



HAL
open science

Sobriété foncière, comme cas d'usage du jumeau numérique du bâti

Lise Grolleau

► **To cite this version:**

Lise Grolleau. Sobriété foncière, comme cas d'usage du jumeau numérique du bâti. Sciences de l'environnement. 2023. dumas-04510860

HAL Id: dumas-04510860

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04510860>

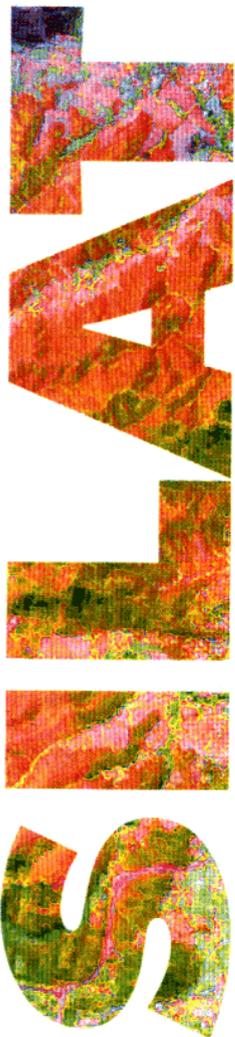
Submitted on 19 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Sobriété foncière, comme cas d'usage du jumeau numérique du bâti

Lise Grolleau

Directeur du projet : Joël Planchet (Avineon)
Tuteur SILAT : Christiane Weber (CNRS)
Rapporteurs : Frédéric Portet (AgroParisTech)

SYSTEMES
D'INFORMATIONS
LOCALISÉES
POUR
L'AMÉNAGEMENT
DES TERRITOIRES

Septembre 2023





L'établissement AgroParisTech diffuse ce mémoire et se dégage de toute responsabilité sur le contenu proposé.

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition.

L'obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document doit être respectée selon la licence Creative Commons apposée

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation "Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification 4.0 France disponible en ligne : <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



LETTRE DE MISSION

<u>Commanditaire</u>	<u>Tuteur</u>	<u>Chef du projet</u>
Joël Planchet Avineon	Frédéric Portet AgroParisTech	Lise Grolleau

Intitulé du projet : Le jumeau numérique au service de la sobriété foncière

Echéance du projet : 3 avril 2023 au 14 septembre 2023

Contexte :

Le sol, ressource non-renouvelable, est hôte de biodiversité et participe en grande partie à la régulation du climat. Il a pourtant longtemps été considéré comme un simple support des activités humaines et les effets de son artificialisation sont aujourd’hui au cœur des débats. La loi climat et résilience de 2021, ainsi que l’objectif de Zéro Artificialisation Nette (ZAN), imposent aux collectivités la nécessité d’instaurer des mesures pour contrôler cette artificialisation du territoire. La sobriété foncière devient ainsi un élément central des politiques publiques.

En parallèle, le développement de données et modélisations 3D a permis à la métropole de Montpellier de mettre en place un jumeau numérique. Avineon a réalisé dans ce projet la modélisation 3D du bâti. L’utilisation de jumeau numérique semble aujourd’hui être un atout dans l’aide à la décision pour des politiques publiques notamment en aménagement urbain afin de répondre aux enjeux d’artificialisation des sols.

Objectifs :

L’objectif principal de cette mission professionnelle est de déterminer un (des) cas d’usage(s), à partir de la modélisation 3D du bâti de la métropole de Montpellier, en aménagement urbain et sobriété foncière avec la construction d’une base de travail SIG.

Finalités :

- Présenter un(des) cas d’usage(s) de jumeaux numériques au service de la sobriété foncière
- Présenter une description de l’approche aux Geodatadays – 14 septembre 2023

Livrables :

- Synthèse documentaire sur le jumeau numérique et la sobriété foncière
- Rapport écrit présentant le travail réalisé avec l’analyse des résultats et d’éventuelles recommandations

Table des matières

Glossaire	4
Introduction	5
1. Contextualisation du projet	6
1.1. Le jumeau numérique du bâti chez Avineon	6
1.1.1. Présentation de l'entreprise	6
1.1.2. Le projet Montpellier 4D	6
1.1.3. La mission professionnelle	7
1.2. Analyse bibliographique, le jumeau numérique comme outil pour la sobriété foncière	8
1.2.1. La sobriété foncière : enjeu majeur de l'aménagement du territoire	8
1.2.2. Le jumeau numérique urbain : outil innovant en plein essor	11
2. Définition d'un cas d'usage : analyse des besoins et test de modélisation	12
2.1. Définition des besoins des territoires	13
2.1.1. Entretiens auprès d'acteurs de l'aménagement du territoire	13
2.1.2. La sobriété foncière par la surélévation des bâtiments	15
2.2. Enrichissement du modèle 3D	17
2.2.1. Le territoire d'étude	18
2.2.2. Les données	19
2.2.3. Méthodologie de modélisation	19
2.3. Résultats	25
3. Discussions des résultats	27
3.1. Retour d'expérience des Géodatadays	27
3.2. Les limites des réglementations dans les documents d'urbanisme	27
3.3. Ouvertures	29
Conclusion	31
Remerciements	32
Bibliographie	33
Table des illustrations	35
Annexes	36
Annexe 1 : Chronogramme	37
Annexe 2 : Synthèse bibliographique	38
Annexe 3 : Guides d'entretiens	43
Annexe 4 : Analyse croisée des entretiens	45
Annexe 5 : Compte-rendu des entretiens	47
Annexe 6 : Limites de hauteur par zone d'urbanisme	54

Glossaire

ABF : Architecte des Bâtiments de France

AUAT : Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulousaine

AUDRNA : Agence d'Urbanisme Région Nîmoise et Alésienne

AURAV : Agence d'Urbanisme Rhône Avignon Vaucluse

AVAP : Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine

COS : Coefficient d'Occupation du Sol

FNAU : Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme

NGF : Nivellement Général de la France

OAP : Opération d'Aménagement et de Programmation

OCS – GE : Occupation du Sol à Grande Echelle

PLU(i) : Plan Local d'Urbanisme (intercommunal)

PSMV : Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires

ZAN : Zéro Artificialisation Nette

Densification : augmentation du nombre d'habitants par kilomètre carré dans un espace donné

Étalement urbain : augmentation de la superficie d'une ville et diminution de sa densité de population

Renouvellement urbain : reconstruction de nouveaux bâtiments, voire de quartiers entiers dans le cadre d'opérations d'urbanisme, après destruction de l'existant

Revitalisation : requalification d'ensemble d'un espace

Unité foncière : îlot d'un seul tenant composé d'une ou plusieurs parcelles appartenant à un même propriétaire ou à la même indivision

Urbanisation : processus de croissance de la population urbaine et d'extension des villes

Introduction

L'urgence écologique et climatique actuelle est amplifiée par l'urbanisation croissante à l'échelle mondiale. D'après la Banque Mondiale, d'ici 2050, près de 68% de la population mondiale habitera en zone urbaine contre 56% en 2020 et 39% en 1980 (Banque Mondiale, 2021), une tendance qui exerce une pression considérable sur notre environnement déjà fragilisé. Ces espaces urbains doivent se préparer à accueillir cette population nouvelle, en faisant face à la pénurie croissante de logement. Refaire la ville sur la ville plutôt que de continuer à étendre ses limites, semble être l'une des clefs pour pallier entre autres au manque de logement. Les impacts négatifs de l'urbanisation sur le climat et l'environnement, la raréfaction progressive du foncier disponible pour la construction, la pression sur les espaces naturels, agricoles et forestiers sont tous des éléments mettant en évidence la nécessité de planifier l'urbanisation de manière responsable et durable, en favorisant des approches d'aménagement du territoire respectueuses de l'environnement et en prônant la densification urbaine intelligente.

Face à ce contexte, de nombreux gouvernements prennent des mesures concrètes et adoptent des politiques urbaines innovantes et durables pour favoriser la transition vers des infrastructures vertes et résilientes, limiter l'urbanisation et l'artificialisation des sols, et préserver les espaces naturels, agricoles et forestiers. En France, la loi climat et résilience et l'objectif Zéro Artificialisation Nette (ZAN) amènent les collectivités à reconsidérer leurs priorités concernant l'aménagement de leur territoire et à changer de paradigme en terme d'artificialisation des sols (FNAU, 2023). L'importance aujourd'hui est alors d'adapter la planification et l'aménagement des villes pour des espaces urbains plus résilients, sobres et durables. Pour cela, de nouveaux outils innovants tel que les jumeaux numériques sont développés afin d'aider les territoires à mettre en place des mesures de sobriété foncière.

Par quels moyens la sobriété foncière peut-elle être traduite dans un outil tel que le jumeau numérique urbain ? Comment mettre en application le ZAN plus simplement, malgré les pressions foncières et économiques des villes ?

La démarche du projet détaillé dans cette thèse professionnelle s'inscrit dans la mise en œuvre de l'objectif Zéro Artificialisation Nette ainsi que des objectifs de renouvellement urbain et de densification qui en découlent, au travers d'un outil innovant pour l'aménagement des territoires : le jumeau numérique urbain.

1. Contextualisation du projet

1.1. Le jumeau numérique du bâti chez Avineon

1.1.1. Présentation de l'entreprise

Le groupe Avineon¹|Tensing² sont deux entreprises spécialisées dans le domaine de la technologie de l'information et des services géospatiaux.

Fondée en 1992 et basée aux États-Unis, Avineon est spécialisée dans les services de géo-informatique et de modélisation de données. Elle propose des solutions personnalisées pour aider ses clients à gérer efficacement leurs actifs et optimiser leurs opérations, en intégrant les technologies de l'information géospatiale avec d'autres secteurs tels que les télécommunications, l'énergie, les infrastructures et les transports. L'entreprise est aujourd'hui présente dans plusieurs pays dont la France.

Tensing, créée en 1999 aux Pays-Bas, est reconnue pour son expertise dans les services géospatiaux et la gestion des données géographiques. L'entreprise offre des solutions clés en main pour divers secteurs tels que l'environnement, l'agriculture, l'urbanisme, les transports et la gestion des ressources naturelles. Grâce à son approche axée sur le client, Tensing accompagne ses partenaires dans leur transformation numérique et exploite pleinement le potentiel de l'information géographique.

Depuis 2005, Avineon et Tensing ont établi une collaboration stratégique, tirant parti de leurs expertises complémentaires pour offrir des solutions géospatiales encore plus performantes à leurs clients. Cette association permet de proposer une gamme complète de solutions géospatiales innovantes et personnalisées, couvrant tous les aspects de la chaîne de valeur géospatiale, de la collecte et de l'analyse des données géographiques à leur intégration dans des systèmes d'information complexes. Les clients bénéficient d'un accès à une expertise étendue et d'un réseau mondial d'experts géospatiaux pour répondre à leurs besoins locaux et internationaux.

1.1.2. Le projet Montpellier 4D

Dans le cadre du projet de jumeau numérique de la Métropole de Montpellier en 2022 « Montpellier 4D », Avineon a modélisé en 3D le bâti et la végétation. Ainsi, l'entreprise a modélisé près de 161 000 bâtiments, 1300 ponts et environ 3 millions d'arbres et de haies.

