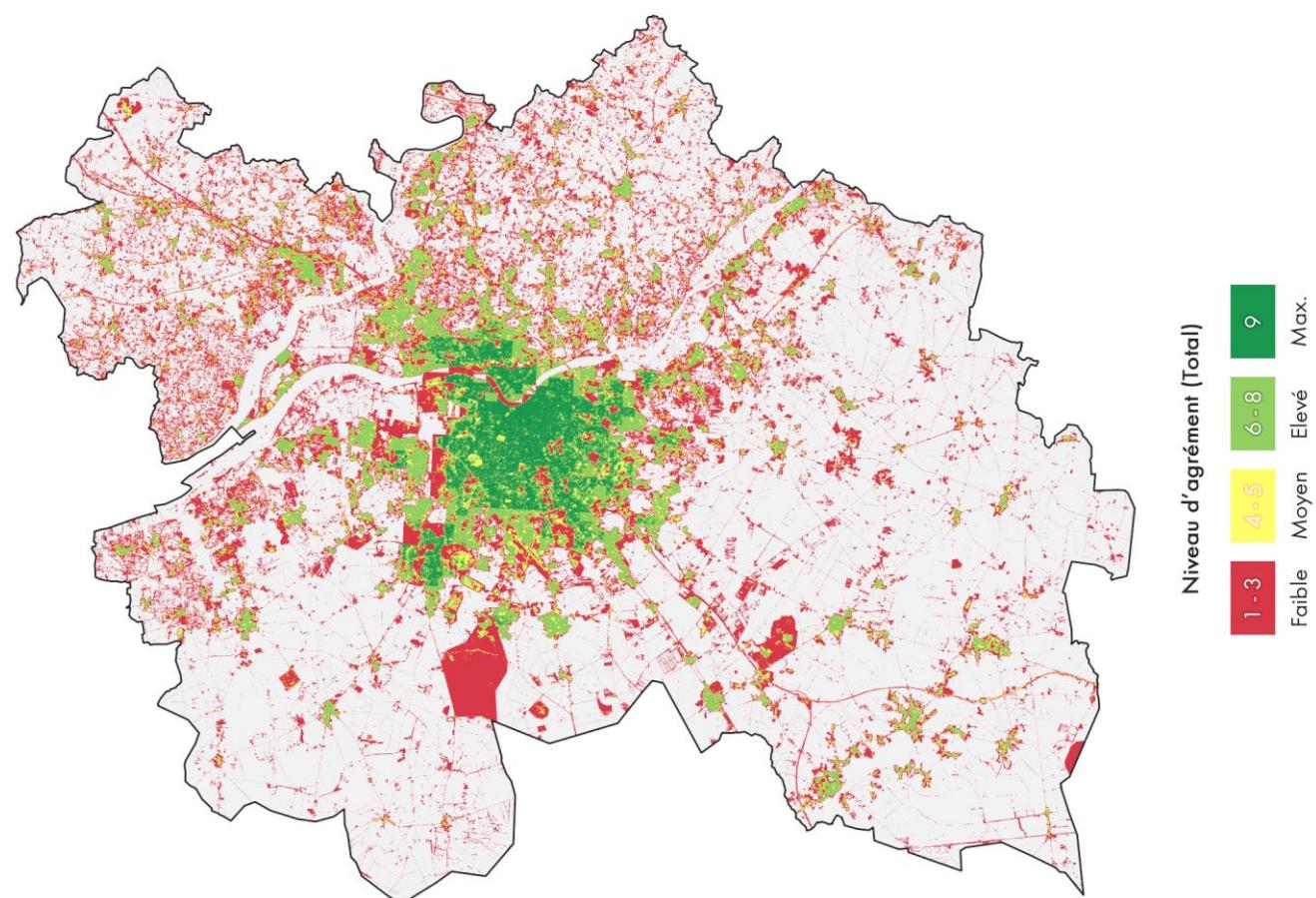
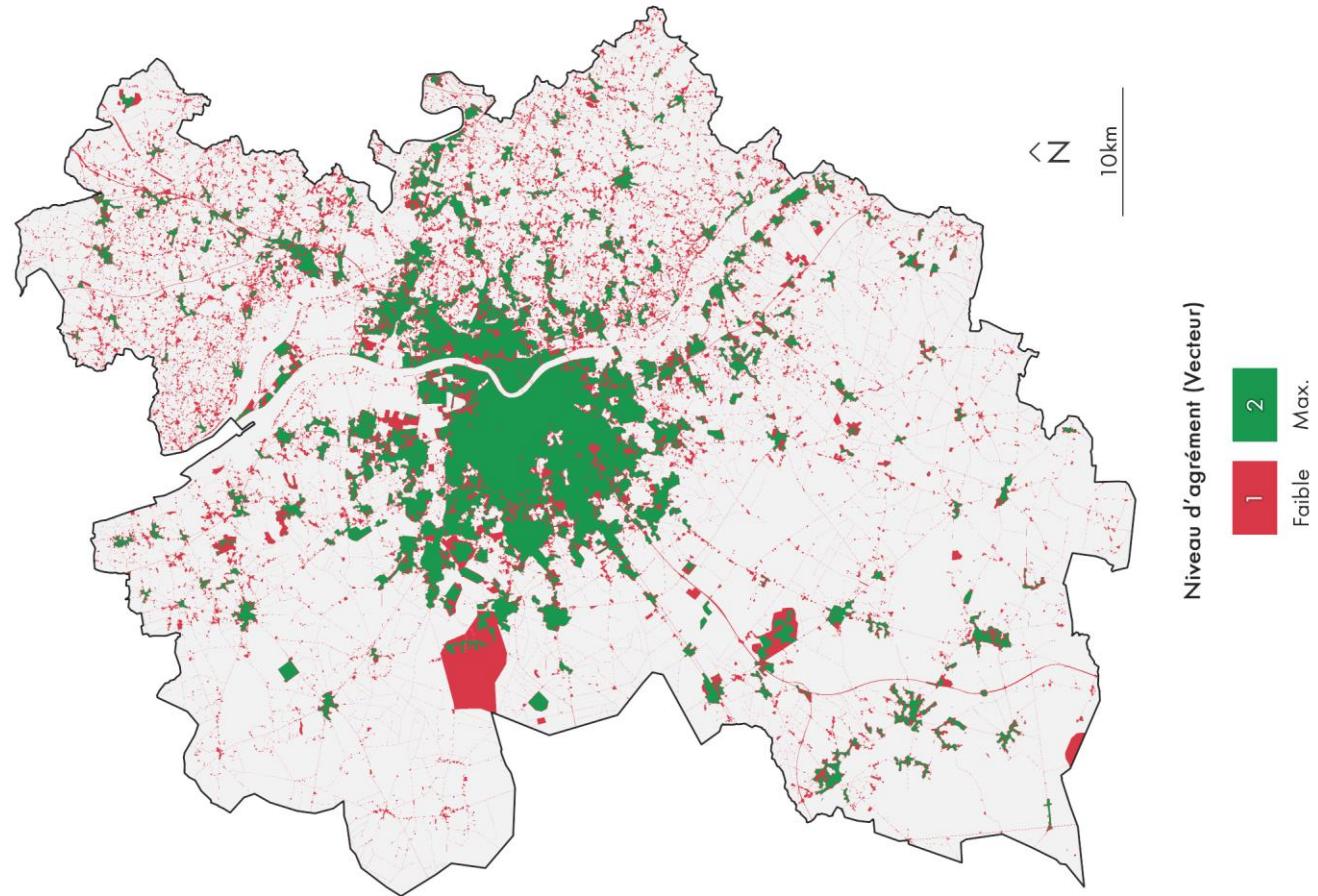
## Annexes

