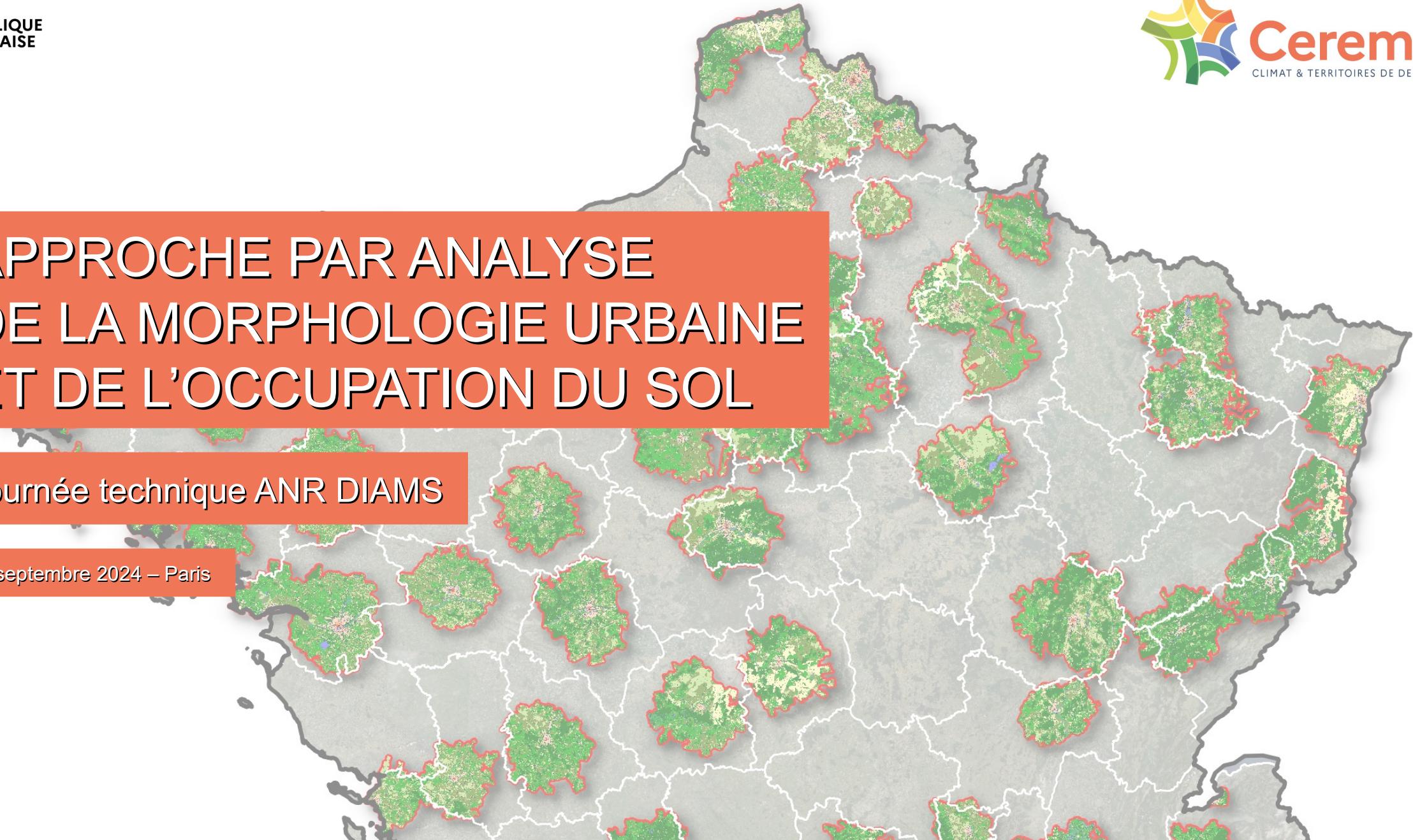


# APPROCHE PAR ANALYSE DE LA MORPHOLOGIE URBAINE ET DE L'OCCUPATION DU SOL

Journée technique ANR DIAMS

10 septembre 2024 – Paris



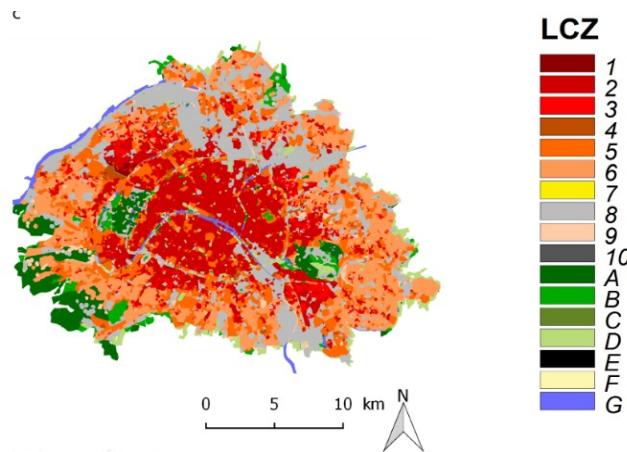
# Quelques exemples d'outils morphologiques



# OUTILS MORPHOLOGIQUES

## Outil morphologique :

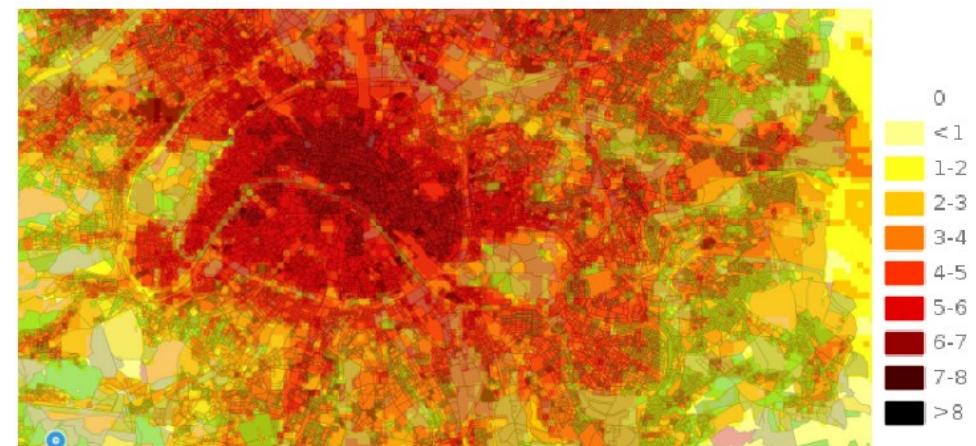
Indication sur l'exposition d'un quartier à la chaleur  
→ approche qualitative



LCZ sur Paris  
Projet ANR MAPUCE

## Outil physique :

Sortie micro-météorologique  
→ approche quantitative



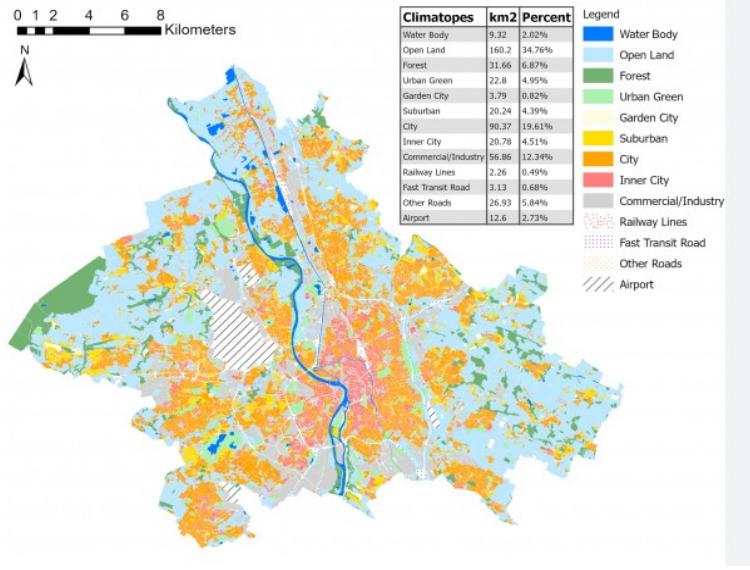
Îlot de Chaleur nocturne estival sur Paris (250 m de résolution)  
superposé avec la typologie des bâtiments