Ce projet s'inscrit dans la continuité d'une politique publique innovante de structuration de la donnée urbaine et territoriale afin d'améliorer son accès, son exploitation et développer de nouveaux services pour les agents et citoyens de la Métropole de Montpellier. L'ajout de la dimension temporelle (4^{ème}

¹ [Avineon | Visualize IT | See IT Through](#)

² [Tensing | Elevating Spatial Intelligence](#)

dimension) à la 3D va permettre d'observer et étudier de manière innovante l'évolution du territoire sur des thématiques métiers stratégiques pour la Métropole telles que l'urbanisation, la végétalisation ou la prévention des risques. Pour ajouter cette 4^{ème} dimension, Avineon a produit deux millésimes : le premier en 2020, et le second en 2017 (rétroactif), basé sur les changements détectés par rapport à 2020.

Pour parvenir à cette vision 4D, qui combine données temporelles et spatiales, Avineon a réalisé une restitution stéréo et une modélisation 3D des bâtiments. Une fois le premier millésime (2020) validé par la métropole, des outils de détection de changements ont été exécutés en utilisant les modèles 3D de 2020 et les données de 2017. La métropole de Montpellier a pour objectif de réaliser de nouveaux millésimes tous les trois ans mais également d'exploiter les données vectorielles 3D sur la ville de Montpellier déjà présentes (entre 2004 et 2016). Le rattachement à chaque objet modélisé d'un attribut "date" permet de gérer la dimension temporelle, ce qui permet de mettre en évidence les bâtiments qui ont été démolis, construits récemment ou modifiés.

Aujourd'hui, la métropole de Montpellier possède un modèle 3D et les équipes de l'aménagement du territoire de la métropole sont en recherche de cas pertinents à intégrer pour faire de ce modèle 3D un véritable jumeau numérique efficace pour l'aide à la décision.

1.1.3. La mission professionnelle

La mission professionnelle entre dans le cadre des activités du pôle Innovation (Recherche et développement) chez Avineon France et plus particulièrement dans la recherche de cas d'usages du jumeau numérique du bâti afin de compléter les données de modélisations 3D produites. La thématique de la sobriété foncière a été choisie en raison de mon parcours en urbanisme m'ayant doté de compétences dans les domaines du foncier et de l'artificialisation des sols.

L'objectif est de définir un cas d'usage en sobriété foncière pouvant être intégré dans un jumeau numérique à partir de la modélisation 3D du bâti pour faire de celui-ci un véritable outil d'aide à la décision. L'idée est de mettre en place une méthodologie pouvant être reproduite à plusieurs échelles et sur des territoires différents. Ce projet fera l'objet d'une présentation à l'évènement annuel de la géomatique, les Géodatadays comme objectif final clôturant la mission professionnelle.

Chez Avineon, je disposais de l'appui de plusieurs responsables de projet dont le responsable chargé de la modélisation 3D du bâti de la métropole de Montpellier ainsi que des professionnels FME et ESRI (Tensing). J'avais également à disposition des outils et logiciels (Qgis, ArcGIS, FME, RhinoCity, RhinoCapture). Les grandes étapes du projet ainsi qu'un planning général ont été défini en amont de la mission professionnelle (Annexe 1 : Chronogramme).

La première étape du projet a été une étude bibliographique afin d'analyser et de comprendre le contexte général du projet. Ainsi, les thématiques de sobriété foncière et d'artificialisation des sols sont étudiées et définies dans un premier temps. Le jumeau numérique et la modélisation 3D dans un second temps, et enfin, l'enjeu du projet pour Avineon est repositionné dans ce contexte général.

La deuxième étape concerne l'analyse des besoins qu'ont les acteurs de l'aménagement du territoire (notamment les collectivités). Le jumeau numérique doit répondre à des besoins pour être efficace dans son utilisation. Il faut donc interroger des professionnels de l'urbanisme pour connaître les besoins des territoires sur le sujet d'étude.

La troisième étape est l'enrichissement du modèle 3D afin de réaliser des tests sur la méthodologie du projet. Il faut y ajouter des données externes (règles d'urbanisme) afin de réaliser les simulations pour le cas d'usage défini.

Enfin la dernière étape a consisté à étudier les résultats, proposer des pistes d'améliorations et avoir un regard critique sur le travail réalisé.

1.2. Analyse bibliographique, le jumeau numérique comme outil pour la sobriété foncière

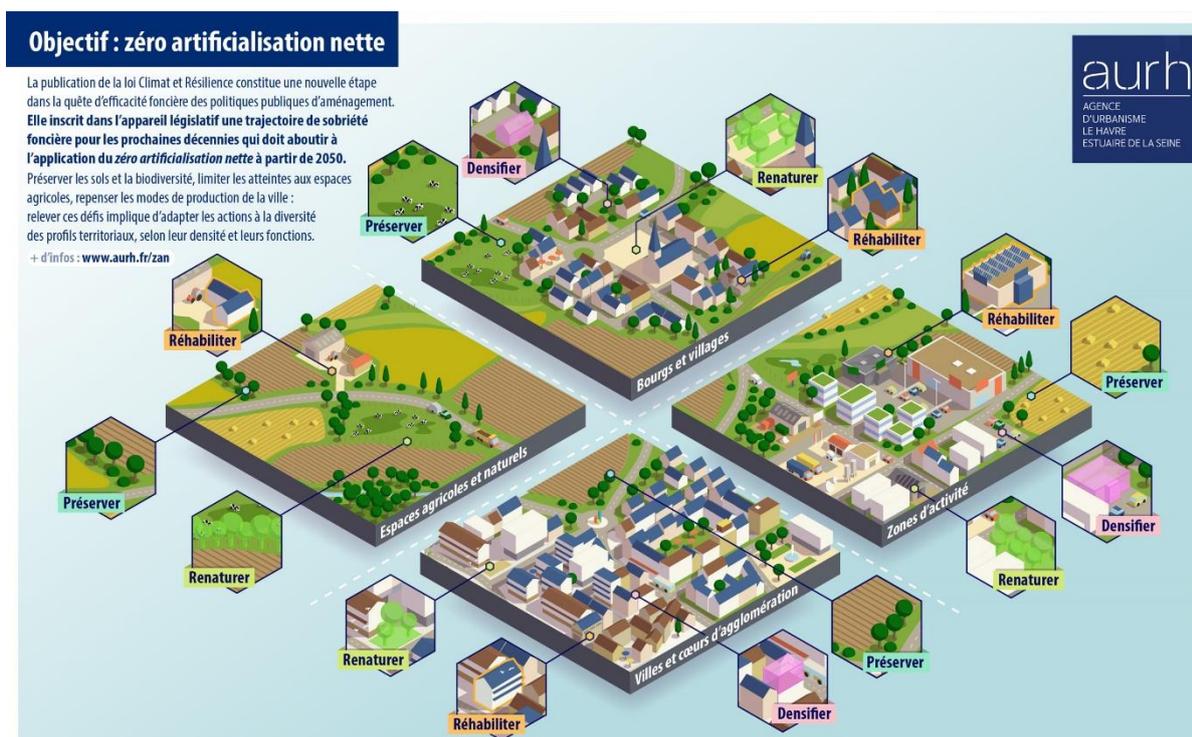
1.2.1. La sobriété foncière : enjeu majeur de l'aménagement du territoire

Une première synthèse bibliographique a été réalisée en début de stage (Annexe 2 : **Synthèse bibliographique**). Les points importants de celle-ci sont repris ici, détaillés et agrémentés des recherches réalisées.

L'ensemble du territoire français est concerné par l'artificialisation du sol, avec chaque année 20000 hectares de terres artificialisées en moyenne (l'équivalent de deux fois la ville de Paris)³. Ce phénomène, croissant depuis les années 80, tente d'être maîtrisé par les collectivités à travers la planification mais au vu des conséquences de l'artificialisation des sols sur le territoire (érosion de la biodiversité, consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers, augmentation des émissions de gaz à effets de serre, etc.) l'Etat a promulgué, dans la loi Climat et Résilience en 2021, un objectif strict pour 2050 : le Zéro Artificialisation Nette (ZAN).

³ [Artificialisation des sols | Ministères Écologie Énergie Territoires \(ecologie.gouv.fr\)](https://ecologie.gouv.fr)

Figure 1 : Le Zéro Artificialisation Nette par l'Agence d'Urbanisme Le Havre – Estuaire de la Seine (Source : AURH - Objectif : zéro artificialisation nette Intégrer la sobriété foncière dans la fabrique de la ville)



L'artificialisation des sols est définie dans le Code de l'Urbanisme (Article L. 101-2-1) « comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage » (Grauleau *et al.*, 2022, p.9). L'artificialisation nette correspond par conséquent au « solde de l'artificialisation et de la renaturation des sols constatées sur un périmètre et une période donnée » (Grauleau *et al.*, 2022, p.5). Il faut noter également de bien faire la différence entre l'artificialisation des sols et la consommation d'espaces (naturels, agricoles et forestiers). Cette dernière est définie comme la « création ou l'extension effective d'espaces urbanisés » sur les espaces naturels, agricoles et forestiers. Une distinction significative réside dans la manière dont les espaces ouverts sont envisagés. Historiquement, les espaces de pleine terre en milieu urbain (jardins, parcs, etc.) ont été clairement séparés des espaces naturels, agricoles et forestiers dans la consommation d'espace. Cependant, cette distinction perd de sa pertinence avec l'introduction du concept d'artificialisation, car il devient possible de préserver les fonctionnalités écologiques du sol en question malgré son aménagement. À l'opposé, l'ajout d'une nouvelle construction dans un jardin ou tout autre espace ouvert en zone urbaine ne sera pas compté comme une consommation d'espace, mais plutôt comme une forme d'artificialisation. Cette approche novatrice remet en question les anciennes notions et ouvre la voie à une meilleure intégration entre l'urbanisation et la préservation de la nature. (Bénet et Haran, 2022).

Cette distinction est importante puisque le Zéro Artificialisation Nette des sols donne des objectifs à deux horizons. Le premier objectif défini pour 2031, avec une réduction de moitié de la consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers par rapport à la décennie précédente (2011-2021). Puis de 2031 à 2050, une réduction de l'artificialisation pour tendre vers le Zéro Artificialisation Nette en 2050 avec une mise en place effective de cette mesure prévoyant qu'aucun nouvel espace ne pourra être artificialisé sans une mesure compensatoire.

L'objectif Zéro Artificialisation Nette c'est apporter une réponse aux évolutions sociétales, aux besoins des habitants, de s'adapter à la modification des modes de vies ; prendre en compte les enjeux du changement climatique tout en préservant l'identité des territoires. Il implique que le développement urbain prenne la forme du renouvellement, de la densification, de l'intensification et non plus de l'extension géographique, de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers ou de l'étalement urbain. C'est en ce sens que la sobriété foncière est définie dans plusieurs ouvrages comme le passage « d'un modèle de développement majoritairement basé sur l'étalement urbain à un modèle de recentrage du développement ancré sur le recyclage du foncier, le renouvellement urbain, l'optimisation des espaces déjà artificialisés, la minimisation de l'empreinte spatiale et écologique d'un développement démographique et économique » (Anon, 2021). La sobriété foncière serait alors l'équilibre entre l'économie du foncier (les espaces naturels, agricoles, et forestiers) et le développement du territoire en répondant aux besoins (en logements, en infrastructures, en activités économiques, etc.). C'est une démarche de consommation contenue des espaces naturels, agricoles et forestiers en accord avec les besoins de développement du territoire.

