

# Générateur semi-procédural de villes virtuelles à partir de données géographiques ouvertes

---

Nicolas Audebert

LASTIG – équipe STRUDEL

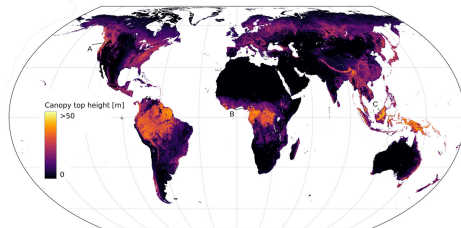
Journée de la recherche UGE-IGN-ENSG – 28 mars 2024



## Apprentissage machine et observation de la Terre

Le *machine learning* est un outil essentiel pour l'interprétation des images de télédétection :

- ▶ estimation de la biomasse,
- ▶ cartographie de l'occupation/usage des sols,
- ▶ calcul d'indicateurs démographiques ou de développement



(a) Hauteur de la canopée (EcoVision, ETHZ)

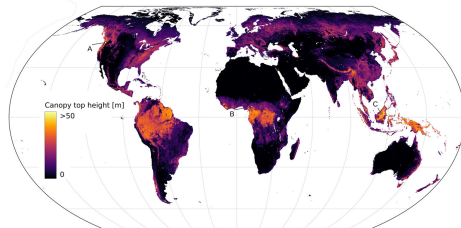


(b) Occupation des sols par IA (IGN)

## Apprentissage machine et observation de la Terre

Le *machine learning* est un outil essentiel pour l'interprétation des images de télédétection :

- ▶ estimation de la biomasse,
- ▶ cartographie de l'occupation/usage des sols,
- ▶ calcul d'indicateurs démographiques ou de développement



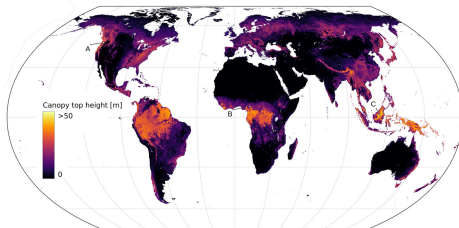
(a) Hauteur de la canopée (EcoVision, ETHZ)

(b) Occupation des sols par IA (IGN)

## Apprentissage machine et observation de la Terre

Le *machine learning* est un outil essentiel pour l'interprétation des images de télédétection :

- ▶ estimation de la biomasse,
- ▶ cartographie de l'occupation/usage des sols,
- ▶ calcul d'indicateurs démographiques ou de développement



(a) Hauteur de la canopée (EcoVision, ETHZ)

(b) Occupation des sols par IA (IGN)

## Apprentissage machine et observation de la Terre

Le *machine learning* est un outil essentiel pour l'interprétation des images de télédétection :

- ▶ estimation de la biomasse,
- ▶ cartographie de l'occupation/usage des sols,
- ▶ calcul d'indicateurs démographiques ou de développement

## Sur quoi entraîner nos modèles ?

Les données de télédétection (images aériennes ou satellitaires) sont extrêmement nombreuses...mais quasiment jamais étiquetées.

Pourtant les modèles ont besoin d'exemples pour être entraînés !



**Figure 1** – Ouragan Harvey, tsunami Palu, séisme à Mexico, feu à Santa Rosa.<sup>1</sup>

Les catastrophes naturelles sont des événements *rare*s :

- ▶ Peu d'exemples annotés,
- ▶ Peu d'exemples tout court...

Comment peut-on entraîner des modèles d'IA pour cartographier les conséquences d'une catastrophe avec peu d'exemples réels ?

1. Images DigitalGlobe, xBD : Gupta et al., 2019.

## Comment produire une ville synthétique ?

Au niveau macro, il nous faut savoir :

- ▶ Quel est son organisation ?
  - ▶ Réseau routier, plan d'urbanisme, répartition des zones commerciales/résidentielles/industrielles
- ▶ Quelle est sa topographie ?

Au niveau micro :

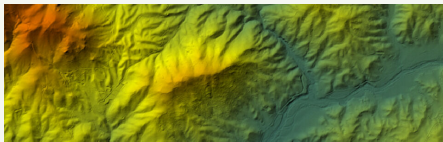
- ▶ Quelle architecture ? Quelles infrastructures ?
- ▶ Quelle végétation, quel climat, quels usages ?

## Solution : jumeau basse fidélité

S'inspirer du réel et inventer là où c'est nécessaire : « géotypique ».

