

Offre de thèse – modèles génératifs profonds pour la génération procédurale et la génération procédurale inverse

Date limite de candidature : 15 mars 2025

Candidature en ligne

| | |
|--------------------------|---|
| Localisation | Champs-sur-Marne (77) |
| Rémunération | ≈1800€ net/mois |
| Contrat | CDD (36 mois) |
| Télétravail | Partiel |
| Prise de fonction | Au plus tard 1 ^{er} mai 2025 |
| Contacts | Nicolas Audebert (nicolas.audebert@ign.fr) Julien Perret (julien.perret@ign.fr) |

Mots-clés : apprentissage profond, génération procédurale, données géospatiales, modèles génératifs.



(a) Génération de plan de ville par GAN (source).

(b) Génération procédurale inverse de bâtiments [20].

1 Le projet de recherche

L'entraînement de modèles d'apprentissage profond pour l'interprétation d'images aériennes et satellitaires requiert de grandes quantités de données annotées. Toutefois, si d'importants volumes de données d'observation de la Terre sont disponibles grâce aux satellites européens Sentinel-2 et aux programmes français SPOT et BDORTHO, cette masse de données est non-étiquetée. En effet, peu d'images de télédétection sont étiquetées avec une information sémantique utile pour entraîner des réseaux profonds.

Pour pallier ces difficultés, la recherche en intelligence artificielle s'est intéressée à la génération de bases de données d'images *synthétiques*. La popularisation de l'intelligence artificielle dite « générative » permet ainsi de produire des jeux de données annotés, en générant des images diverses dans des configurations connues. La génération procédurale est en outre un procédé historiquement bien connu dans la communauté du jeu vidéo, permettant de produire rapidement de grands mondes virtuels en trois dimensions.

2 Les missions scientifiques

L'objectif principal de cette thèse est de combiner les forces de l'**apprentissage profond** et de la **génération procédurale** basée grammaire pour les données géospatiales.

La **génération procédurale** désigne les algorithmes de création de contenu, en particulier pour le jeu vidéo [7]. Ces techniques produisent des mondes virtuels cohérents [1], notamment pour la modélisation et la simulation. La génération procédurale regagne en popularité car elle permet de produire de grands volumes de données synthétiques annotées, sur lesquels entraîner des réseaux profonds [11, 10]. Historiquement, la génération procédurale s'appuie sur quatre familles de méthodes : l'exploration [17], la satisfaction de contraintes [18], les grammaires [15], et l'apprentissage [5, 14].

Les **grammaires** (ou assimilées, par exemple le système-L [21]) sont particulièrement intéressantes. Elles se fondent sur un langage formel qui définit quelles sont les instances acceptables des objets à générer. Cette grammaire permet d'inclure une connaissance spécialisée et *interprétable*. Cependant, définir manuellement une grammaire requiert une expertise et implique souvent une approche par essai-erreur. En comparaison, la génération procédurale par apprentissage statistique permet d'apprendre à générer des objets à partir d'un corpus existant. Toutefois, les modèles appris sont susceptibles de

générer des objets inacceptables (par exemple, des maisons sans aucune porte). Par ailleurs, les approches récentes, notamment par apprentissage profond, nécessitent des jeux de données de grande taille pour exceller, ce qui n'est pas toujours possible. En particulier, les entités géographiques urbaines (typiquement les routes et les bâtiments) doivent respecter des a priori géométriques forts parfois complexes à satisfaire [6].

Cette thèse s'intéresse ainsi à l'**hybridation entre la génération procédurale symbolique**, en particulier les grammaires, **et l'apprentissage profond**. Des approches hybrides peuvent permettre d'apprendre à partir de moins d'exemples, tout en respectant mieux les contraintes imposées sur les données par une grammaire [9]. L'objectif est double :

1. Concevoir des architectures génératives de réseaux de neurones dont les sorties sont contraintes par une grammaire. Ainsi, le modèle sera garanti de ne générer que des objets acceptables vis à vis d'une grammaire fournie par l'utilisateur [8]. Plus précisément, on s'intéressera :
 - à contraindre les cartes de segmentation d'un modèle prédictif à respecter une grammaire sur l'agencement spatial des objets,
 - ou bien à des modèles génératifs qui ne peuvent produire que des objets acceptables selon une grammaire imposée, par exemple de bâtiments.
2. Développer des modèles capables d'inférer tout ou partie d'une grammaire à partir d'un corpus d'exemples (génération procédurale inverse [12] et inférence de grammaire). En particulier, on cherchera :
 - des méthodes capables d'apprendre automatiquement les symboles terminaux du langage, notamment à l'aide de l'apprentissage de prototypes [4, 13],
 - puis à des méthodes capables de déduire les règles de production de la grammaire [2].