La sobriété foncière, c'est mobiliser le « déjà-là » (Collectif Léonard, 2023), c'est avoir une vision stratégique sur le futur pour anticiper l'objectif Zéro Artificialisation Nette. Les politiques doivent placer le curseur au bon endroit entre densifier beaucoup le bâti déjà existant ou s'étaler sur les espaces naturels, agricoles et forestiers. La forme et la manière de densifier un territoire représente toute la difficulté pour les collectivités puisqu'elles se heurtent à des réticences de la part des riverains notamment. De plus, les projets de densification sont plus complexes et plus coûteux.

La densification, est le résultat du consensus visant la croissance démographique et économique sans l'étalement urbain. C'est construire la ville sur la ville. « Densifier n'est pas suroccuper, bétonner ou construire des immeubles de grande hauteur, mais optimiser l'espace qui est à notre portée » (Mignery, 2020). Elle se traduit par différentes formes.

- L'extension horizontale correspond à l'extension ou à l'addition bâti. C'est-à-dire l'ajout d'une surface de plancher rattachée à un bâtiment existant.
- L'extension verticale correspond à la surélévation d'un bâtiment, soit l'ajout d'une surface de plancher (un ou plusieurs étages) au-dessus d'un bâtiment existant.

La densification par de nouvelles constructions se traduit de trois façons : (1) la division parcellaire avec la construction d'un autre bâtiment sur une parcelle déjà construite, (2) la rénovation par la construction d'un bâtiment après démolition de l'ancien et (3) la construction d'un nouveau bâtiment sur une parcelle en dent creuse (espace non construit entouré de parcelles bâties).

La densification peut également se faire par réhabilitation ou requalification de l'existant en rénovant d'anciens bâtiments abandonnés par exemple (CEREMA, 2021).

Le travail sur l'étude et l'analyse du foncier disponible pour la densification se développe à travers des stratégies de sobriété foncière. La densification se travaille en volume et en hauteur, donc en 3D. Les données disponibles pour l'analyse des gisements fonciers (Occupation du sol) en 2D ne sont plus suffisantes. « Le foncier aujourd'hui c'est de la 3D » Maryse Faye (19 juin 2023, Festival Building Beyond). Cette vision en 3D doit être pensée et réfléchi par les professionnels de l'aménagement. Le jumeau numérique semble alors être un outil indispensable pour la visualisation et la facilitation de la mise en œuvre de politiques de densification.

1.2.2. Le jumeau numérique urbain : outil innovant en plein essor

Le jumeau numérique est une technologie ayant révolutionné de nombreux secteurs d'activités. D'abord en industrie et en ingénierie ou même en médecine, il se développe aujourd'hui progressivement dans le domaine de l'aménagement du territoire avec des maquettes urbaines digitales. A travers celles-ci, les acteurs de l'aménagement des territoires tentent de répondre à trois questions fondamentales : What now ? What if ? What Next ? (Batchvarov, 2022).

Tableau 1 : What now ? What if ? What Next ?

What now ?	Que se passe-t-il actuellement sur le territoire ? Le jumeau numérique permet d'observer et de comprendre le fonctionnement d'un territoire.	Le jumeau numérique urbain est une réplique virtuelle de la ville « telle qu'elle fonctionne » (Le Madec et Pallone, 2022).
What if ?	Que se passerait-il si ? Il permet de faire des simulations de différents scénarios. Dans le cadre d'un projet d'aménagement par exemple, cela permet de tester plusieurs actions et d'analyser les impacts de chacune d'elles.	Il dépasse la simple visualisation de la ville et couvre l'ensemble de son cycle de vie. Il permet « d'anticiper dans le monde virtuel ce qui pourrait se passer dans le monde réel » (Richard, 2023).
What next ?	Que se passera-t-il après ? Cette maquette urbaine digitale permet de définir quel scénario est préférable afin de limiter l'impact de ce nouvel aménagement sur son environnement et favoriser un aménagement plus durable	Le jumeau numérique permet de faire des simulations virtuelles et de planifier différents scénarios. En aménagement, cet outil pourrait devenir indispensable notamment afin d'améliorer la prise de décision en matière de politiques publiques et répondre aux enjeux de sobriété foncière.

Le jumeau numérique repense les structures et les règles de gouvernance de la ville en faveur d'une urbanisation plus durable et d'une amélioration de la qualité de vie des populations urbaines.

Pour répondre à l'objectif de Zéro Artificialisation Nette des sols à l'horizon 2050, l'ensemble des acteurs de la ville de demain doit travailler ensemble et le jumeau numérique peut devenir un référentiel commun. Il aide à répondre à ces questions de maîtrise du foncier et de densification des espaces urbains, permet de simuler des scénarios afin que les dirigeants puissent prendre des décisions plus éclairées, tout en surveillant et en communiquant des progrès. Il favorise la transparence, la collaboration et la communication (Anon, 2023) et a par conséquent un fort potentiel, à condition de bien connaître le territoire, de cibler les besoins et définir des cas d'usages pertinents.

De nombreuses villes dans le monde lance leur modélisation 3D du bâti, mais des cas d'usages précis en aménagement urbain sont très récents, il y a donc peu de retour d'expérience précis.

Quelques exemples de jumeau numérique pour les projets d'aménagement urbain.

Le jumeau numérique de la ville de Rennes a pour objectif de visualiser les évolutions de la ville afin d'étudier les phénomènes urbains mais également de proposer des scénarios de nouvelles constructions pour analyser leur impact sur plusieurs aspects différents (Richard, 2023) (→ What if ?).

La ville de Boston a un jumeau numérique servant d'archives de l'évolution de la ville. Il est également utilisé pour tester des changements futurs avant de les réaliser dans le monde réel (Salomon, 2021).

A Helsinki, en Finlande, le jumeau numérique urbain est utilisé pour réaliser des simulations de l'apport solaire et des ombres portées au sol dans le cadre de l'aménagement d'un écoquartier (Favreau, 2022).

2. Définition d'un cas d'usage : analyse des besoins et test de modélisation

L'analyse bibliographique donne une connaissance plus fine du sujet. Tous les acteurs de l'aménagement du territoire sont concernés par la sobriété foncière et la maîtrise de l'artificialisation des sols. Mais afin de connaître précisément les besoins des territoires, une étude des besoins, à travers des entretiens de professionnels de l'aménagement, de l'urbanisme et de la géomatique, a été menée. Les différents échanges ont permis au fur et à mesure de faire ressortir un type de densification et de définir un cas d'usage précis de sobriété foncière dans le jumeau numérique. Après une courte étude bibliographique sur le type de densification en question, la méthodologie du cas d'usage a été définie pour pouvoir réaliser un exemple de modélisation et des simulations.

2.1. Définition des besoins des territoires

2.1.1. Entretiens auprès d'acteurs de l'aménagement du territoire

D'après l'étude bibliographique, la définition d'un cas d'usage du jumeau numérique en sobriété foncière semble novateur puisqu'il n'existe à ce jour pas d'exemple (public) sur ce sujet. L'étape de l'analyse des besoins a alors un enjeu important : définir en quoi le jumeau numérique pourrait avoir un impact dans un processus de sobriété foncière et de densification urbaine.

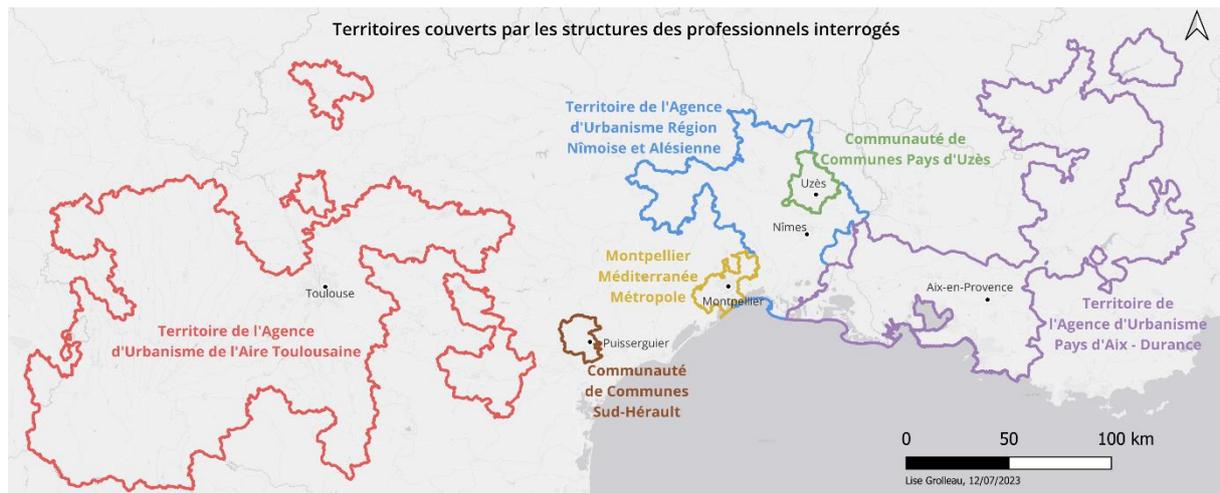
Selon la Banque des Territoires, la démarche de définition du besoin de la maîtrise d'ouvrage et des objectifs est fondamentale dans la mise en place du jumeau numérique. « La mise en œuvre d'un jumeau numérique n'est pas une fin en soi. Il est légitimé par la réponse à des besoins exprimés par les acteurs traduits en usages concrets du jumeau numérique. » (Le Madec et Pallone, 2022).

Le jumeau numérique du territoire a alors un fort potentiel en termes d'aménagement urbain durable et d'aide à la décision pour les collectivités, à condition de bien cibler les besoins et de définir des cas d'usages pertinents et utiles pour les utilisateurs. Ainsi, interroger de potentiels utilisateurs de jumeaux numériques urbains était une étape indispensable afin d'appréhender les besoins sur le sujet de la sobriété foncière.

Tableau 2 : Tableau des professionnels interrogés, structures et chiffres clés du territoire concerné.