Projet ANR MAPUCE

# OUTILS MORPHOLOGIQUES

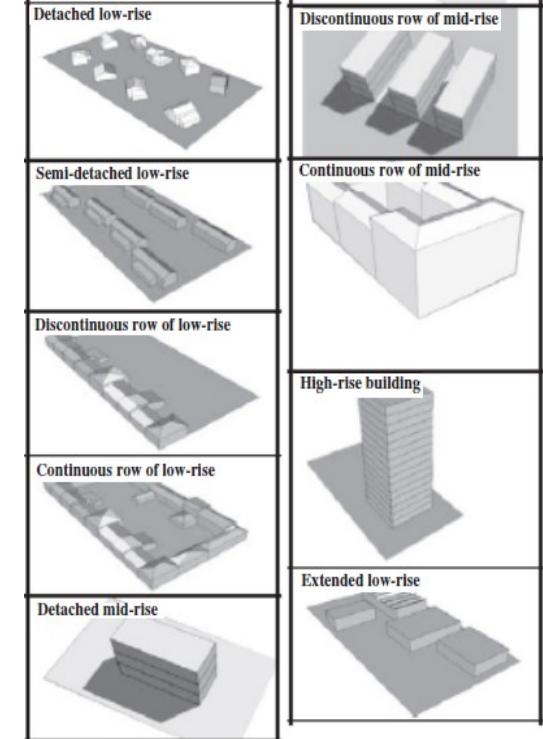
## Exemples de classifications morphologiques : GENIUS/UTRF, Climatope, LCZ

Climatopes of the  
Urban Climatic  
Map (UCMap)  
system  
(Edward Ng, Chao  
Ren and Ren  
2015)



GENIUS (GENerator of Interactive  
Urban blockS) is based on  
building geometries, envelope  
materials and surroundings  
ground covering

(Tornay et al. 2017)



Avantages : calcul rapide (/ outils physiques), reproductible sur d'autres territoires, approches internationales et approuvées

# LES LOCAL CLIMATE ZONES

➤ Référentiel décrivant le territoire suivant 17 classes (10 bâties et 7 naturelles), par croisement de 10 indicateurs (morphologie urbaine, occupation du sol, propriétés thermo-physiques).

Stewart & Oke, 2012 : <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

➤ Analyse simplifiée par classement géo-climatique : classification typo-morphologique du territoire, à échelle moyenne (~ 200 m de rayon minimum), pour caractériser des zones climatiquement homogènes  
→ mesure physique du phénomène (relevés de températures)  
→ localiser les formes urbaines les plus sensibles à l'ICU

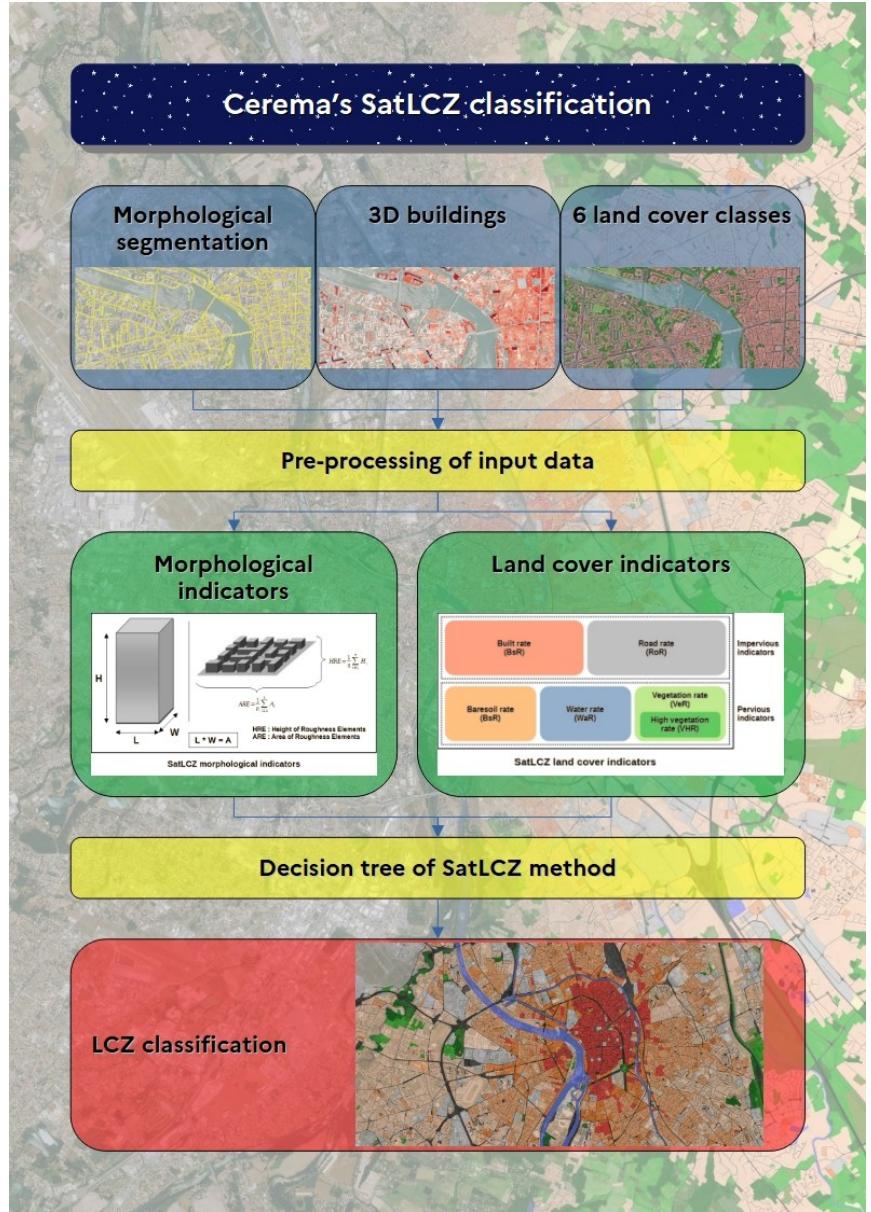
TABLE 2. Abridged definitions for local climate zones (see electronic supplement for photographs, surface property values, and full definitions). LCZs 1–9 correspond to Oke's (2004) urban climate zones.

Built types	Definition	Land cover types	Definition
1. Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	A. Dense trees	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
2. Compact midrise	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	B. Scattered trees	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
3. Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	C. Bush, scrub	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
4. Open high-rise	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	D. Low plants	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
5. Open midrise	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	E. Bare rock or paved	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
6. Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	F. Bare soil or sand	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
7. Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	G. Water	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
8. Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	<b>VARIABLE LAND COVER PROPERTIES</b>	
9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	b. bare trees	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
10. Heavy Industry	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		d. dry ground	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		w. wet ground	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

# SatLCZ : la méthode LCZ du Cerema



# DESCRIPTION DE LA MÉTHODE



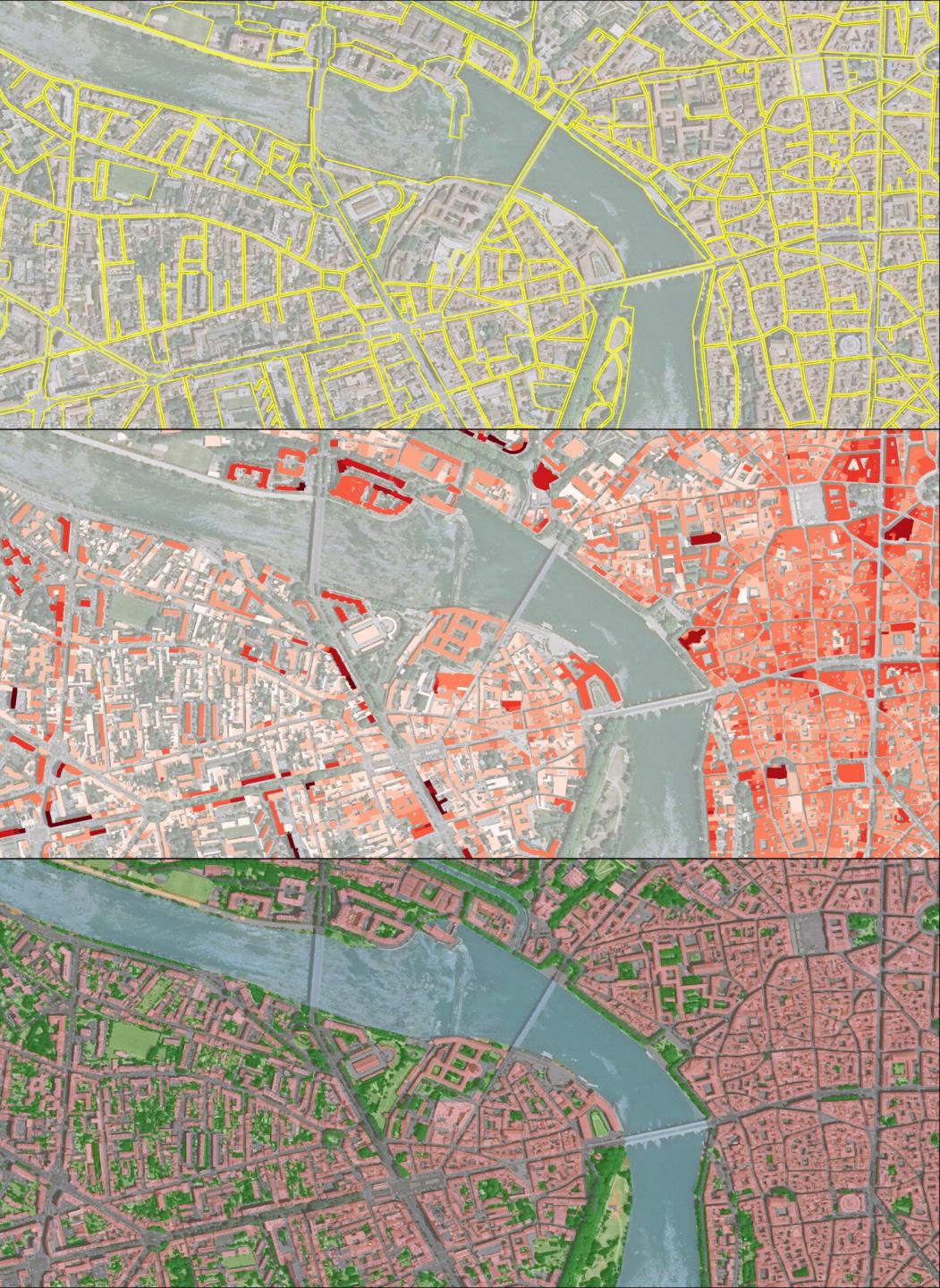
## Les zones climatiques locales (LCZ)