---

### Annexe 33 : Indicateurs statistiques mesurés sur les matrices de confusion pour Toulouse

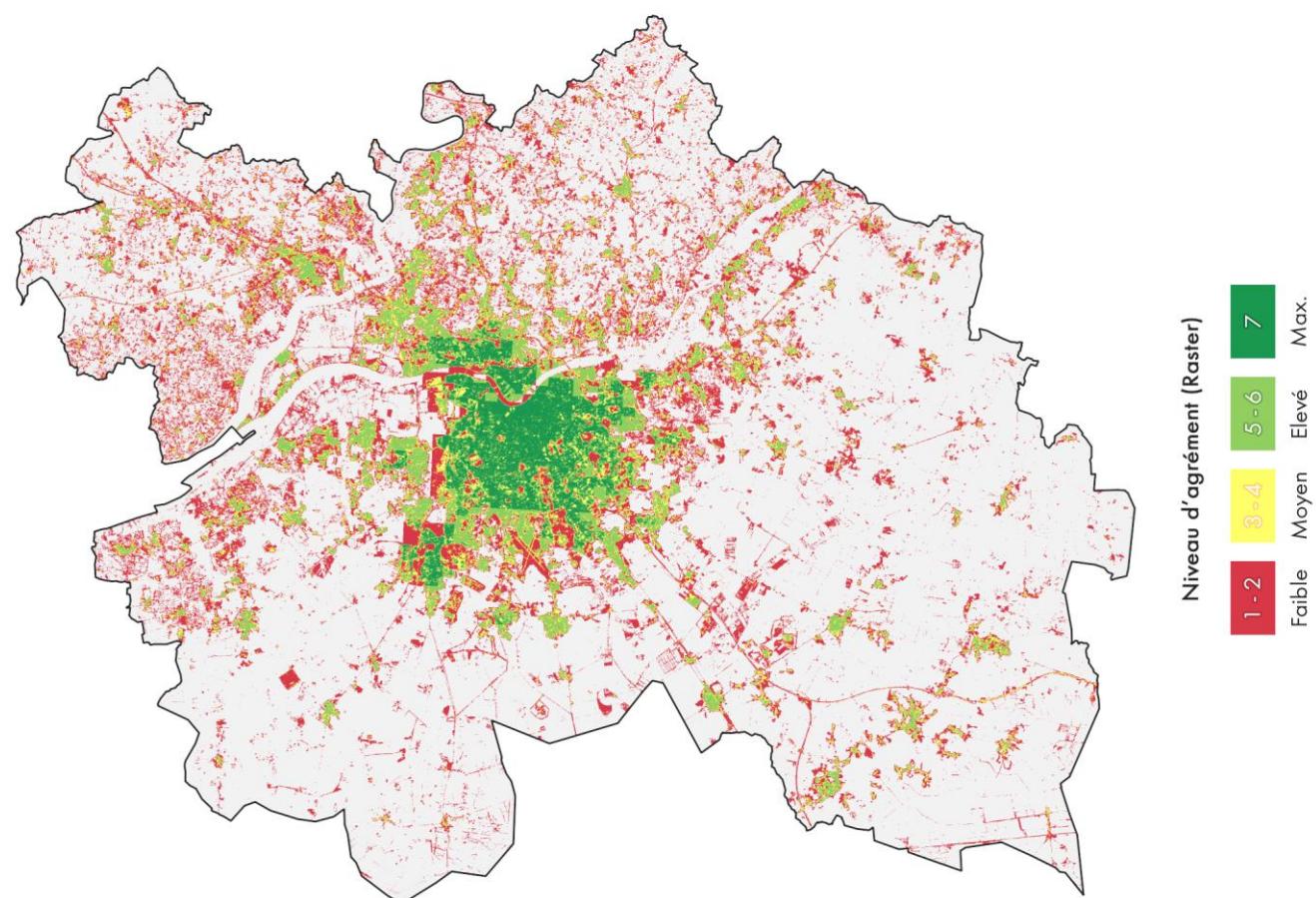
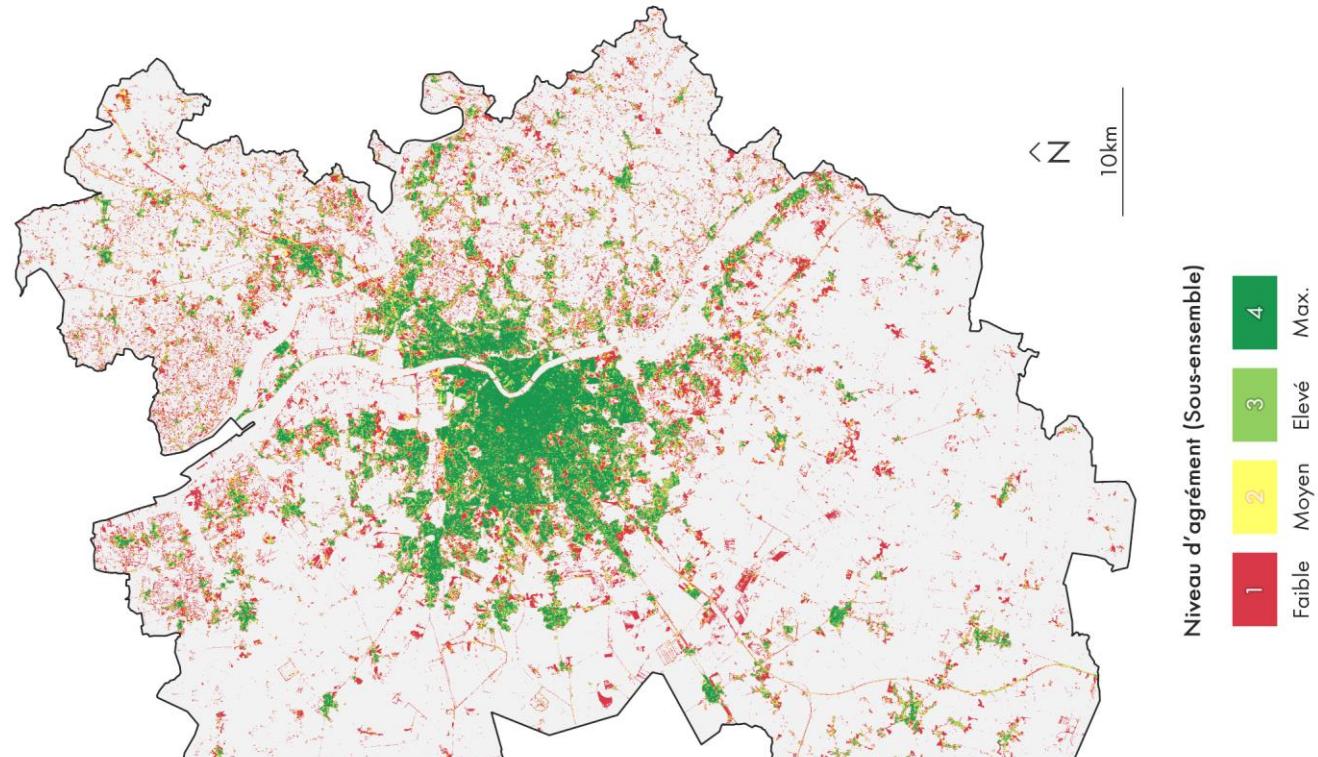
| Précision glob. (%) | VECTEUR |        |      | RASTER |        |      |      |      |      |                  |
|---------------------|---------|--------|------|--------|--------|------|------|------|------|------------------|
|                     | CLC     | OCS GE | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 89,75   | 89,9   | 89,6 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OCS GE              |         | 91,75  | 93,6 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  |         |        | 91,6 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |        |      | 89,1   | 90,3   | 90,5 | 85,4 | 90,1 | 89,1 | 89,1             |
| OSO S2              |         |        |      |        | 90,8   | 91,7 | 87,5 | 92,9 | 92,2 | 90,4             |
| GL30                |         |        |      |        |        | 92,1 | 90,4 | 93,5 | 93,3 | 93,1             |
| GLC                 |         |        |      |        |        |      | 89,6 | 92,8 | 92,6 | 88,9             |
| GUF                 |         |        |      |        |        |      |      | 92,7 | 94,7 | 91,9             |
| HRL                 |         |        |      |        |        |      |      |      | 92,3 | 91,7             |
| A <sup>2</sup> S    |         |        |      |        |        |      |      |      |      | 90,9             |
| Mes. F              | CLC     | OCS GE | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 0,67    | 0,68   | 0,67 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OCS GE              |         | 0,75   | 0,82 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  |         |        | 0,75 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |        |      | 0,57   | 0,69   | 0,67 | 0,24 | 0,6  | 0,57 | 0,63             |
| OSO S2              |         |        |      |        | 0,6    | 0,68 | 0,25 | 0,68 | 0,66 | 0,65             |
| GL30                |         |        |      |        |        | 0,63 | 0,34 | 0,68 | 0,68 | 0,73             |
| GLC                 |         |        |      |        |        |      | 0,31 | 0,35 | 0,35 | 0,31             |
| GUF                 |         |        |      |        |        |      |      | 0,6  | 0,69 | 0,63             |
| HRL                 |         |        |      |        |        |      |      |      | 0,6  | 0,62             |