Ces techniques de génération seront appliquées à des données géospatiales en 2D et 3D pour la génération de villes [16, 19, 3], telles que les plans cadastraux (emprises au sol de parcelles et de bâtiments), des modèles 3D de bâtiments (produits manuellement ou extraits du Lidar HD) ou des cartes d'occupation du sol.

3 Le profil recherché

Le ou la candidate idéale dispose d'une formation de niveau bac+5 (master ou ingénieur) dans l'un des domaines suivants : science des données, jeu vidéo, géomatique. Il ou elle démontre une expérience de la programmation, en particulier avec le langage Python. Une connaissance des outils de gestion projet informatique, notamment Git, sera appréciée. Une bonne maîtrise de l'anglais (écrit et oral) est un pré-requis. Sans être indispensable, une première expérience avec la génération procédurale, les modèles profonds génératifs ou les données géospatiales est un plus.

4 L'environnement d'accueil

L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle des ministères chargés de l'écologie et de la forêt. Sa vocation est de produire et diffuser des données et des représentations (cartes en ligne et papier, géovisualisation) de référence relatives à la connaissance du territoire national et des forêts françaises ainsi qu'à leur évolution. Grâce à son école d'ingénieurs, l'ENSG-Géomatique, et à ses équipes de recherche pluridisciplinaires, l'institut cultive un potentiel d'innovation de haut niveau dans plusieurs domaines (géo-désie, forêt, photogrammétrie, intelligence artificielle, analyse spatiale, visualisation 3D...).

Le LASTIG¹ est une unité mixte de recherche sous la tutelle de l'IGN-ENSG et de l'Université Gustave Eiffel. Le laboratoire mène des recherches finalisées en sciences et techniques de l'information géographique. L'équipe STRUDEL s'intéresse aux structures spatio-temporelles pour l'analyse des territoires, notamment l'extraction et la structuration de connaissances concernant la description du territoire, ses caractérisations possibles, ses évolutions et la réutilisation de ces connaissances pour la simulation. Dans ce cadre, l'équipe mène des recherches sur l'exploitation de données synthétiques pour la simulation, la création de jumeaux numériques et l'apprentissage semi-supervisé.

Organisation : Le contrat de travail est un CDD de 36 mois à temps plein, sous condition d'inscription à l'école doctorale MSTIC. La rémunération prévue est de 1800€ mensuels nets.

Localisation : Le laboratoire se situe au sein de l'ENSG à Champs-sur-Marne (94), proche de Paris par le RER A.

Avantages :

- Pratique possible du télétravail après une période de prise de poste
- Équipements sportifs disponibles sur site
- Associations culturelles et sportives au sein de l'IGN
- Restauration d'entreprise
- Remboursement transport 75% et indemnités kilométriques vélo

Procédure : examen du CV, suivi d'un entretien sur place ou en visioconférence incluant un test technique. Candidature :

<https://www.ign.fr/nous-rejoindre/offres-emploi/doctorant-e-modeles-generatifs-profonds-pour-la-gen>

1. Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique <https://www.umr-lastig.fr>