Stewart et Oke (2012) — Traduction Cerema

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

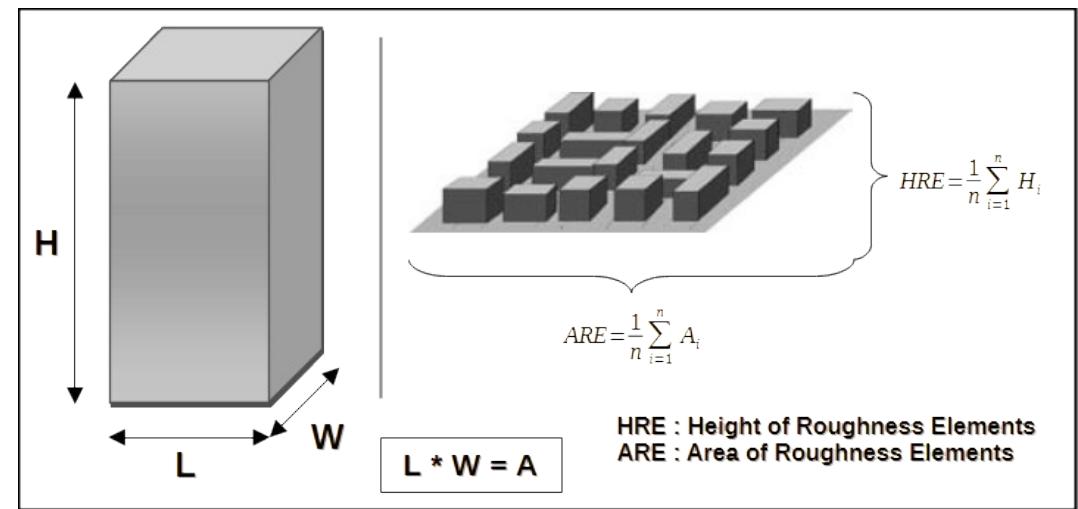
# LES DONNÉES D'ENTRÉE

- **Segmentation morphologique** : donnée vecteur polygones délimitant nos îlots d'étude
  - avoir un découpage avec une homogénéité de typo-morphologie à l'intérieur d'un même îlot
- **Bâti 3D** : donnée vecteur polygones délimitant l'emprise au sol de chaque bâtiment, pour lequel une information attributaire de hauteur est associée
- **OCS 6 classes** : donnée raster décrivant l'occupation du sol en 6 classes (bâti, route et surface imperméable, sol nu perméable, surface en eau, végétation arborée, végétation herbacée)

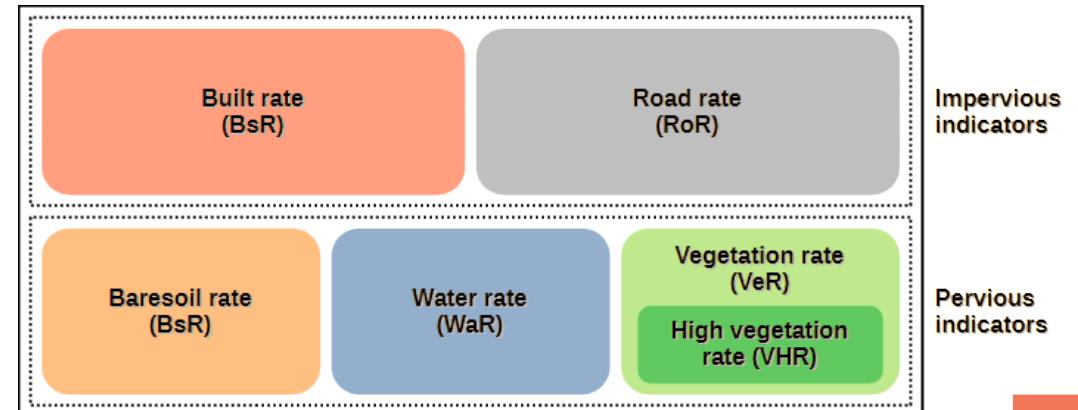


# LES INDICATEURS DÉRIVÉS

- Pour chaque entité de la segmentation morpho :
  - calcul de **2 indicateurs de morphologie urbaine** :
    - **HRE** = hauteur moyenne du bâti
    - **ARE** = surface moyenne du bâti
  - ⇒ croisement avec la donnée bâti 3D
  - calcul de **6 indicateurs d'occupation du sol** :
    - **BuR** = taux d'occupation de la classe « bâti »
    - **RoR** = taux d'occupation de la classe « route et surface imperméable »
    - **BsR** = taux d'occupation de la classe « sol nu perméable »
    - **WaR** = taux d'occupation de la classe « surface en eau »
    - **VeR** = taux d'occupation des classes « végétations »
    - **VHR** = part de végétation arborée sur la végétation globale
  - ⇒ croisement avec la donnée OCS 6 classes