| A <sup>2</sup> S    |         |        |      |        |        |      |      |      |      | 0,6              |
| Précision prod.     | CLC     | OCS GE | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 1       | 0,57   | 0,56 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OCS GE              | 0,85    | 1      | 0,83 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  | 0,82    | 0,82   | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |        |      | 1      | 0,74   | 0,8  | 0,86 | 0,9  | 0,82 | 0,71             |
| OSO S2              |         |        |      | 0,64   | 1      | 0,75 | 0,81 | 0,92 | 0,86 | 0,67             |
| GL30                |         |        |      | 0,57   | 0,62   | 1    | 0,92 | 0,82 | 0,79 | 0,69             |
| GLC                 |         |        |      | 0,14   | 0,15   | 0,21 | 1    | 0,23 | 0,23 | 0,19             |
| GUF                 |         |        |      | 0,45   | 0,54   | 0,58 | 0,72 | 1    | 0,67 | 0,51             |
| HRL                 |         |        |      | 0,44   | 0,53   | 0,59 | 0,77 | 0,71 | 1    | 0,52             |
| A <sup>2</sup> S    |         |        |      | 0,57   | 0,63   | 0,77 | 0,92 | 0,81 | 0,78 | 1                |
| Précision util.     | CLC     | OCS GE | UA   | OSO L8 | OSO S2 | GL30 | GLC  | GUF  | HRL  | A <sup>2</sup> S |
| CLC                 | 1       | 0,85   | 0,82 |        |        |      |      |      |      |                  |
| OCS GE              | 0,57    | 1      | 0,82 |        |        |      |      |      |      |                  |
| UA                  | 0,56    | 0,83   | 1    |        |        |      |      |      |      |                  |
| OSO L8              |         |        |      | 1      | 0,64   | 0,57 | 0,14 | 0,45 | 0,44 | 0,57             |
| OSO S2              |         |        |      | 0,74   | 1      | 0,62 | 0,15 | 0,54 | 0,53 | 0,63             |
| GL30                |         |        |      | 0,8    | 0,75   | 1    | 0,21 | 0,58 | 0,59 | 0,77             |
| GLC                 |         |        |      | 0,86   | 0,81   | 0,92 | 1    | 0,72 | 0,77 | 0,92             |
| GUF                 |         |        |      | 0,9    | 0,92   | 0,82 | 0,23 | 1    | 0,71 | 0,81             |
| HRL                 |         |        |      | 0,82   | 0,86   | 0,79 | 0,23 | 0,67 | 1    | 0,78             |
| A <sup>2</sup> S    |         |        |      | 0,71   | 0,67   | 0,69 | 0,19 | 0,51 | 0,52 | 1                |