Structure	Nom et fonction	Territoire d'intervention (chiffres clés)
Agence d'Urbanisme de l'Aire Toulousaine	Virginie Choppin – <i>Responsable du pôle données</i> Vivien Roy – <i>Statisticien et Informaticien</i>	47 communes adhérentes 9 intercommunalités 1,4 million d'habitants (en 2020)
Agence d'Urbanisme Pays d'Aix Durance	Sébastien Silvestre – <i>Administrateur de données/ Géomaticien</i>	37 communes membres 9 intercommunalités 2 millions d'habitants (en 2020)
Agence d'Urbanisme Région Nîmoise et Alésienne	Nicolas Caparros – <i>Technicien SIG</i> Harmonie Dagneau – <i>Chargée de mission Projets urbains/ Patrimoine</i> Delphine Soula – <i>Chargée de mission Analyse urbaine/ Foncier</i>	39 communes 7 intercommunalités 700 000 habitants (en 2020)
Communauté de Communes Pays d'Uzès	Claire Huber – <i>Directrice de l'Aménagement et du Développement Durable</i> Solène Bouet-Roussel – <i>Responsable de l'Urbanisme</i>	34 communes 29 039 habitants (en 2020)
Communauté de Communes Sud Hérault	Lucie Cauquil – <i>Service Urbanisme</i>	17 communes 17 999 habitants (en 2020)
Montpellier Méditerranée Métropole	Romain Thiebaut – <i>Chargé d'étude Cadres stratégiques</i>	31 communes 499 761 habitants (en 2020)

Figure 2 : Carte des territoires couverts par les structures de professionnels interrogés



La construction du guide d'entretien avec une trame commune à tous les entretiens a été choisie afin de permettre une analyse croisée des entretiens et de faire ressortir les points communs ainsi que les différences (Annexe 4 : Analyse croisée des entretiens). Chaque questionnaire a ensuite été adapté au type de structure et à la fonction de la personne interrogée. Chaque entretien (d'en moyenne une heure) a été réalisé en présentiel ou en distanciel selon la proximité géographique (Figure 2).

Le choix des personnes interrogées s'est fait par connaissance, au gré de rencontres lors de séminaires ou journées professionnelles sur les thématiques en lien avec le sujet (journée professionnelle OpenIG, séminaire sobriété foncière de l'AURAV, etc.) et agrémentées d'échanges lors de ces événements.

Un compte rendu de chaque entretien a été réalisé afin d'avoir une trace écrite des principaux éléments échangés (Annexe 5 : Compte-rendu des entretiens). Un tableau d'analyse croisée des entretiens a permis de faire ressortir les thématiques revenues plusieurs fois (Annexe 4 : Analyse croisée des entretiens).

Deux types d'organisations ont été interviewées : des intercommunalités et des agences d'urbanisme. Les agences d'urbanisme couvrent des territoires très vastes, au sein desquels les collectivités présentent des particularités très diverses. Elles se caractérisent par une vision pluridisciplinaire en ce qui concerne toutes les thématiques liées à l'aménagement du territoire. De plus, elles possèdent une connaissance approfondie des besoins et des enjeux propres à leurs territoires respectifs. Les agences d'urbanisme sont également très familières avec les contraintes réglementaires, tandis que les collectivités de taille plus modeste soulignent souvent les difficultés liées à la mise en œuvre des mesures liées au Zéro Artificialisation Nette (ZAN).

Dans les entretiens, la densification ressort comme l'idée principale de la sobriété foncière. Refaire la ville sur la ville semble être une évidence dans les réflexions des collectivités et des agences d'urbanisme. La densification sous toutes ses formes, mais la modélisation 3D aiderait en particulier pour les hauteurs, les volumes et la surélévation. Le jumeau numérique serait alors un outil pour aider

à la visualisation. Il permettrait aux habitants et aux élus de se projeter mais apparaît également pour ces derniers comme un véritable outil d'aide à la décision. Cependant, il est également important de mettre en avant les inégalités entre les territoires. Les faibles moyens, qu'ils soient humains, techniques ou financiers, des petites et moyennes collectivités s'opposent fortement aux grandes villes et notamment aux métropoles, qui pour beaucoup ont déjà un jumeau numérique, ou au moins des réflexions bien avancées sur le sujet. Pour les plus petites collectivités, le jumeau numérique peut parfois paraître comme un outil futuriste et inaccessible. Mais les professionnels de l'urbanisme et de l'aménagement des territoires sont unanimes, cet outil c'est l'avenir. Le jumeau numérique, c'est pouvoir répondre aux nombreux enjeux qui attendent les territoires dès aujourd'hui et dans les décennies à venir.

2.1.2. La sobriété foncière par la surélévation des bâtiments

L'analyse des entretiens permet de faire ressortir un besoin dans la visualisation et la planification du potentiel foncier notamment aérien. Le jumeau numérique urbain serait alors pertinent pour réaliser des simulations de surélévation. C'est de ce fait ce cas d'usage qui est choisi pour le projet et les tests de modélisation. Cependant, une étude bibliographique plus poussée sur la surélévation a été nécessaire dont une synthèse a été réalisée ci-après.

Il existe un espace urbain très peu exploité et pourtant à disposition pour répondre aux enjeux urbains de densification, de limite de l'artificialisation des sols et de l'étalement urbain. Il permet la création de nouvelles surfaces habitables, la rénovation énergétique des bâtiments ou encore l'apport de nature en ville (Mignery, 2020). Cet espace urbain, c'est le foncier aérien. Aujourd'hui, avec les objectifs de Zéro Artificialisation Nette, « il serait inconcevable de ne pas considérer, au même titre que la rue, ce territoire qu'est le toit » (Mignery, 2020), lors de la mise en place de nouveaux documents d'urbanisme (Plan Local d'Urbanisme intercommunal en cours pour la Métropole de Montpellier, Plan Local d'Urbanisme bioclimatique de Paris (Juin 2023) par exemple).

L'objectif de la surélévation est de réaliser un ouvrage à caractère définitif entraînant un exhaussement des façades et de la toiture (Susini, 2019). Ainsi, la surélévation ne renvoie pas systématiquement à la création d'étages supplémentaires créant des locaux privés. La surélévation est un procédé intéressant à étudier dans le principe où l'emprise au sol n'est pas touchée. Ainsi, il est possible d'augmenter les surfaces sans en artificialiser de nouvelles (Susini, 2019). Elle semble alors être une des clés pour faire face aux enjeux actuels de développement et d'aménagement durable, tant sur le plan environnemental que sur les plans sociaux et économiques. En effet, la surélévation peut permettre, grâce aux bénéfices issus de la vente des droits à construire ou des logements, une

revalorisation du bâtiment « au travers de travaux de rénovation énergétique, de création d'ascenseurs ou de rénovation des parties communes » (Susini, 2019).

Figure 3 : Exemple d'un projet de surélévation par UpFactor



Mais la surélévation est difficile à mettre en place pour plusieurs raisons.

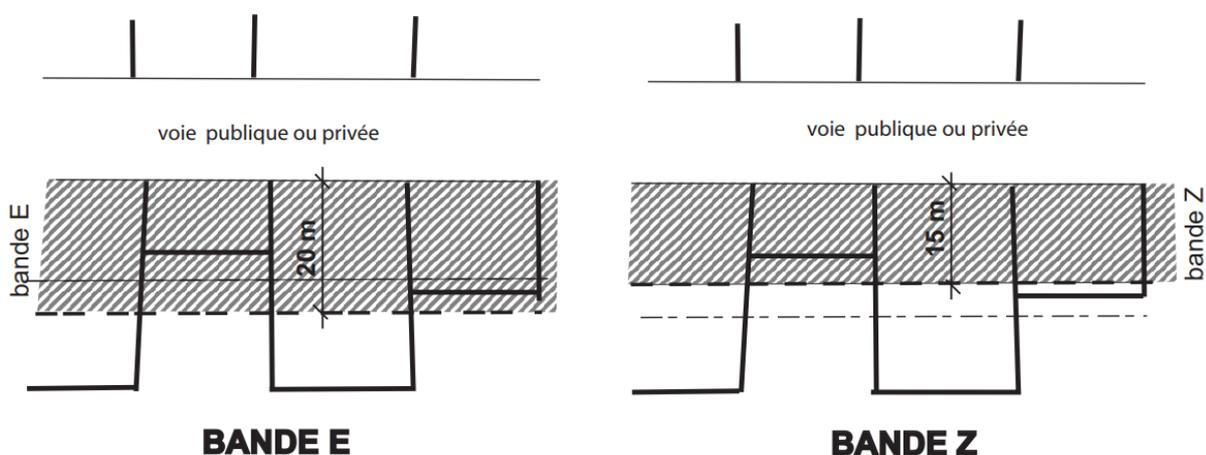
- Le mode de détention des immeubles, la copropriété peut être un frein à la surélévation.
- Comme toutes les formes de densification, l'acceptabilité, que ce soit de la part des élus ou des riverains. Un changement de paradigme dans l'aménagement urbain est nécessaire pour mettre en place plus de projet de surélévation.
- La surélévation des bâtiments est fortement règlementée dans les documents d'urbanisme.
- Du point de vue technique, la solidité structurelle existante du bâtiment doit être évaluée avec précision pour s'assurer qu'elle peut supporter l'ajout de nouveaux étages. De plus, l'intégration de systèmes tels que les escaliers, les ascenseurs et les installations de plomberie peut être complexe.
- Sur le plan financier, les coûts associés à la surélévation, y compris la conception, la construction, et la conformité aux normes, peuvent s'avérer considérables. Les investissements initiaux élevés peuvent constituer un obstacle majeur pour de nombreux propriétaires et promoteurs.

Les règles relatives à la hauteur des constructions trouvent leur base légale dans l'article L. 151-18 du code de l'urbanisme. Celui-ci dispose que le règlement du PLU peut déterminer les « dimensions » des constructions. L'article R. 151-39 précise qu'elles peuvent prendre la forme de règles maximales de hauteur. Les auteurs du PLU peuvent également recourir à des règles plus complexes combinant des contraintes de hauteur et de forme, le cas échéant en référence à des obligations d'implantation ou d'emprise. Ces règles dites de gabarit visent à définir une enveloppe constructible maximale à l'intérieure de laquelle chaque projet doit s'inscrire (Pellissier, 2020). Dans les documents d'urbanisme, les limites de hauteurs sont définies de plusieurs façons.

- Le cas de la hauteur plafond correspondant au maximum de la hauteur d'une construction.

- Le cas du prospect, en fonction de la largeur de voie correspondant à la hauteur des constructions en fonction de la largeur des voies.
- Le cas de la hauteur moyenne des constructions de l'îlot.
- Le cas du document graphique, où la hauteur est limitée sur des secteurs dans le document graphique avec des hauteurs spécifiques parfois à l'échelle du bâtiment.
- Le cas de l'indication d'une hauteur maximale d'une construction.
- Les bandes E et Z (Figure 4), où le positionnement du bâtiment au sein de la parcelle va influencer sur la hauteur maximale envisageable (Susini, 2019).

Figure 4 : Schéma explicatif des bandes E et Z (Source : [C_REG1FIG-V06.pdf \(paris.fr\)](#))



Les plans locaux d'urbanisme sont des documents complexes qui intègrent un grand nombre de règles différentes. L'analyse précise des possibilités de surélévation, à travers les règlements écrits et graphiques, est de ce fait, un travail long et minutieux.