SatLCZ morphological indicators

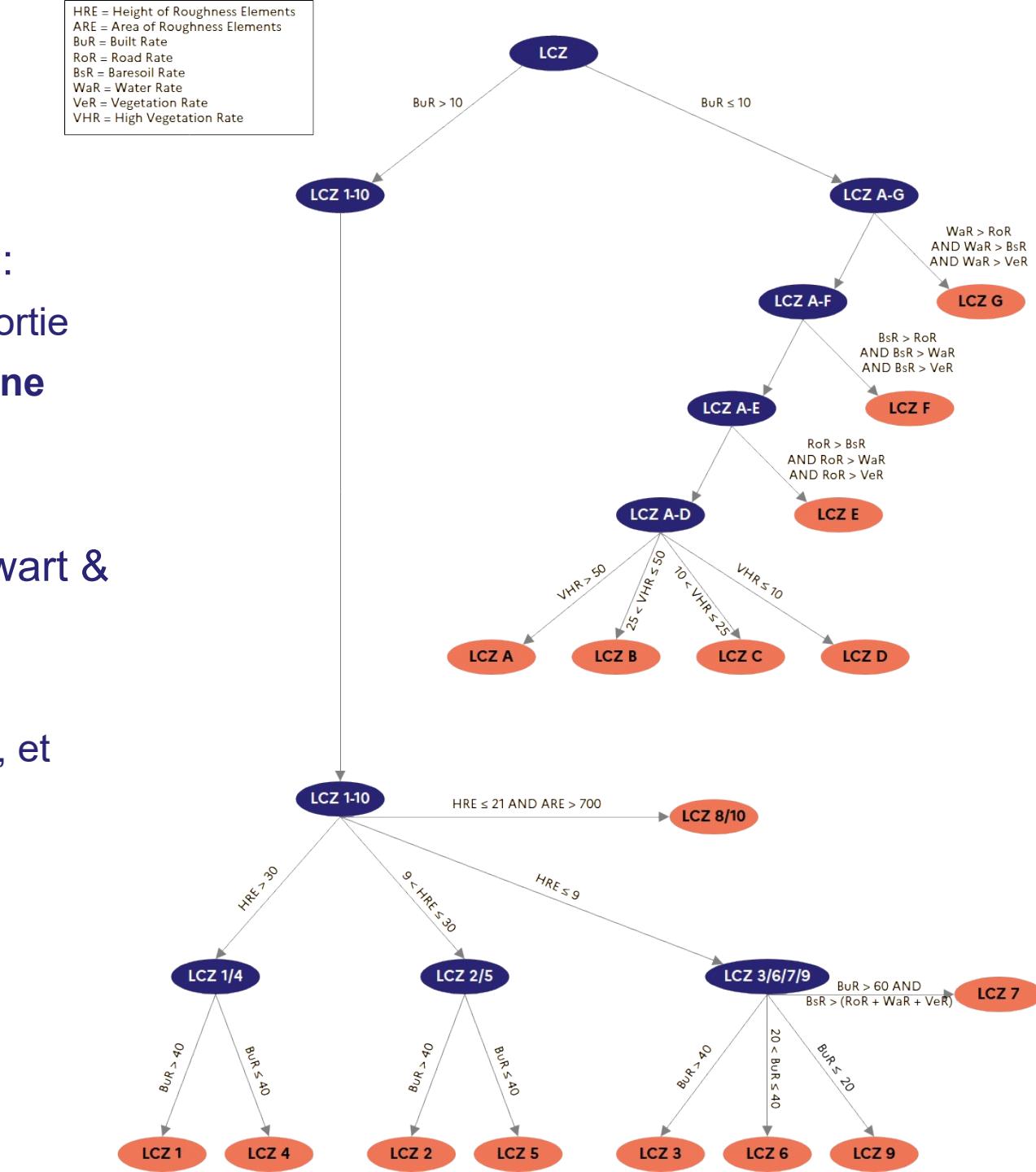


SatLCZ land cover indicators

# ABOUTIR À LA CARTE LCZ

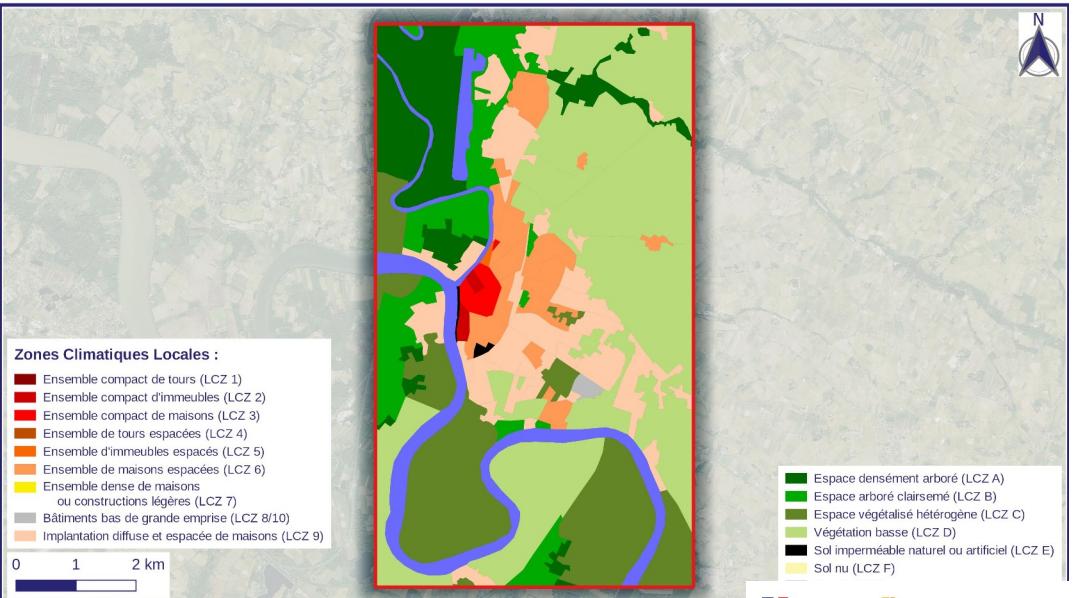
HRE = Height of Roughness Elements  
 ARE = Area of Roughness Elements  
 BuR = Built Rate  
 RoR = Road Rate  
 BsR = Baresoil Rate  
 WaR = Water Rate  
 VeR = Vegetation Rate  
 VHR = High Vegetation Rate

- Pour chaque entité de la segmentation morpho :
  - agrégation des 8 indicateurs dans le fichier de sortie
  - parcours d'un arbre de décision pour attribuer une classe LCZ en fonction des valeurs des indicateurs
  
- Les seuils des indicateurs du référentiel de Stewart & Oke ont été adaptés pour arriver à un arbre de décision simplifié :
  - on regarde les indicateurs les uns après les autres, et non la combinaison de tous
  - les intervalles ont été élargies
  - une branche par typologie LCZ



## Commune de Libourne

### Cartographie des Local Climate Zones

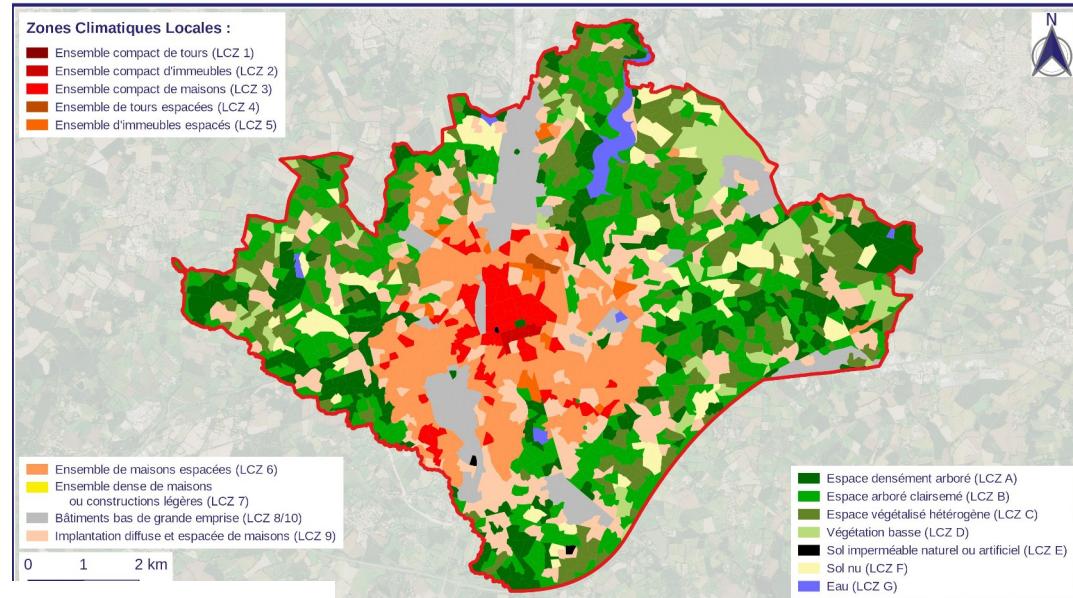


Sources : SPOT © Airbus DS / BD TOPO © IGN / © Cerema

Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), février 2024

## Commune de La Roche-sur-Yon

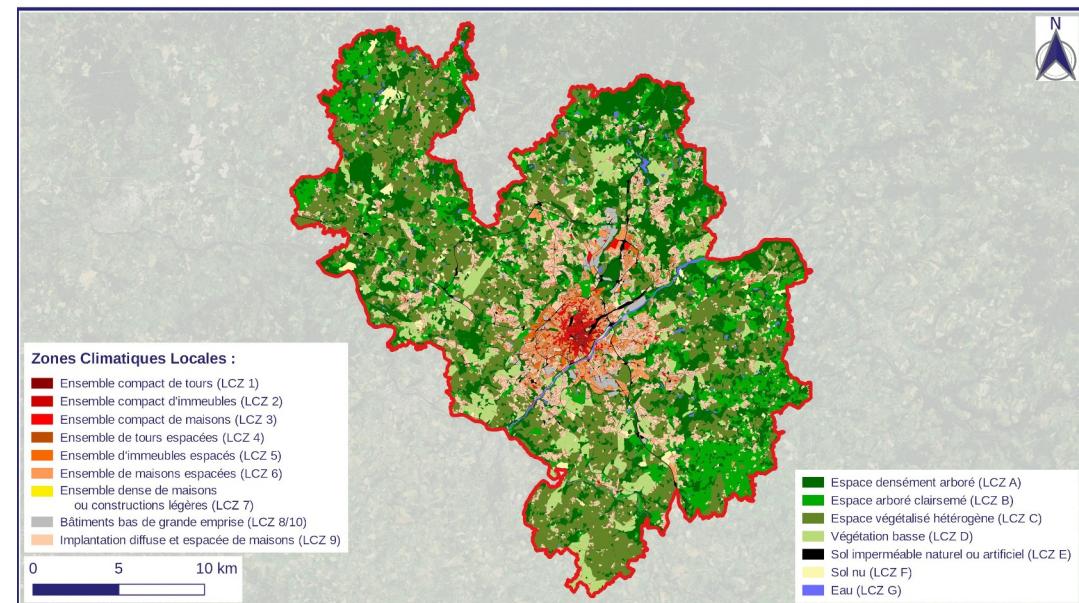
### Cartographie des Local Climate Zones