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux (Total et Vecteur)*

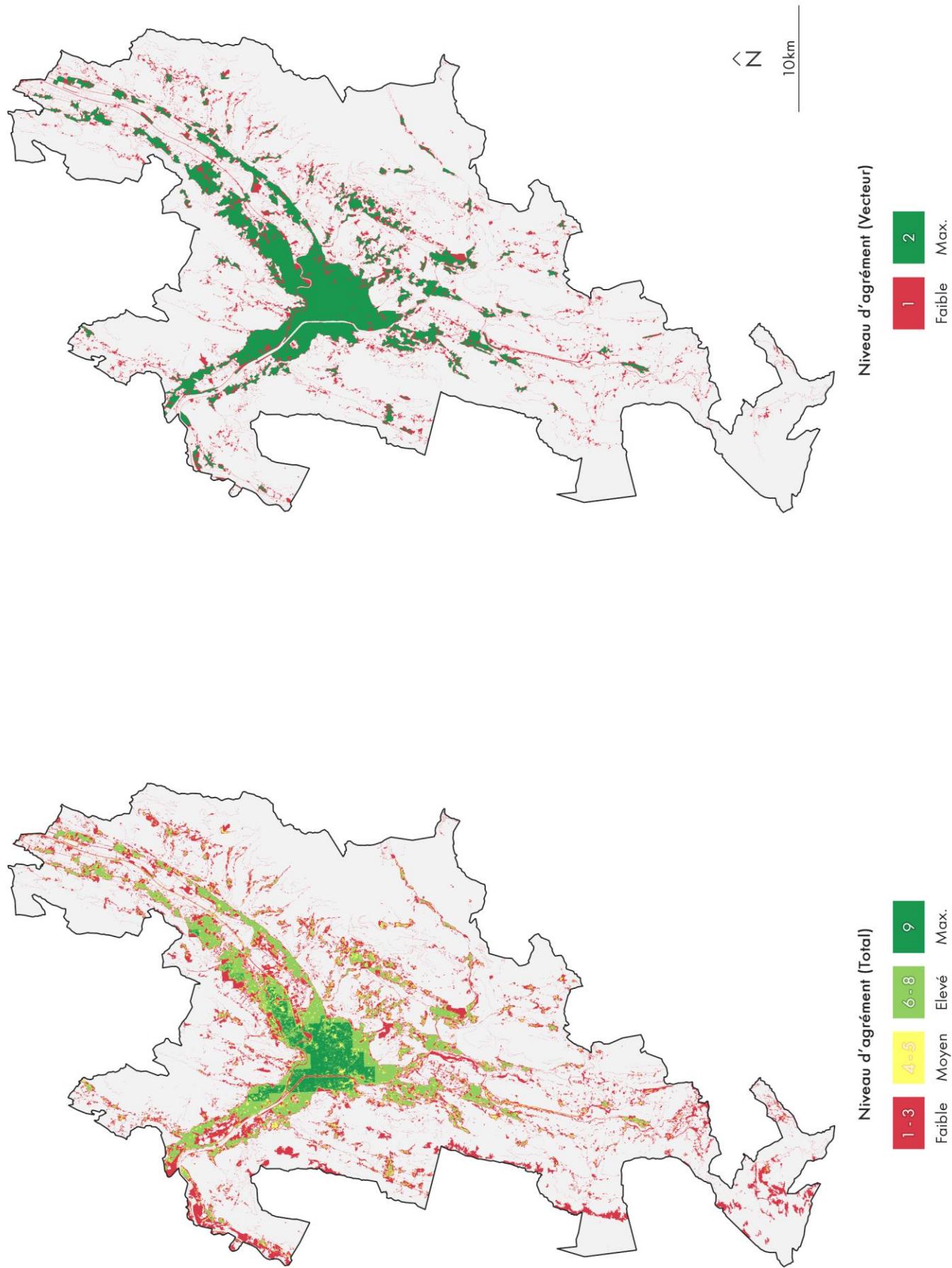


**Annexe 35 - Page 98**

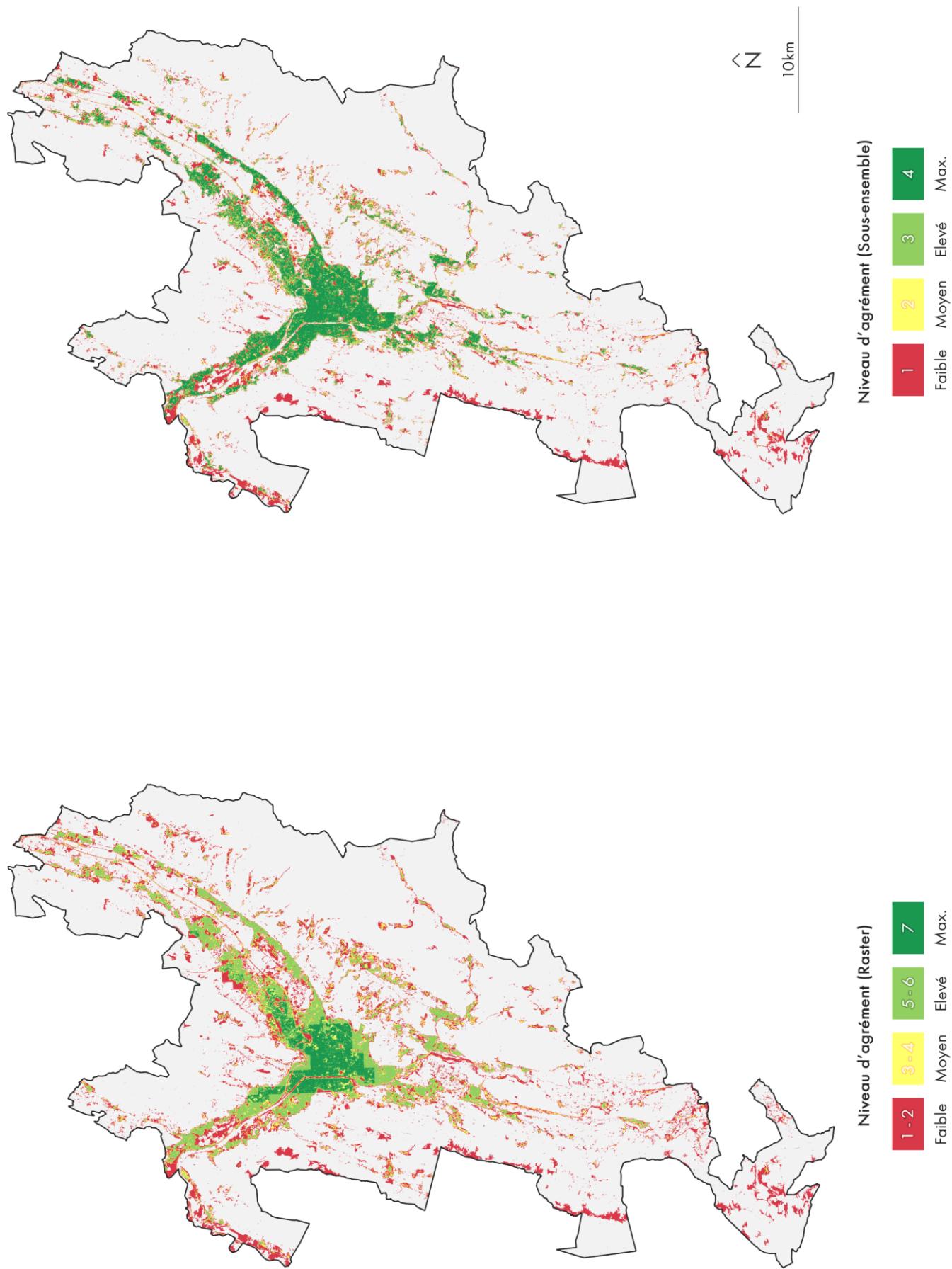
**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificielle**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Bordeaux (Raster et sous-ensemble)*



**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble (Total et Vecteur)*

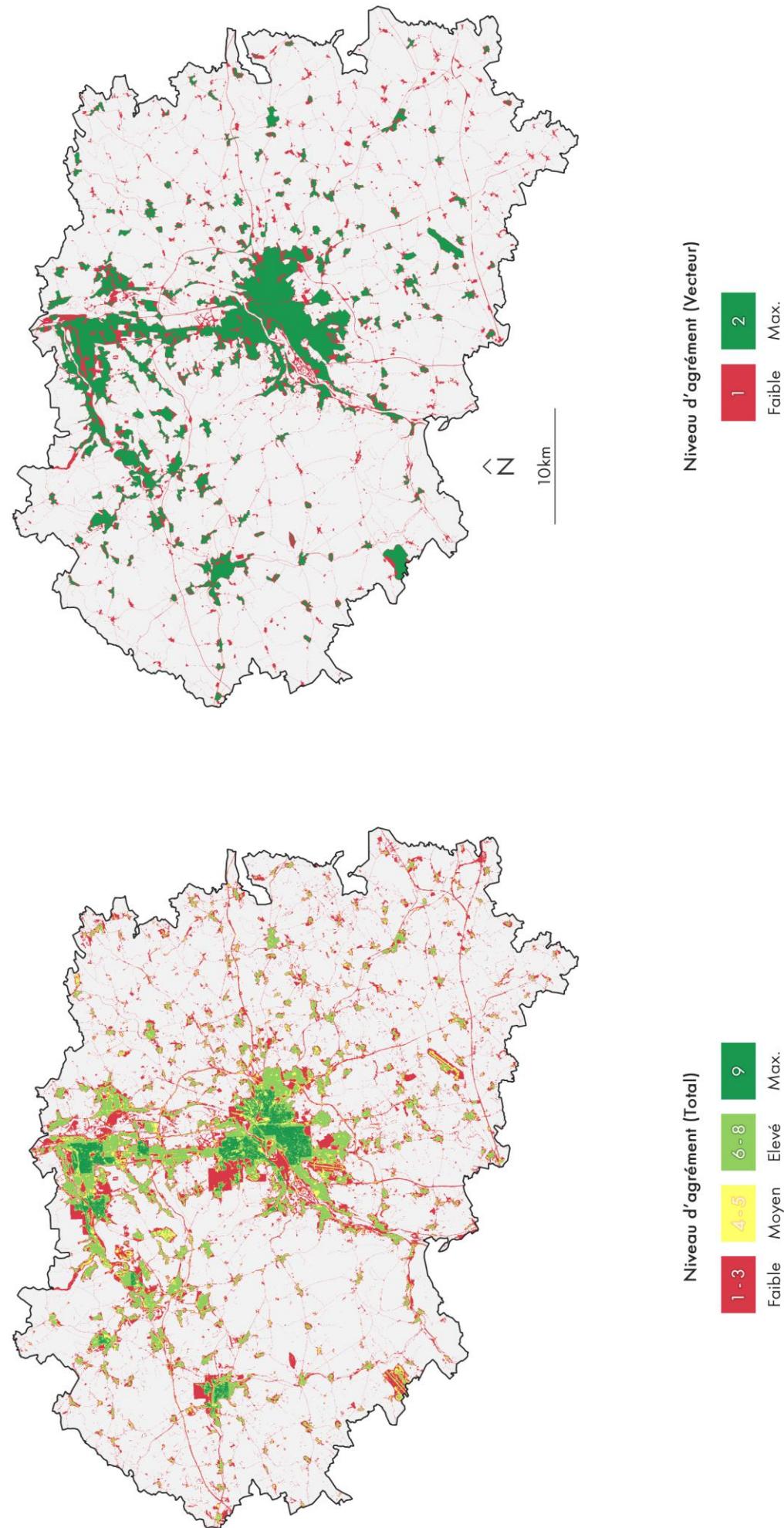


**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificialisée  
Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Grenoble (Raster et sous-ensemble)**