# Quelles données ouvertes ?

## RGE ALTI



Modèle numérique de terrain :

- ▶ Résolution 1 point/m<sup>2</sup>
- ▶ Exactitude altimétrique < 1m
  - ▶ < 0,5m en zone inondable

⇒ résout la question de la topographie et de l'organisation spatiale de l'aire géographique à simuler

<https://geoservices.ign.fr/rgealti>



## BD TOPO



Base de données vectorielles des éléments du territoire : bâti, hydrographie, occupation du sol (végétation), transport (réseau routier).

<https://geoservices.ign.fr/bdtopo>



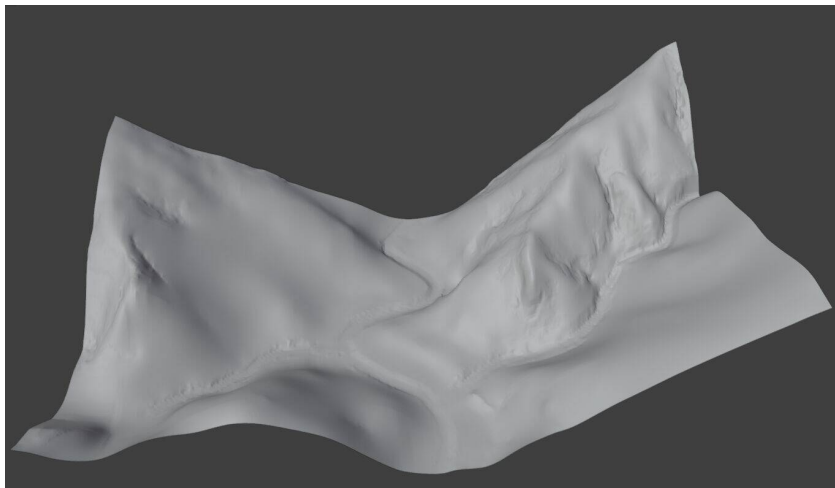


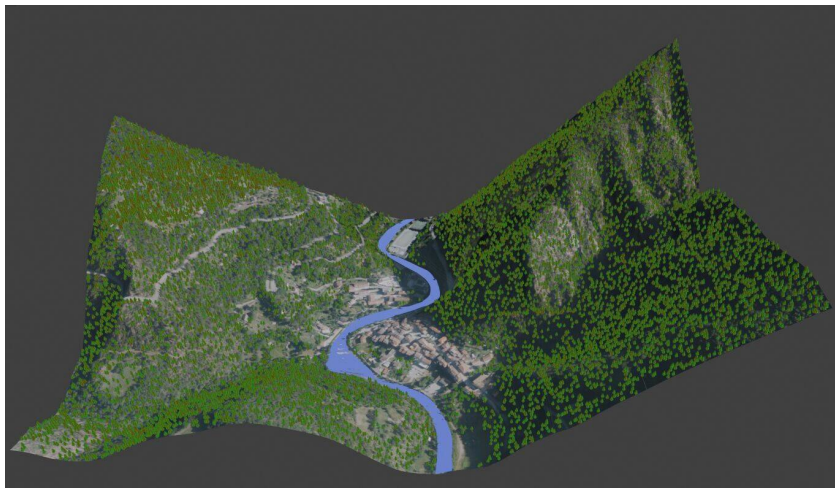
Figure 2 – Création d'un maillage du terrain à partir du RGEALTI



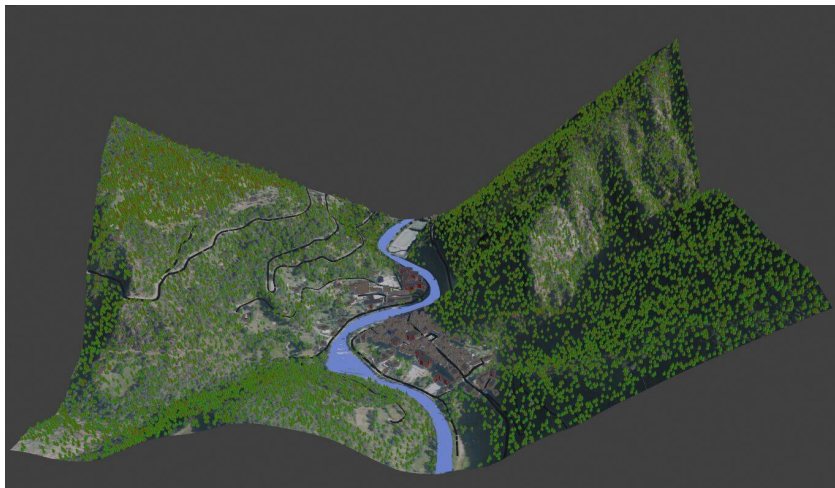
Figure 2 – Application d'une texture raster de la BD ORTHO