N / © Cerema  
(pôle satellite), février 2024

## Limoges Métropole

### Cartographie des Local Climate Zones



Sources : SPOT © Airbus DS / BD TOPO © IGN / © Cerema

Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), février 2024

# QUELS OUTILS ?

## ➤ Une chaîne de traitement Python :



- permet le calcul de tous les indicateurs d'origine de Stewart & Oke (hors propriétés thermo-physiques)
- <https://github.com/CEREMA/dterocc.chaineTraitement.traitemetImageSatelliteEtIndicateursDerives>

## ➤ Des modeleurs QGIS :

- développés spécifiquement pour le projet SCO SatLCZ (et basés sur PostGIS)
- <https://github.com/CEREMA/dterocc.modeleursQgis3.classificationLCZ>



**1-1\_ComputeHRE\_fr**

Paramètres	Journal
Fichier maillage	
Vecteur bâti 3D	
Champ ID (Fichier maillage)	
Champ ID (Vecteur bâti 3D)	
Champ Hauteur (Vecteur bâti 3D)	
<b>► Paramètres avancés</b>	
Indicateurs HRE	
[Enregistrer dans un fichier temporaire]	

0%      Annuler      Exécuter      Fermer

Avancé      Exécuter comme processus de lot...      Exécuter      Fermer

**1-2\_ComputeOCS\_fr**

Paramètres	Journal
Fichier maillage	
Raster OCS	
Champ ID (Fichier maillage)	
<input type="checkbox"/> Utiliser le script Python ? (sous Windows) [optionnel]	
<input type="checkbox"/> OCS 5 classes ? (6 classes par défaut) [optionnel]	
<b>► Paramètres avancés</b>	
Indicateurs OCS (cas OCS 6 classes / sans script Python)	
[Créer une couche temporaire]	
<input checked="" type="checkbox"/> Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme	
Indicateurs OCS (cas OCS 6 classes / avec script Python)	
[Créer une couche temporaire]	
<input checked="" type="checkbox"/> Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme	
Indicateurs OCS (cas OCS 5 classes / sans script Python)	

0%      Annuler      Exécuter      Fermer

Avancé      Exécuter comme processus de lot...      Exécuter      Fermer

**2\_ComputeLCZ\_fr**

Paramètres	Journal
Fichier maillage	
Indicateurs HRE	
Indicateurs OCS	
Champ ID (Fichier maillage)	
<input type="checkbox"/> OCS 5 classes ? (6 classes par défaut) [optionnel]	
<b>► Paramètres avancés</b>	
Classification LCZ (cas OCS 6 classes)	
[Enregistrer dans un fichier temporaire]	
Classification LCZ (cas OCS 5 classes)	
[Enregistrer dans un fichier temporaire]	

0%      Annuler      Exécuter      Fermer

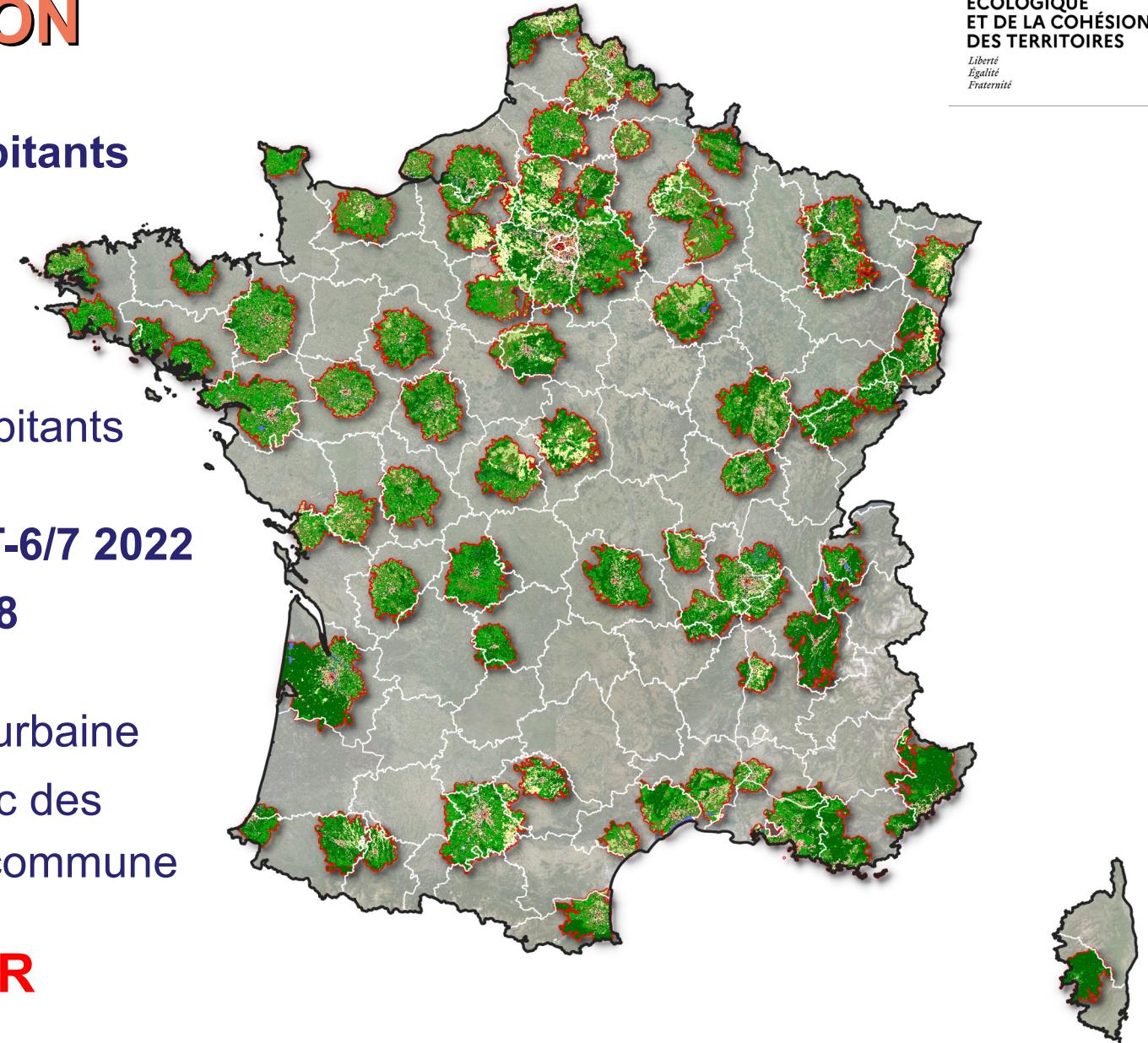
Avancé      Exécuter comme processus de lot...      Exécuter      Fermer