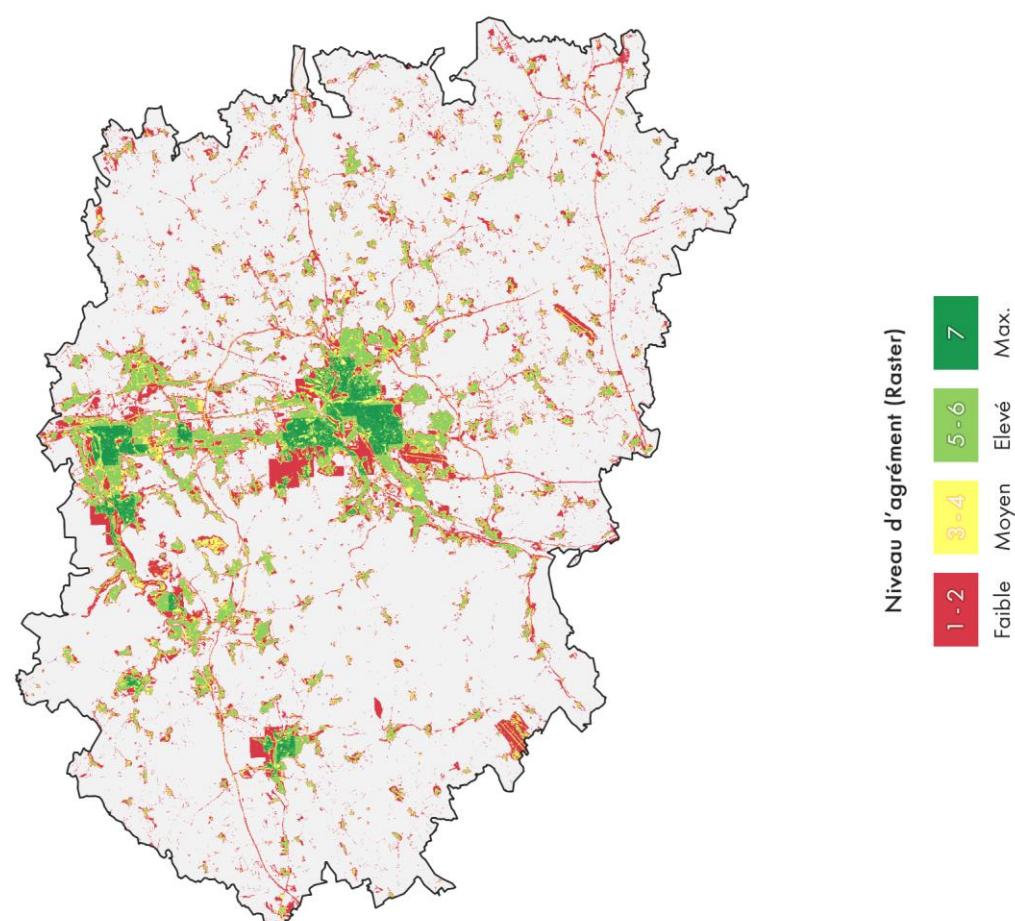
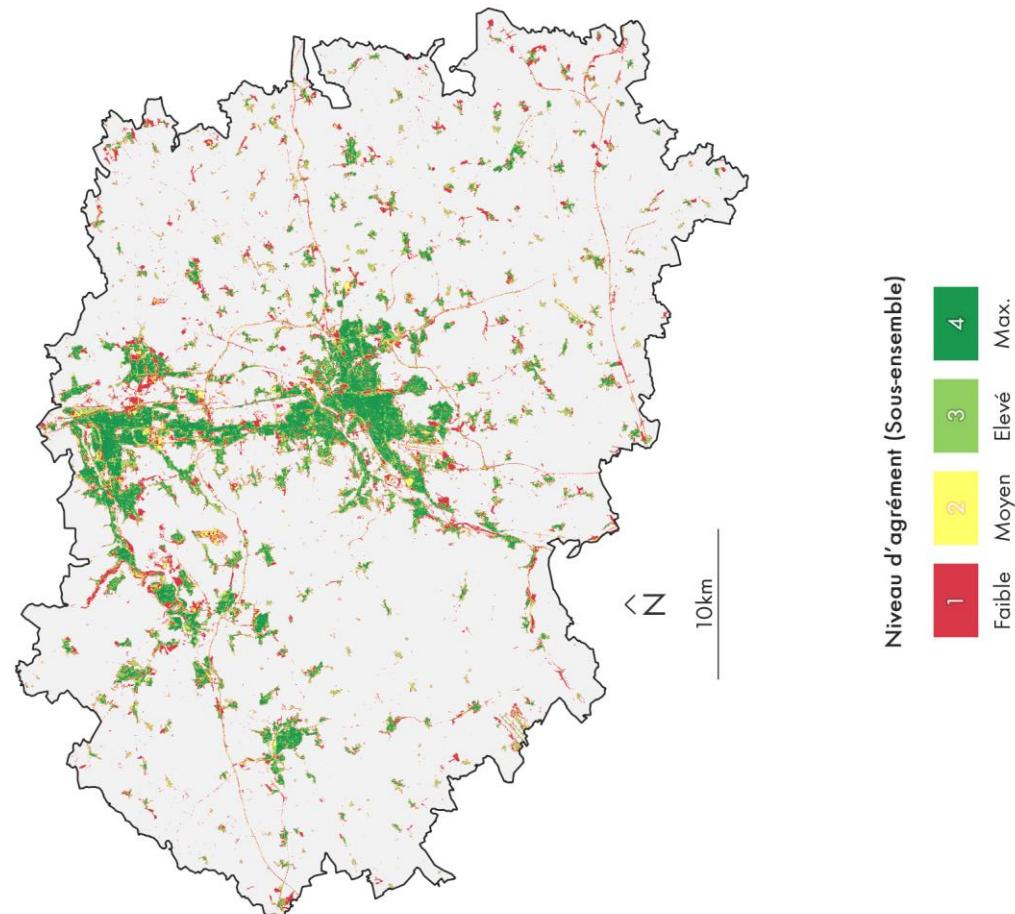
**Annexe 38 - Page 101**