Références

- [1] Abdul LATIF et al. "A Critical Evaluation of Procedural Content Generation Approaches for Digital Twins". In : *Journal of Sensors* 2022 (29 juill. 2022), e5629645. URL : <https://www.hindawi.com/journals/js/2022/5629645/>.
- [2] Peter BELCAK, David HOFER et Roger WATTENHOFER. "A Neural Model for Regular Grammar Induction". In : *2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. 2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). Déc. 2022, p. 401-406. URL : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10069747>.
- [3] Tom KELLY. "CityEngine : An Introduction to Rule-Based Modeling". In : *Urban Informatics*. Sous la dir. de Wenzhong SHI et al. Singapour : Springer, 2021, p. 637-662. URL : https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_35.
- [4] Oscar LI et al. "Deep Learning for Case-Based Reasoning Through Prototypes : A Neural Network That Explains Its Predictions". In : *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* 32.1 (1 29 avr. 2018). URL : <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/11771>.
- [5] Jialin LIU et al. "Deep Learning for Procedural Content Generation". In : *Neural Computing and Applications* 33.1 (1^{er} jan. 2021), p. 19-37. URL : <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05383-8>.
- [6] Bruno VALLET et Franck TAILLANDIER. "Fitting Constrained 3D Models in Multiple Aerial Images." In : *BMVC*. 2005. URL : https://www.robots.ox.ac.uk/~phst/BMVC2005/papers/176/Vallet_Taillandier_BMVC2005.pdf.
- [7] Georgios N. YANNAKAKIS et Julian TOGELIUS. "Generating Content". In : *Artificial Intelligence and Games*. Sous la dir. de Georgios N. YANNAKAKIS et Julian TOGELIUS. Cham : Springer International Publishing, 2018, p. 151-202. URL : https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4_4.
- [8] Matt J. KUSNER, Brooks PAICE et José Miguel HERNÁNDEZ-LOBATO. "Grammar Variational Autoencoder". In : *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning - Volume 70*. ICML'17. Sydney, NSW, Australia : JMLR.org, 6 août 2017, p. 1945-1954.
- [9] Léo GÉRÉ, Nicolas AUDEBERT et Philippe RIGAUX. "Improved Symbolic Drum Style Classification with Grammar-Based Hierarchical Representations". In : *International Society for Music Information Retrieval Conference 2024*. San Francisco, United States, nov. 2024. URL : <https://hal.science/hal-04660056>.
- [10] Alexander RAISTRICK et al. "Infinigen Indoors : Photorealistic Indoor Scenes Using Procedural Generation". In : *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2024, p. 21783-21794. URL : https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2024/html/Raistrick_Infinigen_Indoors_Photorealistic_Indoor_Scenes_using_Procedural_Generation_CVPR_2024_paper.html.
- [11] Alexander RAISTRICK et al. "Infinite Photorealistic Worlds Using Procedural Generation". In : *2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Juin 2023, p. 12630-12641. URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/10204989>.
- [12] O. ŠTÁVA et al. "Inverse Procedural Modeling by Automatic Generation of L-systems". In : *Computer Graphics Forum* 29.2 (2010), p. 665-674. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8659.2009.01636.x>.
- [13] Junxian HE, Taylor BERG-KIRKPATRICK et Graham NEUBIG. "Learning Sparse Prototypes for Text Generation". In : *Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems*. NIPS '20. Red Hook, NY, USA : Curran Associates Inc., 6 déc. 2020, p. 14724-14735.
- [14] Matthew GUZDIAL, Sam SNODGRASS et Adam J. SUMMERVILLE. *Procedural Content Generation via Machine Learning : An Overview*. Synthesis Lectures on Games and Computational Intelligence. Cham : Springer International Publishing, 2022. URL : <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-16719-5>.
- [15] Roland van der LINDEN, Ricardo LOPES et Rafael BIDARRA. "Procedural Generation of Dungeons". In : *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 6.1 (mars 2014), p. 78-89. URL : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6661386>.
- [16] Yoav I. H. PARISH et Pascal MÜLLER. "Procedural Modeling of Cities". In : *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. SIGGRAPH '01. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 1^{er} août 2001, p. 301-308. URL : <https://doi.org/10.1145/383259.383292>.
- [17] Julian TOGELIUS et al. "Search-Based Procedural Content Generation : A Taxonomy and Survey". In : *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* 3.3 (sept. 2011), p. 172-186.
- [18] Ruben SMELIK et al. "Semantic Constraints for Procedural Generation of Virtual Worlds". In : *Proceedings of the 2nd International Workshop on Procedural Content Generation in Games*. PCGames '11. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 28 juin 2011, p. 1-4. URL : <https://doi.org/10.1145/2000919.2000928>.
- [19] R. CURA, J. PERRET et N. PAPANODITIS. "STREETGEN : IN-BASE PROCEDURAL-BASED ROAD GENERATION". In : *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* II-3-W5 (20 août 2015), p. 409-416. URL : <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/II-3-W5/409/2015/>.
- [20] Daniel G. ALIAGA, Paul A. ROSEN et Daniel R. BEKINS. "Style Grammars for Interactive Visualization of Architecture". In : *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 13.4 (2007), p. 786-797.
- [21] Jean-Eudes MARVIE, Julien PERRET et Kadi BOUATOUCH. "The FL-system : A Functional L-system for Procedural Geometric Modeling". In : *The Visual Computer* 21.5 (1^{er} juin 2005), p. 329-339. URL : <https://doi.org/10.1007/s00371-005-0289-z>.