# Production nationale de données LCZ

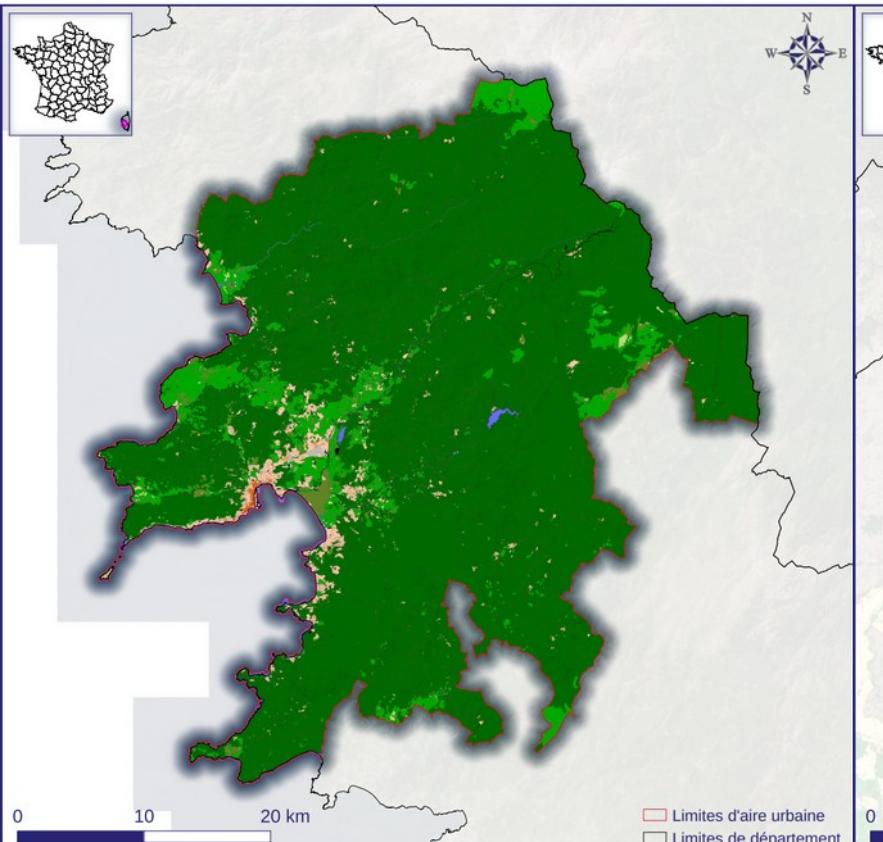


# RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION

- **83 aires urbaines de plus de 50 000 habitants**
  - = 11 500 communes (/ 34 826)
  - = 151 000 km<sup>2</sup> (/ 550 000 km<sup>2</sup>)
  - = 42 M habitants (/ 65 M habitants)
- donc 114 communes de plus de 50 000 habitants
- Basée sur la **couverture nationale SPOT-6/7 2022**
- Basée sur la **géométrie Urban Atlas 2018**
- Téléchargeable sur [data.gouv.fr](https://data.gouv.fr), par aire urbaine
- Visualisable sur [cartagene.cerema.fr](https://cartagene.cerema.fr), avec des statistiques de répartition surfacique par commune



**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Ajaccio



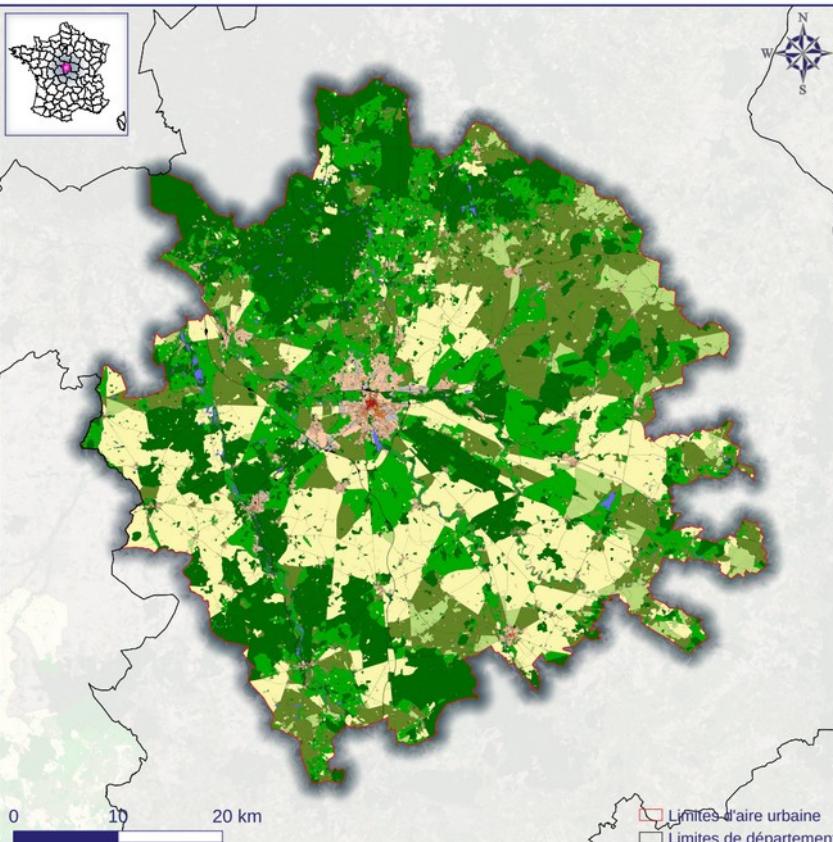
**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

- Espace densément arboré (LCZ A)
- Espace arboré clairsemé (LCZ B)
- Espace végétalisé hétérogène (LCZ C)
- Végétation basse (LCZ D)
- Sol imperméable naturel ou artificiel (LCZ E)
- Sol nu perméable (LCZ F)
- Surface en eau (LCZ G)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Bourges

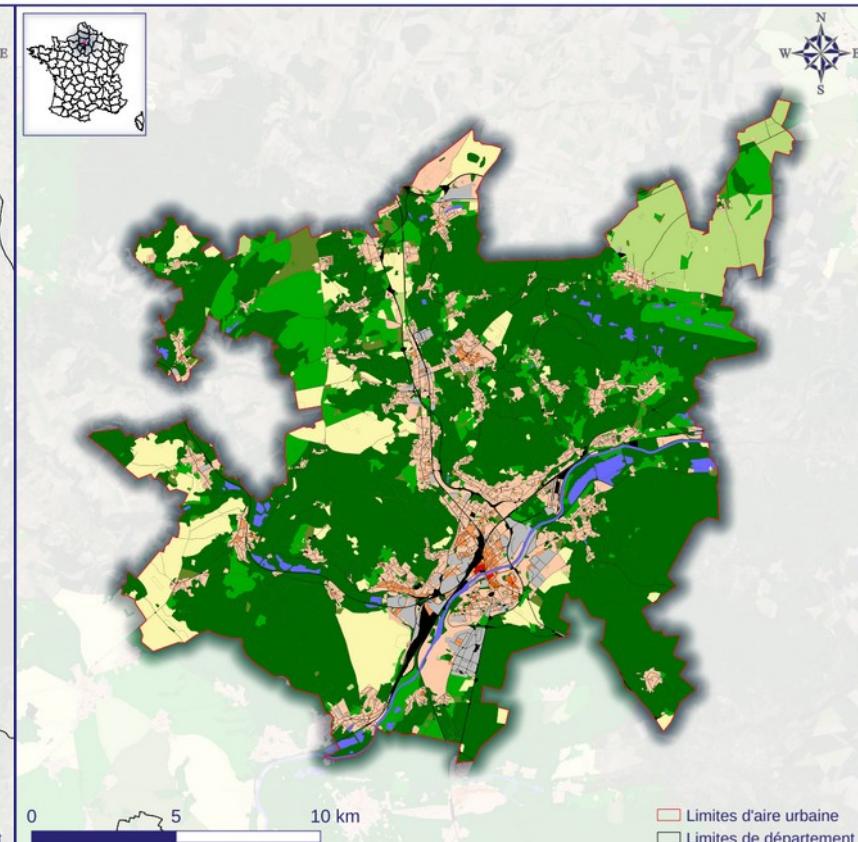


**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Creil



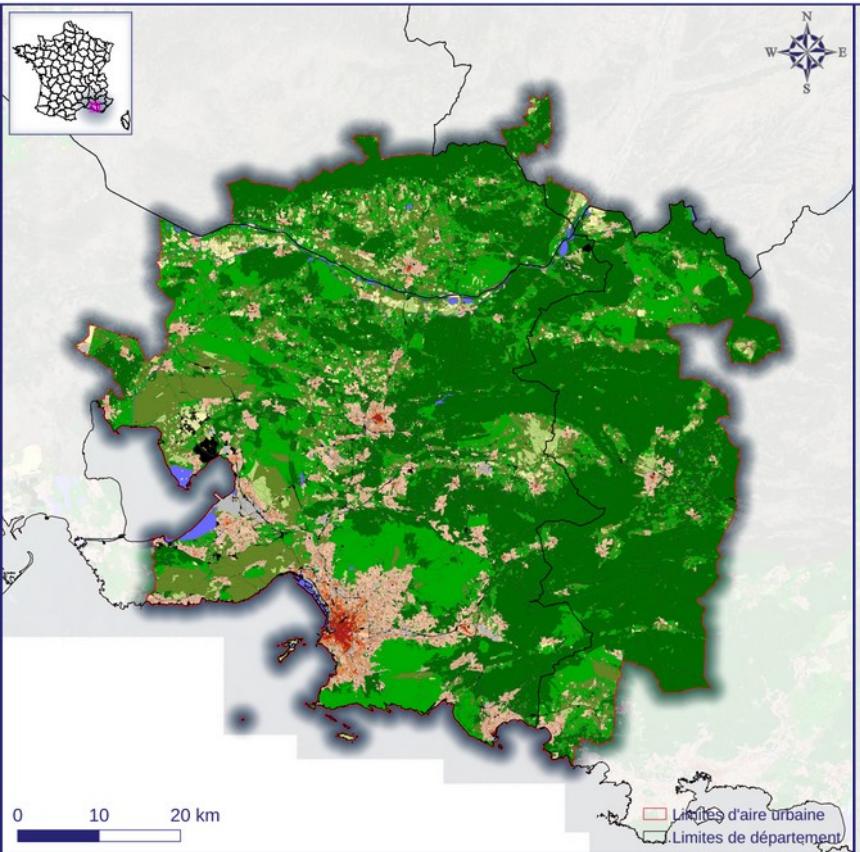
**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