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz (Total et Vecteur)*



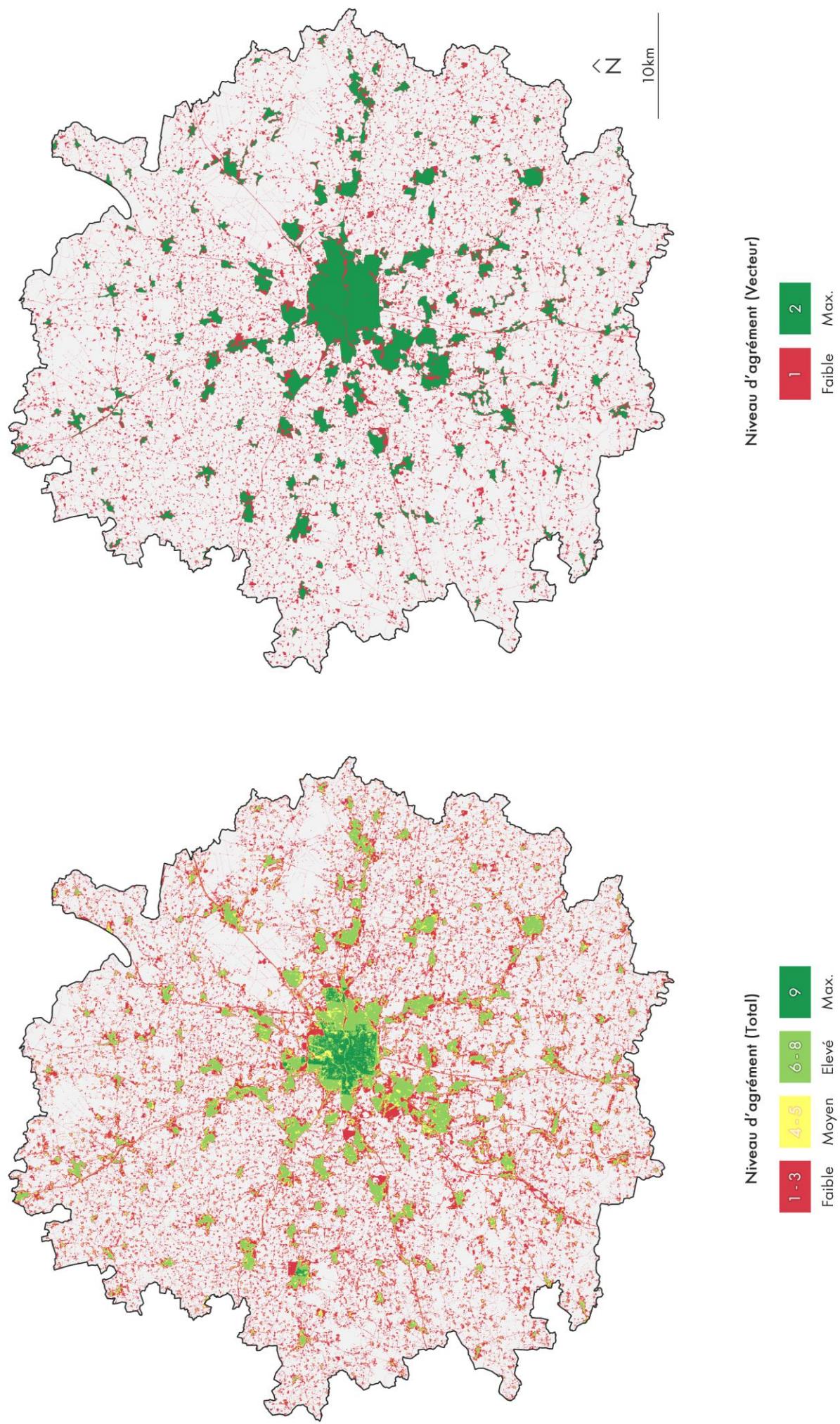
**Annexe 39 - Page 102**

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Metz (Raster et sous-ensemble)*