2.2. Enrichissement du modèle 3D

L'objectif premier du stage était de définir un cas d'usage du jumeau numérique en sobriété foncière. Ce type de cas d'usage bénéficierait fortement aux collectivités afin de connaître le potentiel foncier aérien de leur territoire. Mais également de favoriser la densification par surélévation de façon réfléchie et stratégique. Il peut également être utile aux agences d'urbanismes comme outil de mutualisation pour les collectivités adhérentes. Mais connaître le potentiel foncier aérien est également profitable aux bailleurs sociaux, aux promoteurs immobiliers ou aux syndicats. Les bailleurs sociaux peuvent, par exemple, utiliser ces données pour évaluer la faisabilité de la construction de logements supplémentaires au-dessus des bâtiments existants, ce qui contribue à répondre à la demande croissante de logements abordables dans les zones urbaines densément peuplées. Les promoteurs immobiliers voient dans la surélévation une opportunité d'exploiter pleinement le

potentiel des terrains déjà urbanisés, souvent situés dans des zones recherchées. Cela peut leur permettre de créer de nouvelles résidences ou des espaces commerciaux supplémentaires, tout en optimisant l'utilisation du foncier disponible. Les syndics de copropriété sont également concernés, car ils doivent gérer les aspects techniques, financiers et juridiques liés à la surélévation dans le cadre de la copropriété. La connaissance précise du potentiel foncier aérien est essentielle pour planifier et réaliser ces projets de manière efficace, tout en respectant les droits et les préoccupations des copropriétaires. La connaissance du potentiel foncier aérien profite à un large éventail d'acteurs du secteur immobilier en favorisant une utilisation plus judicieuse de l'espace urbain existant, tout en répondant aux besoins changeants du marché immobilier.

Le cas d'usage maintenant défini, des tests de modélisations et de simulations ont été réalisés comme illustration. L'objectif est ici d'enrichir le modèle 3D existant en y intégrant les règles d'urbanismes et de tester ces règles entre l'existant et la réglementation afin de faire ressortir le potentiel foncier aérien d'un territoire défini. Ainsi, il est possible de constater l'incohérence des règles d'aujourd'hui pour proposer des modifications des règlements d'urbanisme aux élus.

Afin de réaliser une sélection précise du potentiel foncier, les règles de hauteurs doivent être croisées avec de nombreuses données. Il a ici été choisi de traiter l'entièreté des règles du PLU sur le secteur défini afin de pousser l'analyse réglementaire.

2.2.1. Le territoire d'étude

La modélisation 3D du bâti étant faite par Avineon pour et sur le territoire de la métropole de Montpellier, la localisation générale s'est directement portée sur cette métropole. Le choix de la commune de Montpellier a semblé être un territoire intéressant puisque c'est un territoire dense, avec peu et de moins de moins de possibilité d'étalement urbain. La ville doit alors se renouveler sur elle-même pour répondre aux enjeux démographiques et ainsi trouver de nouvelles manières de construire : la densification, en utilisant le « déjà-là ».

La commune de Montpellier est également un territoire que j'ai étudié pendant mes cinq années d'études en aménagement urbain, un territoire dont je connais l'historique urbanistique ainsi que les principaux enjeux démographiques, environnementaux et d'aménagement.

Le Plan Local d'Urbanisme de la commune de Montpellier a été approuvé le 2 mars 2006 et modifié dernièrement en juin 2022⁴. Il est composé, comme tout PLU de plusieurs documents⁵. Ici c'est le règlement écrit (847 pages) et le règlement graphique qui seront étudiés.

⁴ [Le plan local d'urbanisme de Montpellier - Ville de Montpellier](#)

⁵ [Les plans locaux d'urbanisme | collectivites-locales.gouv.fr](#)

2.2.2. Les données

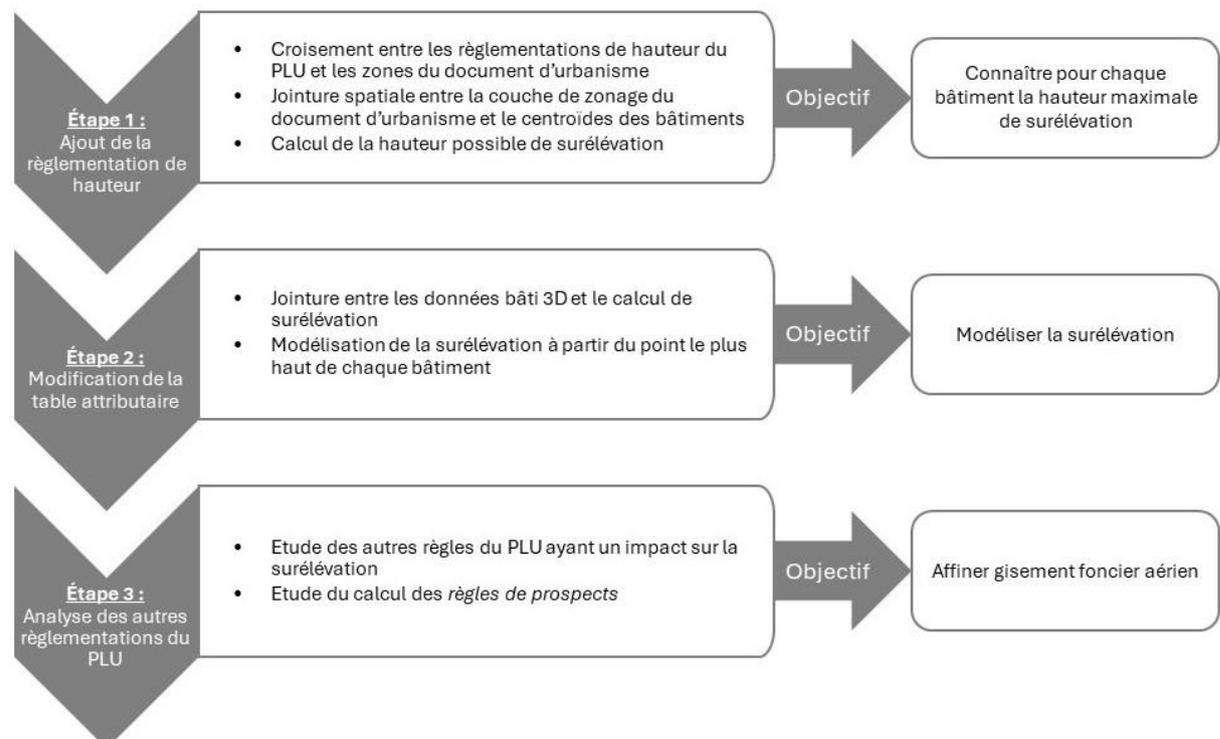
Les données utilisées sont les suivantes :

- Le Plan local d'urbanisme de la commune : pour la réglementation des hauteurs de constructions (format PDF pour les règles et shapefile pour les zonages)
- La Modélisation 3D du bâti (2020) : pour la modélisation et les hauteurs actuelles des bâtiments (format cityGML)
- L'Occupation du sol : pour connaître l'usage des bâtiments ainsi que les typologies d'espaces urbains (format shapefile)

2.2.3. Méthodologie de modélisation

La première étape de la méthodologie est d'ajouter à la table attributaire des données cartographiques de zonages du PLU de la commune les informations de réglementation de hauteur. Dans le jumeau numérique, cette donnée permet une meilleure visualisation des possibilités actuelles de densification, de réaliser des simulations de hauteurs et des réflexions sur l'adaptation des documents d'urbanisme.

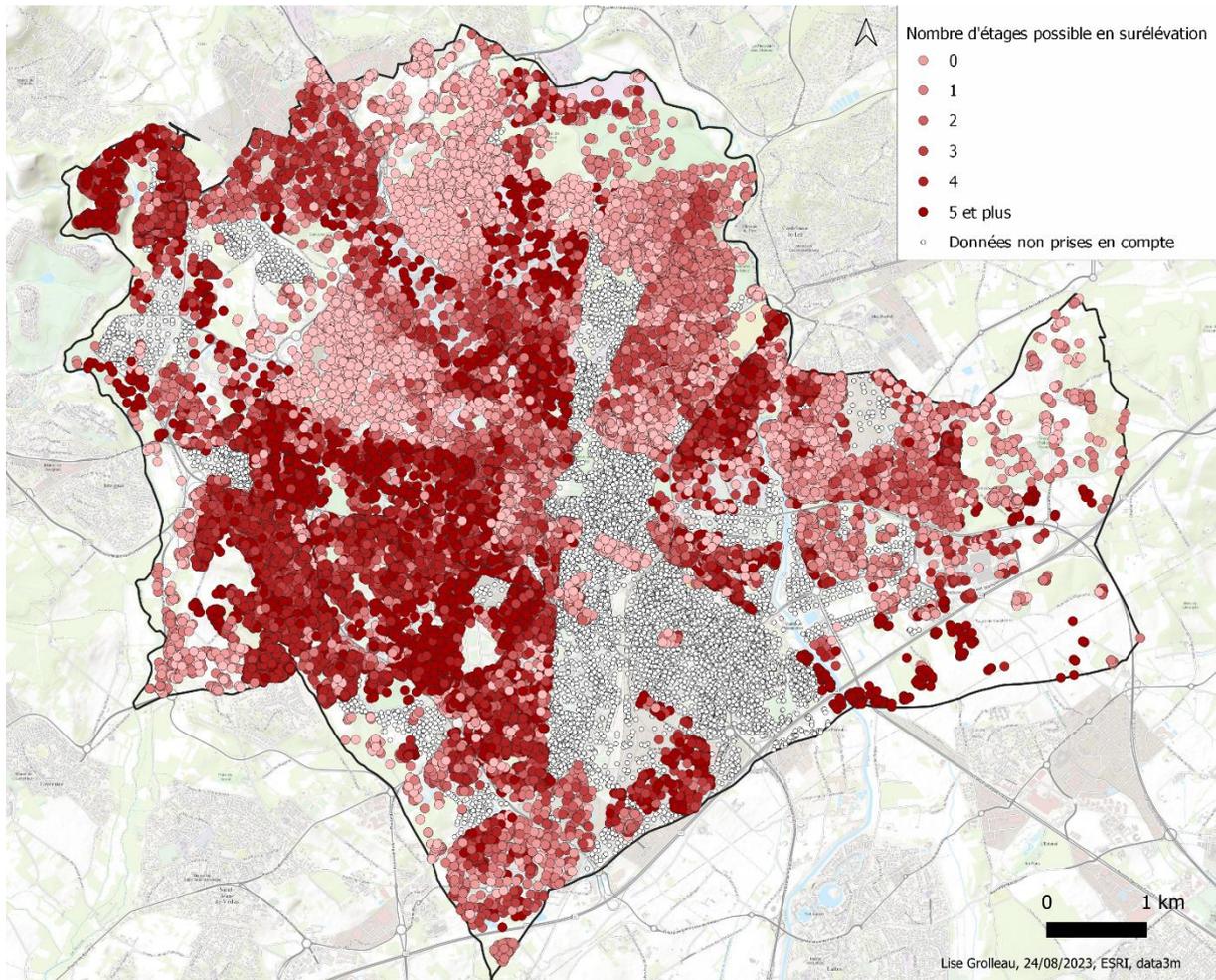
Figure 5 : Schéma de la démarche méthodologique



1. Ajout de la réglementation de hauteur

La première étape est de relever dans le PLU de la commune de Montpellier (approuvé en 2006) les règles de hauteurs correspondant à chaque zone (Annexe 6 : Limites de hauteur par zone d'urbanisme).