Figure 2 – Modélisation des tronçons hydrographiques depuis la BD TOPO



**Figure 3** – Distribution aléatoire d'arbres dans les zones forestières identifiées dans la BD TOPO



**Figure 3** – Modélisation des bâtiments et des routes à partir des empreintes au sol (polygones pour le bâti, linéaires pour le routier)

## Buildify

**Buildify**<sup>2</sup> est un générateur procédural de bâtiments.

- + Nécessite seulement l'emprise 2D du bâtiment et sa hauteur
- + Intégré dans Blender (*Geometry Nodes*)
- Ne gère que les toits plats

## Points spécifiques

- ▶ Catégorisation des bâtiments selon l'usage
  - ▶ Extraction du nombre d'étages et/ou de la hauteur
- si information absente, tirage aléatoire

ID	USAGE1	NB_ETAGES	HAUTEUR
BATIMENT0000000358879996	Indifférencié	NULL	12,20
BATIMENT0000000358879997	Résidentiel	11	13,80
BATIMENT0000002000193826	Indifférencié	NULL	24,30
BATIMENT0000002000193827	Religieux	NULL	23,00
BATIMENT0000002000193828	Commercial et services	1	17,80
BATIMENT0000002000315717	Indifférencié	NULL	3,00
BATIMENT0000002000478237	Résidentiel	8	27,00
BATIMENT0000002000478238	Commercial et services	8	27,00
BATIMENT0000002000478239	Commercial et services	1	6,40
BATIMENT0000002000478240	Religieux	NULL	6,50
BATIMENT0000002000566756	Sportif	6	19,40
BATIMENT0000002000566757	Commercial et services	6	18,60
BATIMENT0000002000705090	Indifférencié	NULL	6,70
BATIMENT0000002002027771	Résidentiel	1	4,20
BATIMENT0000002002027772	Résidentiel	2	6,10

2. <https://paveloliva.gumroad.com/l/buildify>



Figure 4 – Zoom sur une portion de ville

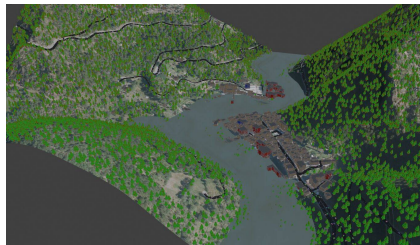
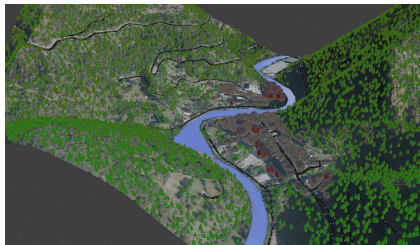


Figure 4 – Ajout aléatoire de voitures sur le réseau routier





Figure 4 – Simulation d'une inondation par crue



## Inondation par montée des eaux

- ▶ Hypothèse : même capacité d'absorption de tous les sols, apport de l'eau uniquement par crue.
- ▶ Simulation par propagation : la hauteur d'eau ajoutée est proportionnelle à la distance géodésique d'un point au tronçon hydrographique le plus proche.



Figure 5 – Simulation d'une acquisition aérienne

## Rendu des orthophotos

- Choix des paramètres d'illumination : date et heure pour la position du soleil
- Caméra orthographique réelle ou projective : résolution, altitude, angle, focale

## Complétude du générateur procédural

- ▶ Intégrer des générateurs plus variés pour  $\neq$  catégories de bâti
- ▶ Gestion des infrastructures routières hors-route
- ▶ Génération du mobilier urbain
- ▶ Génération de textures

## Au-delà de la photo

- ▶ Simulation de nuages de points Lidar
- ▶ Simulation d'acquisitions multispectrales

## Vers un jumeau haute fidélité

- ▶ Croisement des sources de données : BD Forêt, cadastre, RPG.
- ▶ Quelles données pour plus de réalisme ?

- ▶ Données ouvertes + génération procédurale = jumeau numérique basse fidélité
- ▶ Travailler en monde virtuel permet de simuler des acquisitions difficiles à obtenir dans le réel

Contact : [nicolas.audebert@ign.fr](mailto:nicolas.audebert@ign.fr)

Code : <https://github.com/geo-mage/>

**anr**<sup>®</sup> Ces travaux sont issus du projet MAGE (2022–2026), financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

Travaux menés au Conservatoire national des arts et métiers par Armand Verstraete et Nicolas Audebert.