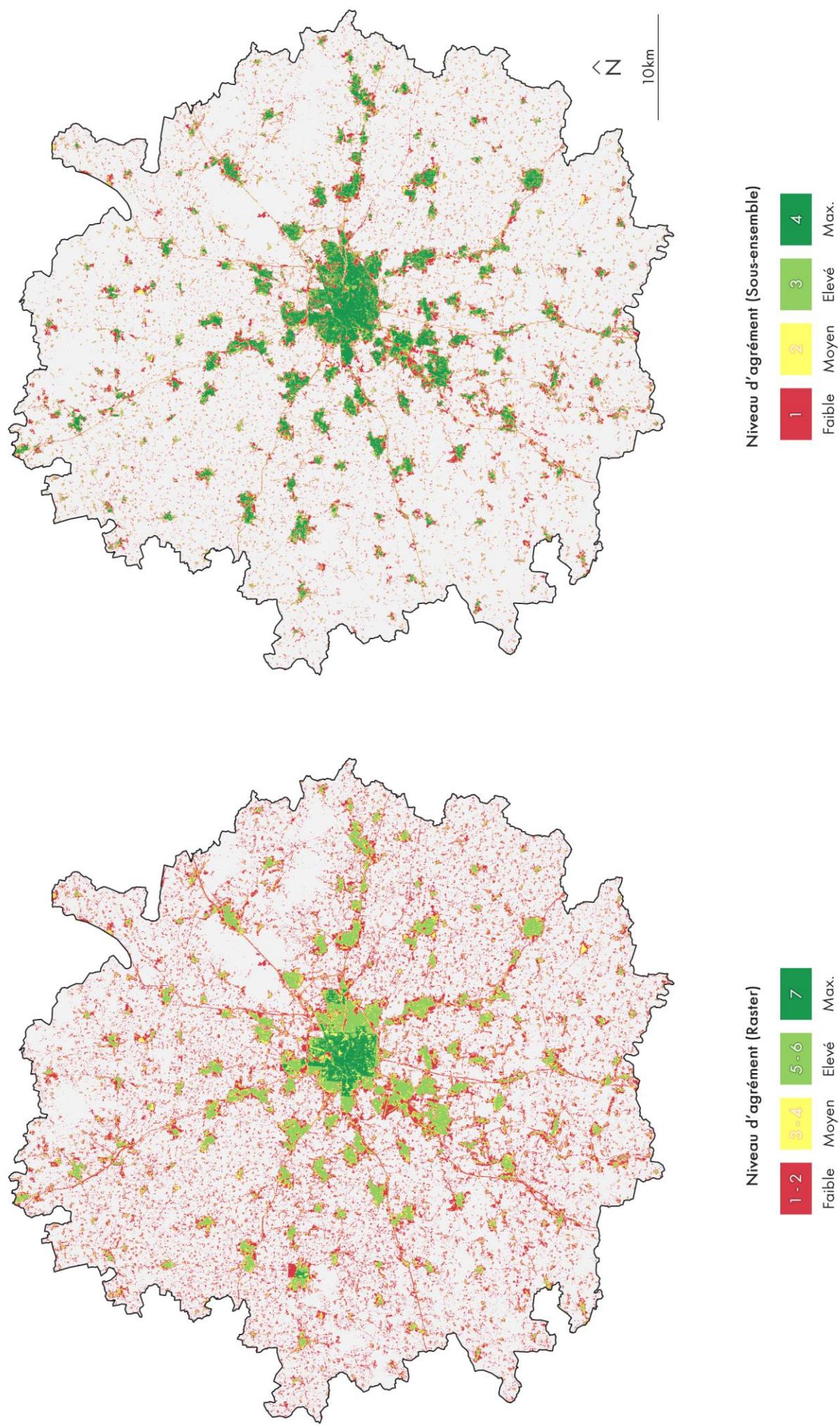


**Annexe 40 - Page 103**

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes (Total et Vecteur)*

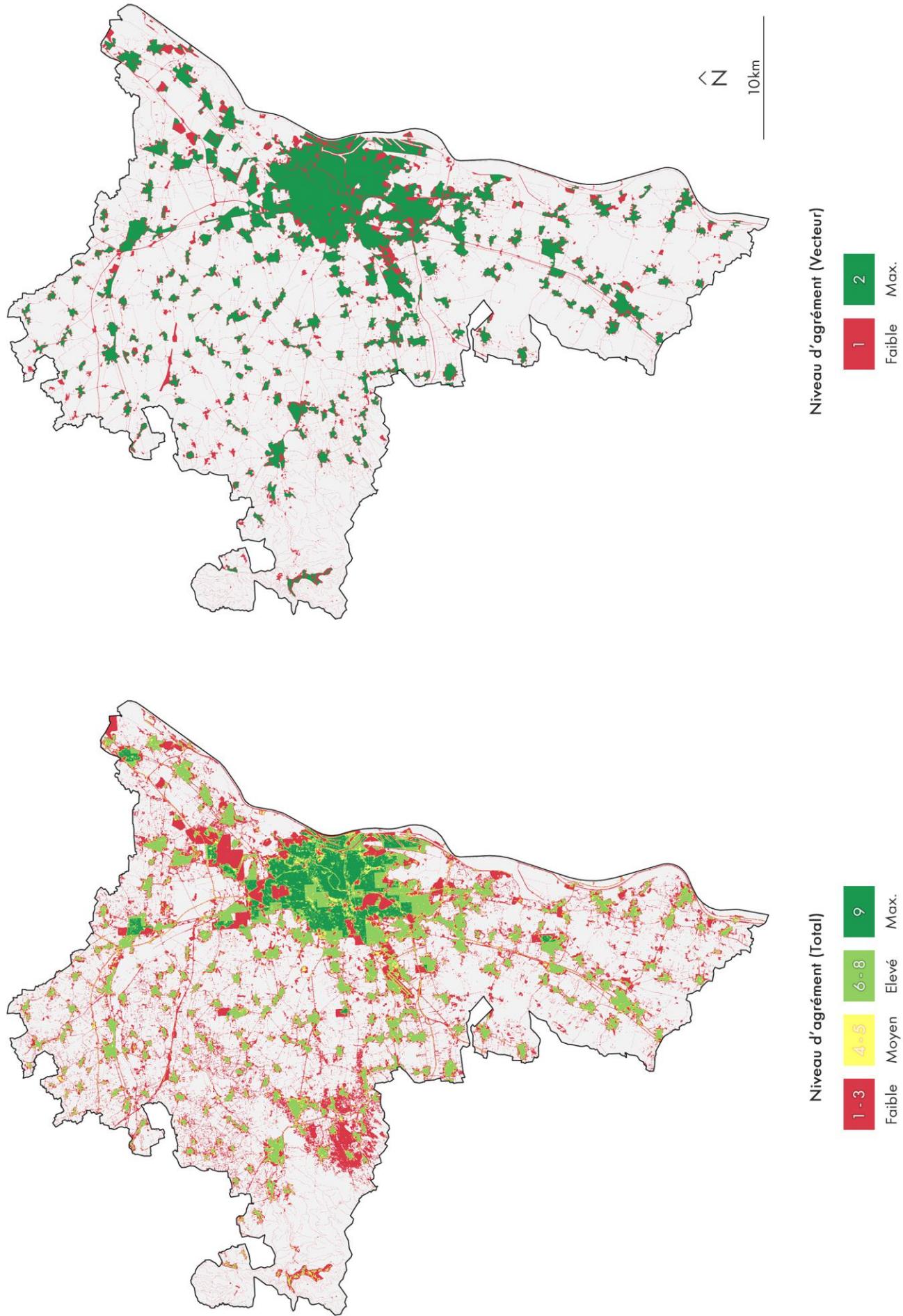


**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificielle**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Rennes (Raster et sous-ensemble)*