Figure 7 : Potentiel de surélévation (en comprenant une mesure de 3 mètres pour 1 étage).

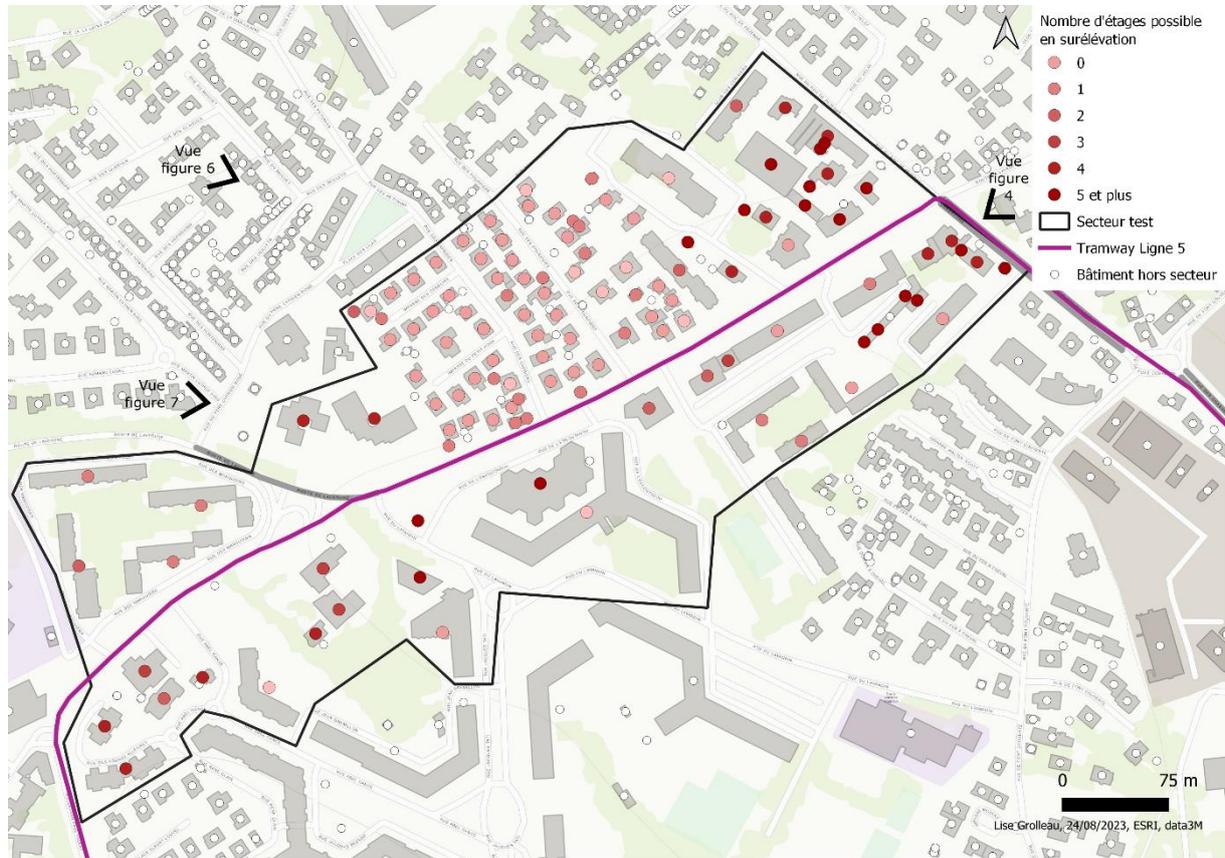


- 0 => pas de surélévation possible aux vues de la réglementation actuelle du PLU. Remarque : certains bâtiments sont plus haut que la réglementation autorisée, ils se trouvent dans cette classe.
- 1 étage (3 à 6 mètres)
- 2 étages (6 à 9 mètres)
- 3 étages (9 à 12 mètres)
- 4 étages (12 à 15 mètres)
- 5 étages et plus (15 mètres et plus). Remarque : certaines zones n'ont pas de limites de hauteur dans le règlement écrit, les bâtiments dans ces zones se trouvent dans cette classe.

Avec ces données de potentiels de surélévation, j'ai sélectionné un secteur d'étude (Figure 8) afin de réaliser les tests sur une zone réduite, pour limiter les temps de traitements mais également pour approfondir l'analyse réglementaire. Le secteur a été choisi pour deux raisons. La première est qu'il y a un potentiel foncier aérien important, la seconde est la proximité immédiate avec la future ligne 5 de

tramway (prévue pour 2025). C'est donc un secteur dont l'attractivité va augmenter ces prochaines années.

Figure 8 : Potentiel de surélévation du secteur d'étude (en comprenant une mesure de 3 mètres pour 1 étage).



La modélisation 3D ci-après a été réalisée par l'équipe en charge des projets de modélisation 3D chez Avineon France à l'aide du logiciel RhinoCity® et la mise en page des données a été réalisée sur ArcGIS®.

2. Modification de la table attributaire

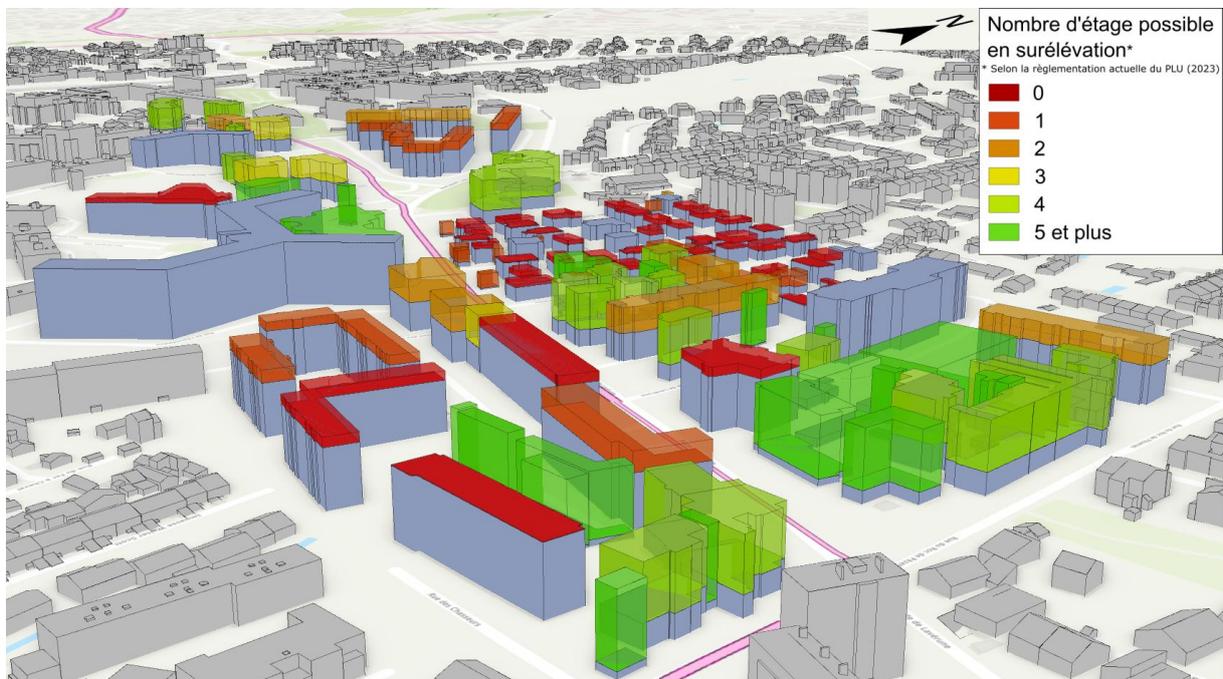
Après avoir sélectionné les données 3D cityGML du bâti du secteur, à partir de la base de données 3D produite pour la métropole de Montpellier, les données utilisées sont du LOD1.2⁶ afin d'obtenir une surface plane à partir du point le plus haut du bâtiment.

Les données de hauteurs calculées précédemment sont alors ajoutées dans la table attributaire de la donnée 3D du bâti pour chaque immeuble. Puis nous modélisons la surélévation possible selon la réglementation actuelle du PLU sur le secteur d'étude.

⁶ <https://3d.bk.tudelft.nl/news/2016/05/16/CEUS-improved-CityGML-LODs.html>

Après quelques éléments de mise en page (ajout du bâti brut autour du secteur d'étude, du tracé de la ligne 5, etc.), nous obtenons une cartographie des gisements fonciers bruts du secteur défini (Figure 9).

Figure 9 : Carte du gisement foncier brut du secteur sélectionné de Montpellier



3. Analyse des autres réglementations du PLU

Choisir un secteur restreint offre l'opportunité d'analyser en détail l'ensemble des réglementations du Plan Local d'Urbanisme (PLU), ce qui permettra d'affiner davantage les résultats précédents. En effet, l'étude du potentiel de surélévation nécessite de prendre en compte de nombreux indicateurs, et cette approche ciblée garantira une analyse plus approfondie et précise de ces paramètres.