- Espace densément arboré (LCZ A)
- Espace arboré clairsemé (LCZ B)
- Espace végétalisé hétérogène (LCZ C)
- Végétation basse (LCZ D)
- Sol imperméable naturel ou artificiel (LCZ E)
- Sol nu perméable (LCZ F)
- Surface en eau (LCZ G)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Marseille



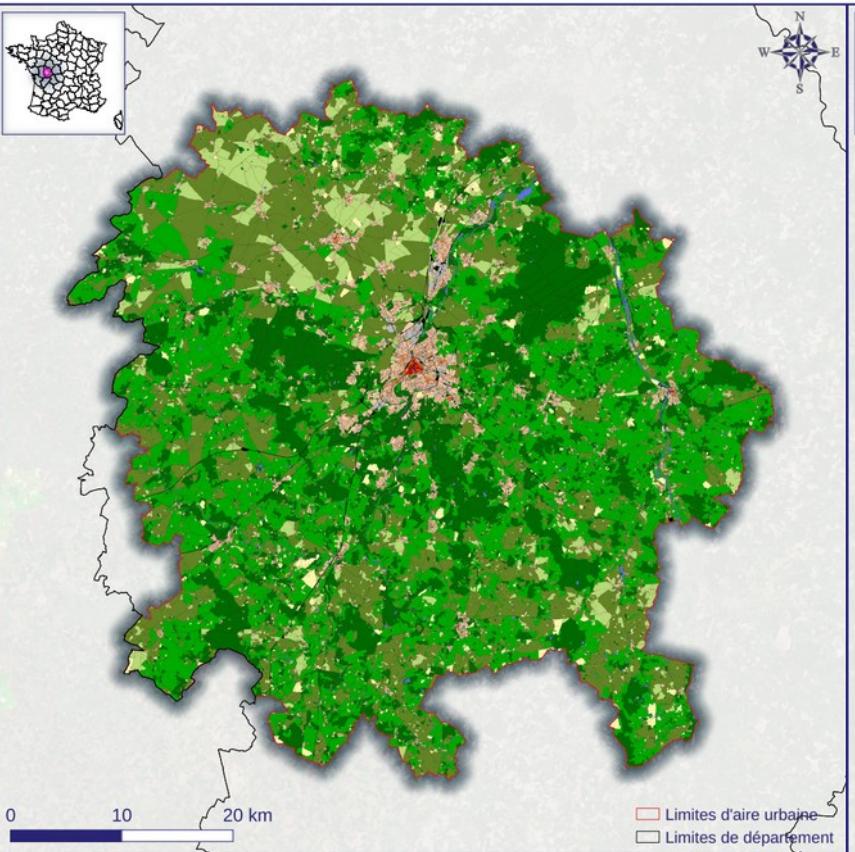
**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

- Espace densément arboré (LCZ A)
- Espace arboré clairsemé (LCZ B)
- Espace végétalisé hétérogène (LCZ C)
- Végétation basse (LCZ D)
- Sol imperméable naturel ou artificiel (LCZ E)
- Sol nu perméable (LCZ F)
- Surface en eau (LCZ G)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Poitiers



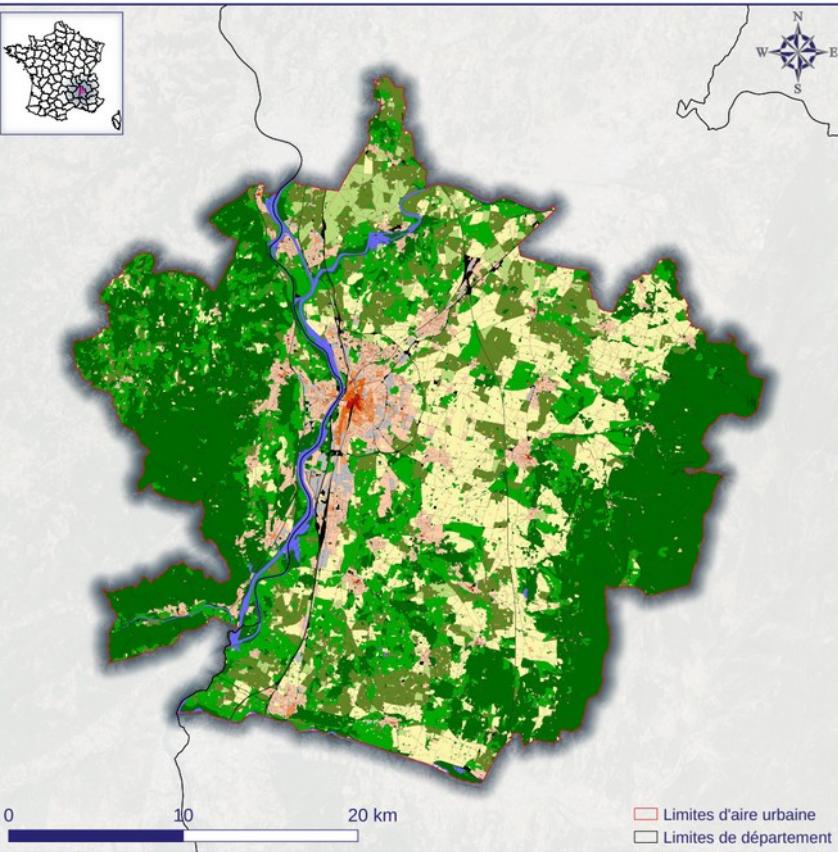
**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

- Espace densément arboré (LCZ A)
- Espace arboré clairsemé (LCZ B)
- Espace végétalisé hétérogène (LCZ C)
- Végétation basse (LCZ D)
- Sol imperméable naturel ou artificiel (LCZ E)
- Sol nu perméable (LCZ F)
- Surface en eau (LCZ G)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

**Classification Local Climate Zones**  
Aire urbaine de Valence



**Typologie LCZ :**

- Ensemble compact de tours (LCZ 1)
- Ensemble compact d'immeubles (LCZ 2)
- Ensemble compact de maisons (LCZ 3)
- Ensemble de tours espacées (LCZ 4)
- Ensemble d'immeubles espacés (LCZ 5)
- Ensemble de maisons espacées (LCZ 6)
- Bâtiments bas de grande emprise (LCZ 8)
- Implantation diffuse de maisons (LCZ 9)

- Espace densément arboré (LCZ A)
- Espace arboré clairsemé (LCZ B)
- Espace végétalisé hétérogène (LCZ C)
- Végétation basse (LCZ D)
- Sol imperméable naturel ou artificiel (LCZ E)
- Sol nu perméable (LCZ F)
- Surface en eau (LCZ G)

Sources : SPOT © Airbus DS, BD TOPO © IGN, Urban Atlas © EEA, © Cerema  
Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), juin 2024

Pour aller plus loin...



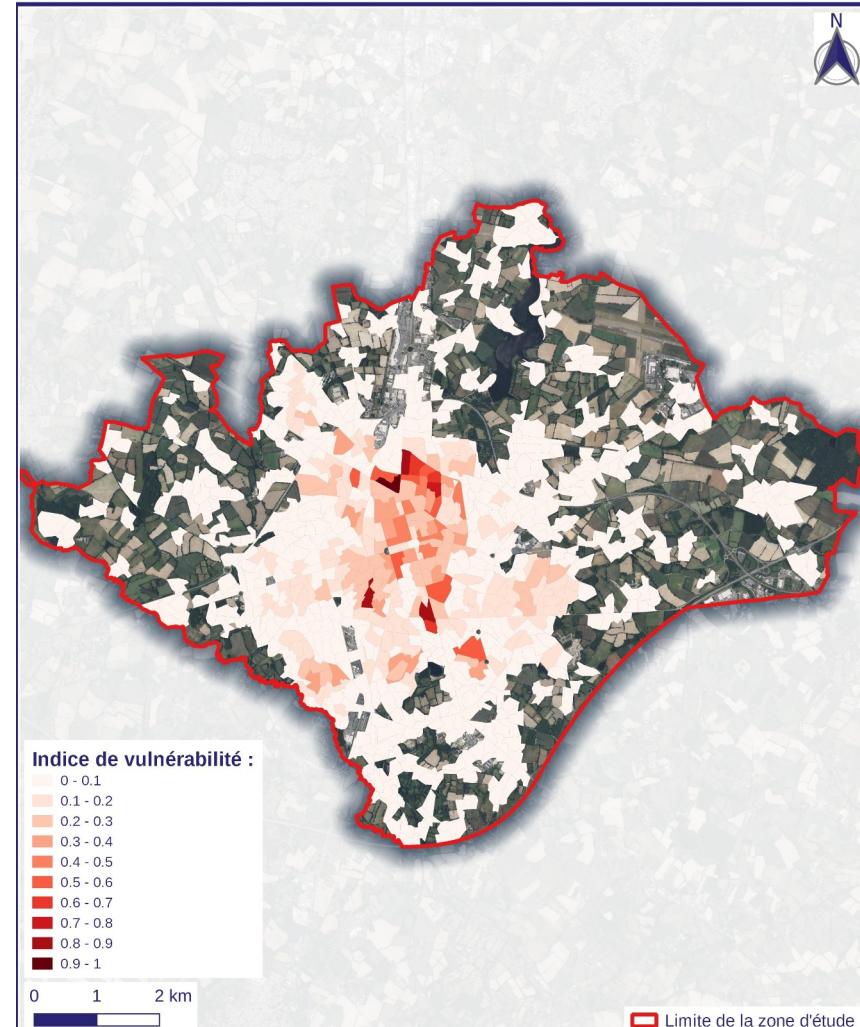
# ÉTUDE DE LA VULNÉRABILITÉ SOCIO-ÉCONOMIQUE