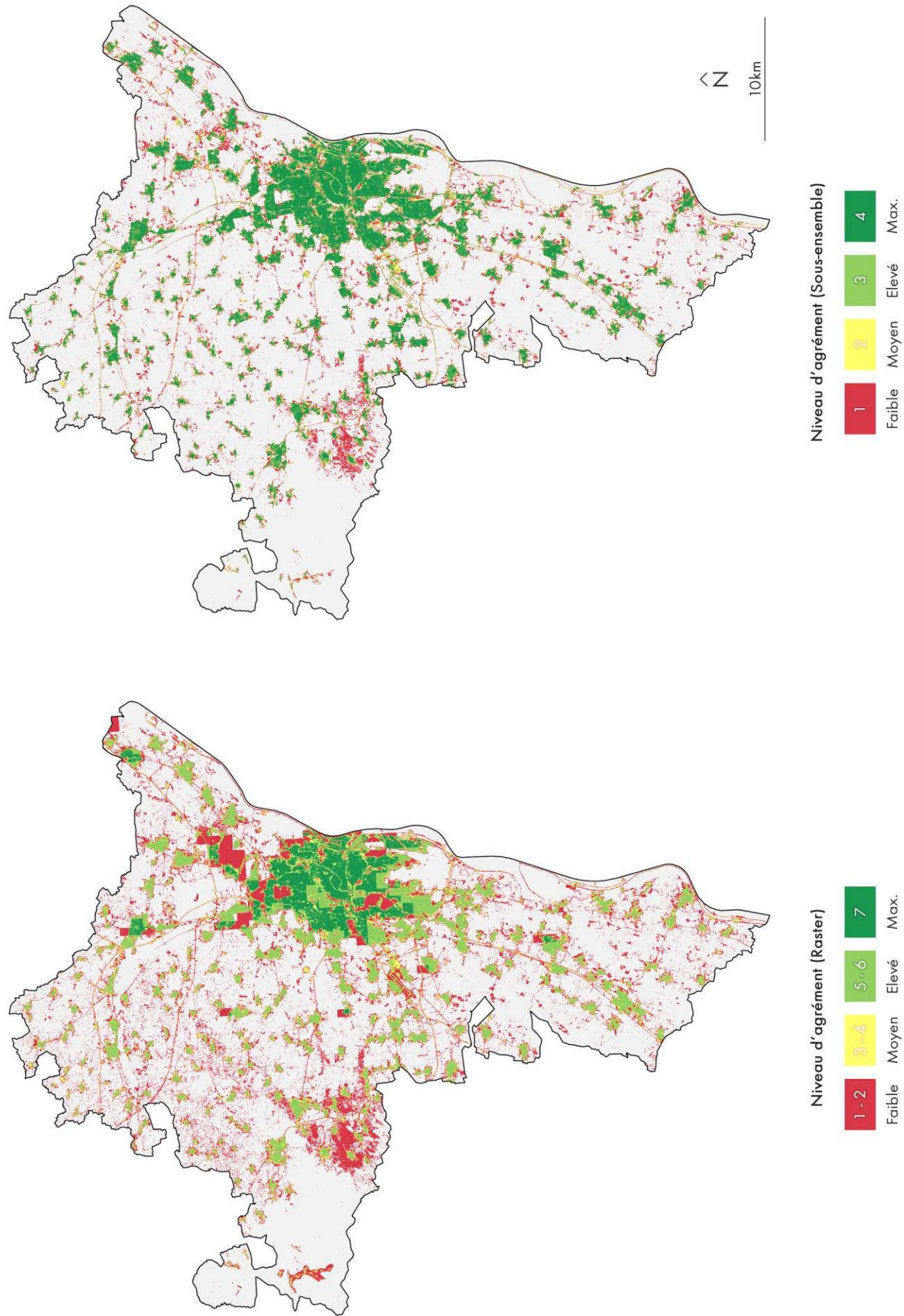
**Annexe 4.2 - Page 105**

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg (Total et Vecteur)*

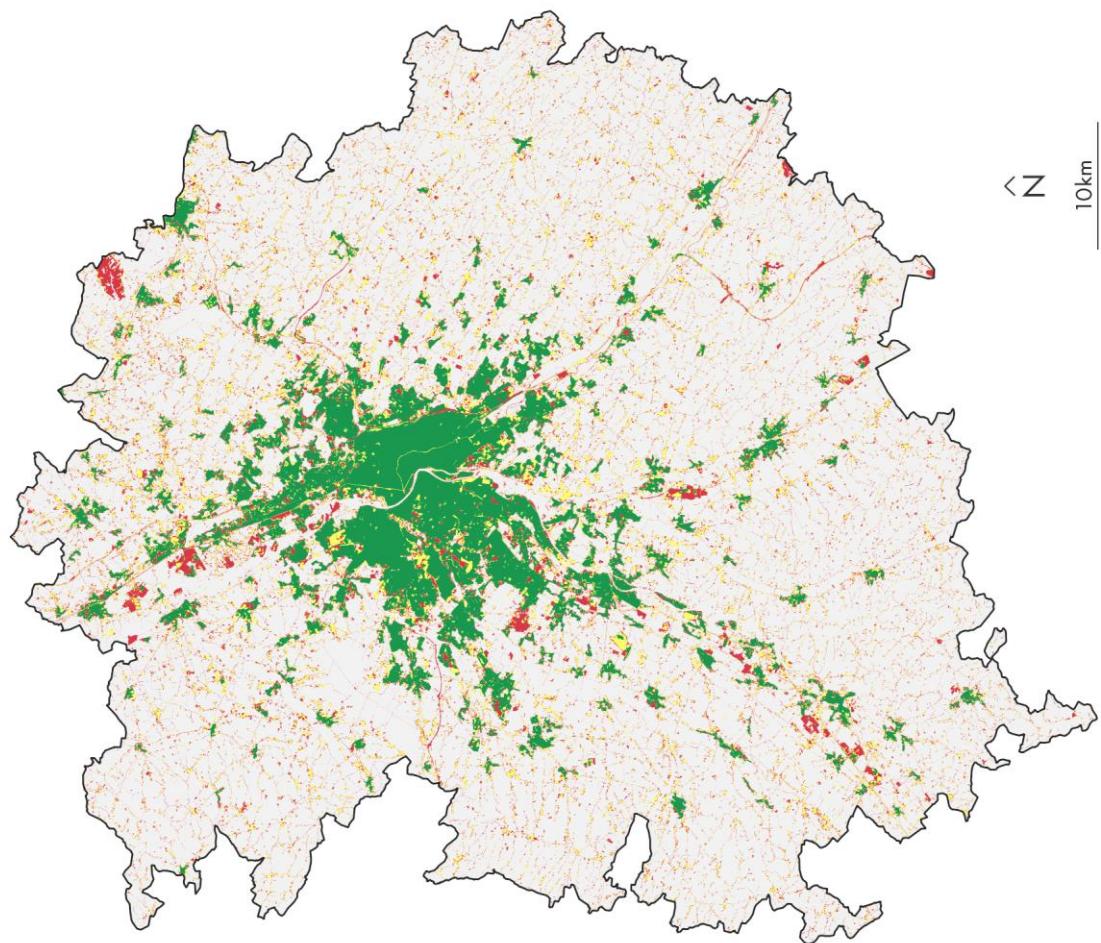


**Annexe 4.3 - Page 106**

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificielle**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Strasbourg (Raster et sous-ensemble)*

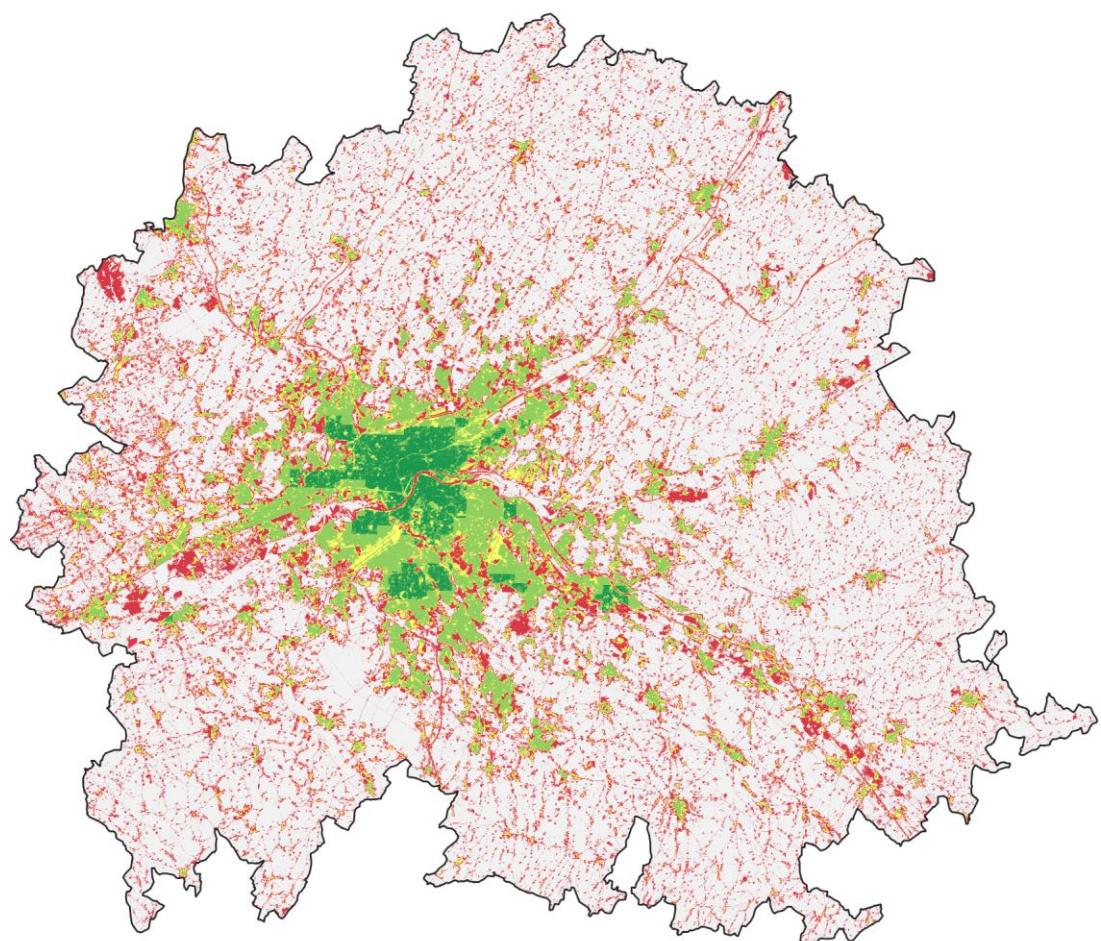


**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tâche artificialisée**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse (Total et Vecteur)*



Niveau d'agrément (Vecteur)

|        |       |      |
|--------|-------|------|
| 1      | 2     | 3    |
| Faible | Moyen | Max. |



Niveau d'agrément (Total)

|        |       |       |      |
|--------|-------|-------|------|
| 1-3    | 4-6   | 7-9   | 10   |
| Faible | Moyen | Elevé | Max. |

**Mesure de l'agrément entre différents produits pour la cartographie de la tache artificielle**  
*Cas de l'aire urbaine fonctionnelle de Toulouse (Raster et sous-ensemble)*