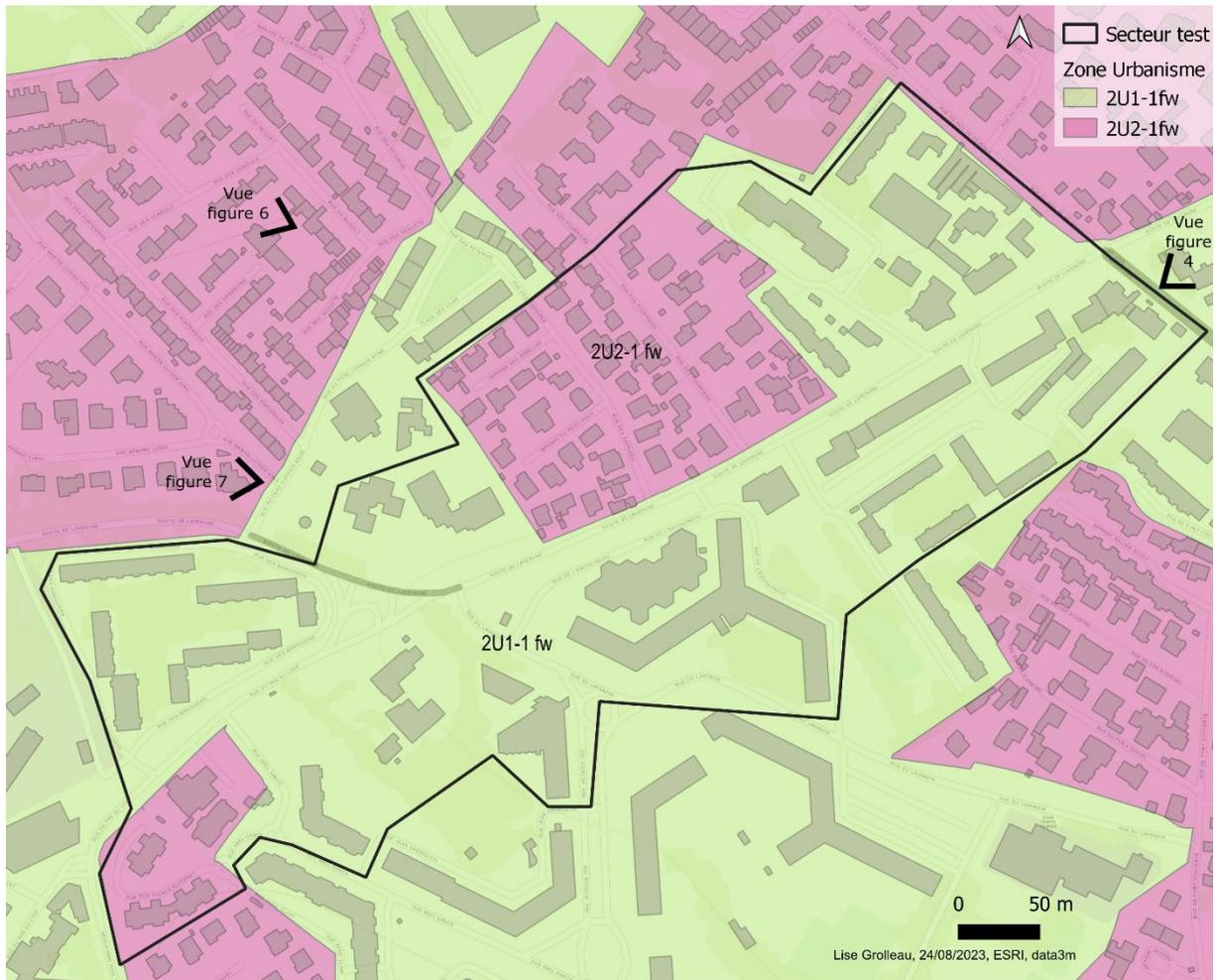
Le secteur défini est composé de deux zonages : 2U1-1 fw et 2U2-1 fw (Figure 10).

La zone 2U1 est un secteur à dominante de logement collectif où la mixité urbaine est marquée.

La zone 2U2 est composé principalement d'habitat individuel.

La mixité urbaine est l'une des principales orientations d'aménagement de ces zones.

Figure 10 : Carte du zonage du Plan Local d'Urbanisme sur le secteur d'étude



Le Plan Local d'Urbanisme est composé de 14 articles par zones. Sur celles-ci, celles avec le plus d'impact sur les constructions en surélévation sont les suivantes :

- Article 6 : Implantation des constructions par rapport aux voies et emprises publiques.
- Article 7 : Implantation des constructions par rapport aux limites séparatives
- Article 8 : Implantation des constructions les unes par rapport aux autres sur une même propriété

Elles font parties des règles les plus délicates à appréhender puisque leurs modalités d'application dépendent du contexte administratif mais également de la situation juridique du terrain. Elles sont traduites par des calculs appelés *règles de prospects*, organisant les volumes du bâtiment pour déterminer sa position sur la parcelle (Susini, 2019) et par rapport aux voies et emprises publiques. Cela règlemente donc également la hauteur possible en surélévation.

En limite séparative, la règle suivante est appliquée : « $L \geq H/2$ » issue de l'article R.111-18 du code de l'urbanisme⁷. *C'est-à-dire que si la construction n'est pas édifiée en limite séparative, un recul L au moins égal à la moitié de sa hauteur est nécessaire, avec un minimum de 3 mètres.*

Pour affiner le potentiel foncier du secteur, j'ai envisagé de tester cette règle d'implantation des constructions par rapport aux limites séparatives. Cependant, j'ai rapidement été confrontée à une difficulté liée aux données disponibles. En effet, il est nécessaire de prendre en compte les limites séparatives des unités foncières plutôt que celles des parcelles cadastrales. Ces informations, étant issues des fichiers fonciers, sont accessibles uniquement aux ayants-droits (services de l'État, collectivités territoriales, agences d'urbanisme, etc.), puisqu'elles contiennent des renseignements sur les propriétaires des terrains.

2.3. Résultats

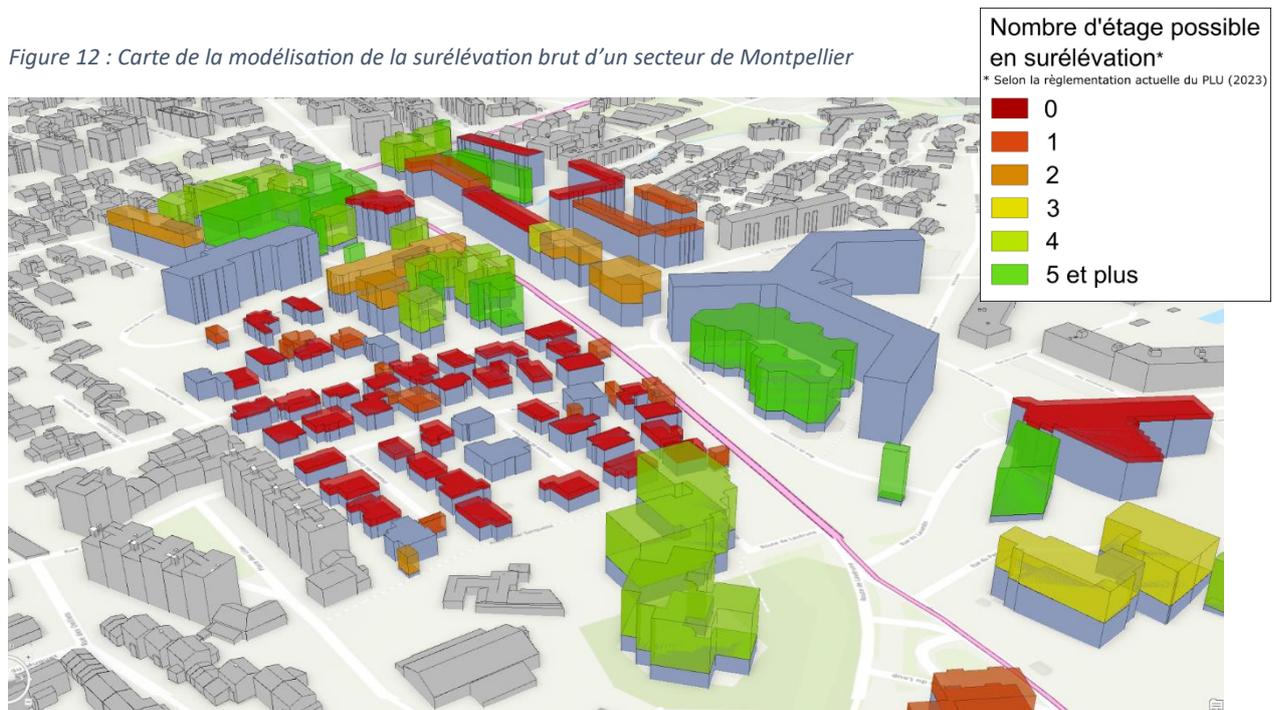
L'extraction des données du règlement écrit d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) nécessite un travail méticuleux en raison de la complexité de sa rédaction et de ses réglementations. Lorsque l'on souhaite extraire des données du règlement écrit d'un PLU, il faut parcourir le document avec une grande attention afin d'identifier et noter les différentes exigences qui s'y trouvent. Il nécessite une compréhension approfondie des termes techniques et juridiques utilisés, ainsi qu'une grande précision dans la collecte des données.

Figure 11 : Carte de la modélisation du bâti 2020 en LOD1.2.



⁷ Article *R111-18 - Code de l'urbanisme - Légifrance (legifrance.gouv.fr)

Figure 12 : Carte de la modélisation de la surélévation brut d'un secteur de Montpellier



Dans le secteur d'étude, il existe la possibilité de surélever de plusieurs étages certains bâtiments (Figure 12). Il est essentiel de noter la différence significative entre le secteur pavillonnaire, dont la hauteur est limitée à 8 mètres, et le secteur d'habitat collectif, qui peut atteindre une hauteur de 21 mètres. Par conséquent, le secteur désigné comme zone 2U1-1 fw présente des opportunités de surélévation relativement importantes.

Cela peut être particulièrement percutant lors de la communication avec des élus, car cela peut servir d'outil d'aide à la prise de décision lors de la modification des règlements des documents d'urbanisme. Par exemple, dans les zones pavillonnaires où aucune surélévation n'est actuellement autorisée, il serait judicieux de considérer une modification de la réglementation, en particulier le long de la voie principale où passera la nouvelle ligne de tramway, afin d'augmenter la hauteur maximale. Cette démarche pourrait avoir un impact significatif sur le développement urbain et la gestion des espaces disponibles. L'étude d'identification des gisements fonciers aériens permet alors de favoriser la densification du tissu bâti existant par la surélévation des bâtiments.

Dans le cadre de cette étude globale sur le développement urbain et la gestion du foncier, une analyse de faisabilité spécifique sur les bâtiments opportuns à la surélévation est complémentaire. Cette étape permettrait d'identifier les structures existantes présentant un potentiel favorable pour la surélévation en tenant compte de divers facteurs tels que leur solidité structurelle, leur usage actuel, les coûts potentiels de rénovation, et bien sûr, leur conformité avec les réglementations locales.

Une évaluation minutieuse de ces paramètres aiderait à cibler les bâtiments les plus adaptés à la surélévation, tout en minimisant les contraintes techniques et économiques.

L'outil de modélisation 3D mentionné précédemment peut également jouer un rôle essentiel dans cette phase de l'étude. Il permettrait de visualiser de manière réaliste les modifications proposées, ce qui faciliterait la prise de décision et la communication avec toutes les parties prenantes impliquées dans le processus de développement urbain. En fin de compte, l'objectif est de maximiser l'utilisation efficace de l'espace urbain existant tout en contribuant aux objectifs de transition écologique et de sobriété foncière pour la collectivité.

3. Discussions des résultats

3.1. Retour d'expérience des Géodatadays

Un des éléments conclusifs de ce projet était d'en faire la présentation lors des Géodatadays⁸. Evènement annuel national de référence et indépendant de la géographie numérique en France, il s'est tenu cette année à Reims les 13 et 14 septembre 2023.

J'ai présenté mon projet dans la session « constitution, exploitations et usages des jumeaux numériques : exemples et enjeux futurs » en deuxième partie « Retours d'expériences et perspectives » le jeudi 14 septembre.

Malheureusement, ma présentation a eu lieu à la fin de la deuxième journée, ce qui signifie que je n'ai pas eu beaucoup de retours à ce moment-là. Cependant, il est encourageant de noter que plusieurs personnes se sont montrées particulièrement intéressées par le sujet. Il s'agit d'un cas d'usage concret pouvant être intégré dans un jumeau numérique en se basant sur une modélisation 3D du bâti. C'est un travail pertinent à poursuivre pour étudier la sobriété foncière et les alternatives de construction dans leur intégralité.