- Localiser les secteurs concentrant le plus grand nombre de personnes vulnérables (= enfants de moins de 5 ans + personnes âgées de plus de 65 ans + ménages pauvres)
- Utilisation de la couche FiLoSoFi de l'INSEE : agrégation/désagrégation à l'échelle du bâtiment puis du maillage LCZ, normalisation de la donnée
- Mise en parallèle avec carto LCZ (aléa) pour mettre en évidence les secteurs les plus à risque : fort aléa (typologie LCZ sensible) + forte vulnérabilité (valeur de l'indice)



La Roche-sur-Yon

Vulnérabilité socio-économique



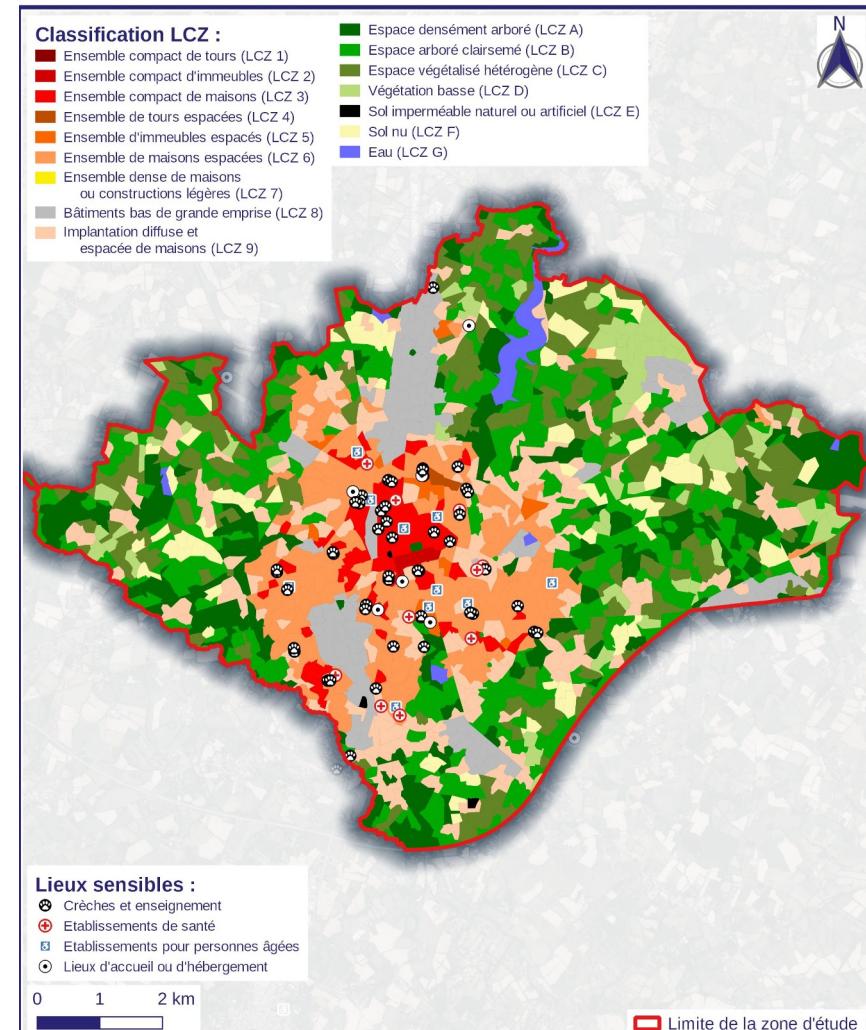
# ÉTUDE DE LA VULNÉRABILITÉ DES LIEUX SENSIBLES

- Localiser les établissements pouvant accueillir un public vulnérable aux canicules (crèches, écoles primaires et secondaires, hôpitaux, EHPAD, centres médico-sociaux...)
- Utilisation de la couche ERP de la BD TOPO
  - ! liste non-exhaustive (notamment écoles) !*
  - ! problèmes de géoréférencement !*
- Utilisation de données fournies par les collectivités
- Superposition avec la carte LCZ (aléa) pour mettre en évidence les lieux les plus à risque



La Roche-sur-Yon

Vulnérabilité des lieux sensibles



# ÉTUDE DE LA HAUTEUR DE VÉGÉTATION

➤ Issue de l'imagerie satellite (+ donnée 3D pour obtenir l'information de hauteur) :

- information objective = photographie du territoire
- information exhaustive = sur tout le territoire
- mais information à un instant  $t$  (possibles évolutions depuis)

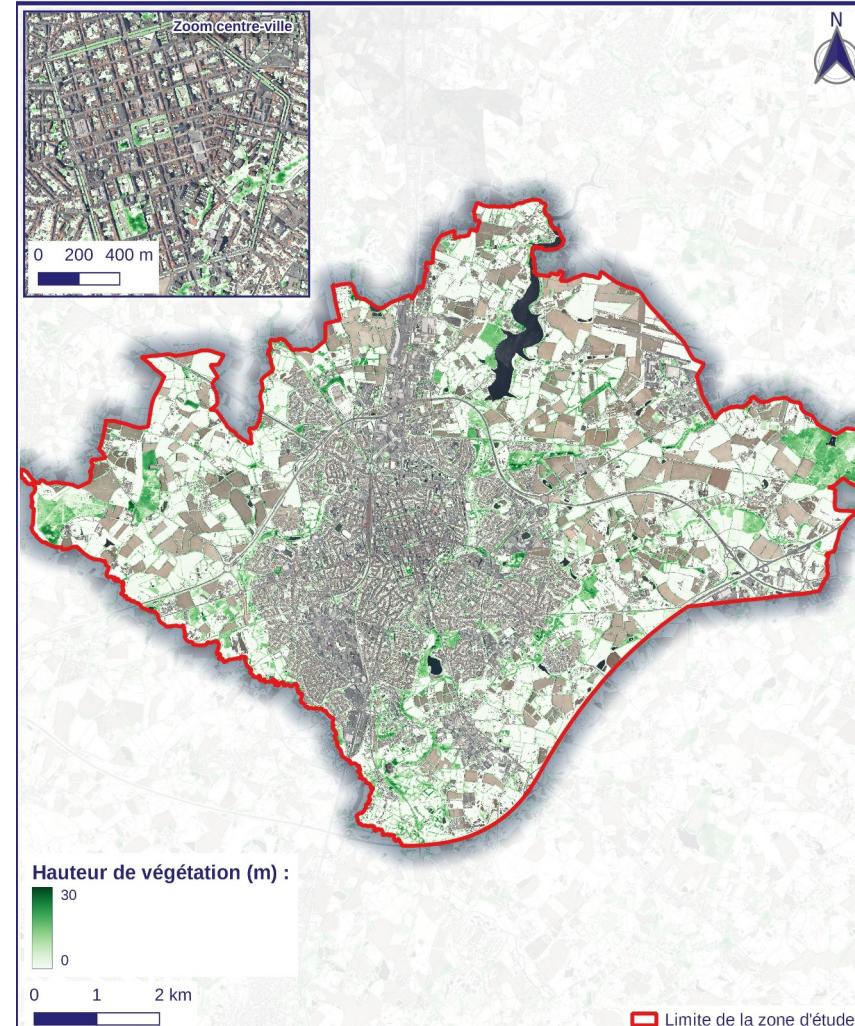
➤ Permet de détecter de façon relativement fine la végétation, notamment en milieu urbain (haies, arbres isolées, jardins privatifs...)

➤ Permet de faire un suivi de l'évolution de la végétation



La Roche-sur-Yon

Cartographie de la hauteur de végétation



Sources : SPOT-7 © Airbus DS / BD TOPO © IGN / © Cerema

Réalisation : Cerema Occitanie / DT / OSECC (pôle satellite), décembre 2023