La présentation orale a représenté un défi pour moi, surtout dans une salle aussi vaste, ce qui était assez intimidant. Toutefois, d'après les retours que j'ai reçus, je suis d'avis que j'ai réussi à relever avec succès cet exercice de présentation.

3.2. Les limites des réglementations dans les documents d'urbanisme

La méthodologie définie dans ce projet comporte plusieurs limites.

Il y a des limites dans les données règlementaires des Plans Locaux d'Urbanisme. Un travail plus poussé sur l'analyse des réglementations de hauteur est nécessaire afin de traiter entièrement la commune, beaucoup de zones « côtes sur plan » n'ont pas été prise en compte dans cette méthodologie

⁸ <https://www.geodatadays.fr/le-programme>

puisqu'elle demandait un travail plus conséquent. En effet, les réglementations de hauteurs dans les documents d'urbanisme ne sont pas uniformes suivant les territoires. De plus, toutes les limites de hauteurs ne sont pas indiquées clairement dans le règlement écrit mais il y a beaucoup de zones découpées en sous-secteur où il faut se référer au règlement graphique et redéfinir des zones géographiques sur la cartographie pour être précis dans les hauteurs limitées.

Dans les projets de surélévation, la majorité des règles sont contenues dans le règlement du document d'urbanisme, mais il peut y avoir des règles supplémentaires issues des Orientations d'Aménagement et de Programmation ou des règles graphiques qui vont influencer plus défavorablement les projets de surélévation d'immeuble (Susini, 2019).

En outre, la diversité et la multitude de la rédaction des PLU rendent difficile la reproductibilité d'une méthode. Les documents d'urbanisme sont rédigés différemment, avec des règles pouvant varier selon les territoires mais également selon les années de publication. En effet, de nouvelles notions sont intégrées dans les PLU comme le *coefficient de biotope* (Entretien avec Harmonie Dagneau le 22/06/2023).

De plus, dans différents PLU, un même terme ne fait pas forcément référence aux mêmes notions, ainsi le terme d'artificialisation reste pour certains un peu flou malgré les décrets d'application. Les termes autour du foncier mériteraient d'être consolidés au niveau de la sémantique générale et de l'application dans les documents d'urbanisme. L'approche globale nécessite de réfléchir au niveau large sur la manière dont les règles sont éditées pour les comparer à l'existant.

Comme nous l'avons relevé dans notre méthodologie, il y a également des interactions entre les règles, ce qui est complexe à intégrer dans un algorithme si l'on veut mettre en place un modèle reproductible. Pour qu'un modèle puisse être vraiment solide et exploitable sur d'autres territoires, il faut avoir à l'esprit que chaque notion dans les PLU peut être prise en compte dans certains et pas dans d'autres et voir les impacts que cela peut avoir dans une base de données.

Ces points nous permettent également d'appuyer la facilité d'application d'une méthode quand un territoire est règlementé par un document à l'échelle intercommunale. Puisque les règles et l'écriture du document sont identiques pour toute l'intercommunalité.

D'autres paramètres viennent s'ajouter aux règles précédentes et restreignent davantage les projets de surélévation des immeubles comme l'obligation de création d'aires de stationnement (Susini, 2019). Aujourd'hui, en ville de moins en moins de personnes possèdent une voiture et des assouplissements de règles d'urbanisme rentrent dans les ambitions des collectivités pour favoriser les modes de transports doux.

Il y a également des contraintes imposées pour la préservation du patrimoine (immeubles inscrits ou classés, sites patrimoniaux remarquables, etc.) et les secteurs sauvegardés qui restreignent grandement les projets de surélévation ou de densification pour de nombreux territoires. Pour ceux-ci, la sobriété foncière semble être un objectif très difficile à atteindre même avec un jumeau numérique.

3.3. Ouvertures

La sobriété foncière est une thématique très large prenant en compte de nombreux domaines de l'aménagement du territoire. Si la surélévation a été choisie comme cas d'usage dans ce projet, une analyse complète des alternatives de construction et des potentiels de renaturation doit être réalisée dans le jumeau numérique afin d'offrir un outil permettant de prendre des décisions efficaces en termes d'aménagement du territoire.

Ainsi, il faut ajouter à la base de données du jumeau numérique des informations sur les friches, les dents creuses, les enclaves urbaines mais également sur la rénovation, la réhabilitation, la vacance. Cependant, si les données sur les friches sont accessibles, de qualité et facilement utilisables, il n'y a que rarement des données cartographiques sur les dents creuses ou les enclaves urbaines. Ce sont pourtant des espaces à fort potentiel dans une stratégie de sobriété foncière pour répondre à l'objectif ZAN.

En outre, la sobriété foncière soulève de nombreuses autres réflexions : qualité de vie et santé en ville, îlots de chaleur et de fraîcheur urbain, flux de vent, pollution, etc. Plus le jumeau numérique aura de données en entrée plus il sera possible de réaliser des simulations différentes. De ce fait, il est possible de simuler plusieurs possibilités d'aménagements et d'en voir les impacts sur la ville, le climat urbain et la qualité de vie des populations. Il est alors possible d'opérer des choix réfléchis d'aménagement.

La question des sols est également un point souvent évoqué lors des différents entretiens et discussions. Il m'a semblé pertinent de l'étudier puisque l'altération de la qualité des sols est une conséquence directe de l'artificialisation.

Il existe deux références particulièrement pertinentes aux Pays-Bas en ce qui concerne l'étude des sous-sols⁹. Cependant, il n'y a pas d'équivalent en France en raison d'une donnée sur les sols peu développée. De la donnée peut être disponible très localement, à l'échelle d'un projet, mais il n'y a pas de données à grande échelle et encore moins en 3D. Le BRGM et l'ADEME développent actuellement une base de données regroupant les analyses réalisées sur les sols urbains¹⁰. Mais elle n'est pas encore

⁹ Première référence : [Défis spatiaux dans la région NOVI Zwolle \(arcgis.com\)](#), Pays-Bas

Seconde référence : [3D Basismodel \(arcgis.com\)](#), Pays-Bas

¹⁰ [Accueil | BDSolU](#)

disponible. Je n'ai, de ce fait, pu approfondir cette piste de recherche par manque de temps et de données mobilisables rapidement.

Conclusion

Le présent projet a mis en lumière la complexité de la thématique de la sobriété foncière pour les territoires. Malgré son rôle essentiel dans les orientations d'aménagements futurs des collectivités, le changement de paradigme d'un modèle de développement urbain basé sur l'étalement urbain à un modèle de recentrage est un processus de longue durée qui a démarré depuis seulement quelques années.

Le jumeau numérique présente un intérêt pertinent dans l'aménagement des villes. Il a pour avantage de pouvoir croiser un grand nombre de données afin de simuler virtuellement les changements urbains. Les différentes formes d'alternatives de construction peuvent alors être combinées pour définir les meilleurs choix d'aménagement possible pour une ville sobre, durable et résiliente. A travers les simulations, le jumeau numérique révolutionne la planification et le renouvellement urbain au travers de ses trois fonctions principales : What now, What if, What next ? Nous ne pouvons pas démolir, reconstruire et voir ce qu'il se passe. Le jumeau numérique offre la possibilité de simuler les changements afin de visualiser virtuellement les effets d'un aménagement, l'intégrer dans les concertations avant de les mettre en application.

Il reste néanmoins encore peu accessible pour un grand nombre de collectivités. Le manque de moyens humains, techniques et financiers est en effet le premier frein au développement d'outils innovants dans les petites et moyennes collectivités.

La phase de transition et l'essor des données 3D marqueront-ils un tournant dans l'utilisation des jumeaux numériques urbains ces prochaines décennies ? C'est dans cette perspective que l'Institut Géographique National a pour projet de développer un jumeau numérique France entière avec à la clé des données ouvertes qui devraient profiter à tous les territoires (collectivités, agences d'urbanisme, professionnels de l'immobilier, etc.), en s'adressant notamment aux collectivités non expertes.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué au succès de ma mission professionnelle et m'ayant aidée lors de la rédaction de cette thèse professionnelle.

Je voudrais dans un premier temps remercier mon tuteur professionnel et directeur France d'Avineon Joël Planchet pour m'avoir offert l'opportunité de réaliser cette mission professionnelle mais également de m'avoir permis de participer deux années de suite aux Géodatadays. Ce furent des expériences très enrichissantes m'ayant permis de rencontrer un grand nombre de professionnels de la géomatique.

Je tiens également à remercier toute l'équipe d'Avineon France pour l'accueil chaleureux, leur disponibilité et leur soutien.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes que j'ai rencontrées lors de ce projet pour avoir pris le temps de répondre à mes questions sur l'analyse des besoins des territoires. Lucie Cauquil (CCSH), Claire Huber et Solène Bouet-Roussel (CCPU), Romain Thiebaut (3M), Nicolas Caparros, Harmonie Dagneau et Delphine Soula (AUDRNA), Virginie Choppin et Vivien Roy (AUAT) et plus particulièrement Sébastien Silvestre (AUPA) pour ses mises en relation et son intérêt pour mon projet.

Je voudrais également remercier ma tutrice académique Christiane Weber pour sa disponibilité et ses conseils.

Enfin, je remercie ma famille pour avoir relu et corrigé mon mémoire, mais également pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Bibliographie

Anon. 2023. *Accelerating climate action in cities with digital twins*. Disponible sur : <https://cities-today.com/industry/accelerating-climate-action-in-cities-with-digital-twins/> (Consulté le 12 juin 2023).

Anon. 2021. *Feuille de route partenariale au niveau régional (2021-2024). Accompagner les territoires pour concilier développement et sobriété foncière*. DREAL PACA, AUPA, Disponible sur : https://aupa.fr/wp-content/uploads/2022/03/DREAL-PACA_Feuille-de-route-sobriete-fonciere_fev2022.pdf (Consulté le 12 avril 2023).

Banque Mondiale. 2021. *Population urbaine (% du total)*. Disponible sur : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS> (Consulté le 10 mai 2021).

Batchvarov A. 2022. *Your digital twins must answer three fundamental questions*. Disponible sur : <https://www.quaisr.com/posts/digital-twins-three-questions> (Consulté le 11 mai 2023).

Bénet J. et Haran L. 2022. Consommation d'espace et développement urbain en Essonne. *Institut Paris Région*, Disponible sur : https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/000pack2/Etude_2732/Conso_Espace91.pdf (Consulté le 25 juin 2023).

CEREMA. 2021. Les conditions d'acceptabilité de la densification urbaine : une étude du Cerema en Ile-de-France.

Collectif Léonard. 2023. 6ème édition du Festival Building Beyond « Le future du déjà-là ». Dans : *Festival Building Beyond*. Paris : Disponible sur : <https://leonard.vinci.com/la-6e-edition-du-festival-building-beyond-se-penche-sur-le-futur-du-deja-la-en-30-debats-ateliers-et-performances/> (Consulté le 24 juin 2023).

Favreau E. 2022. Le jumeau numérique, pour des villes plus résilientes. *Bouygues Construction*. Disponible sur : <https://www.bouygues-construction.com/blog/fr/jumeau-numerique-resilience/> (Consulté le 25 avril 2023).

FNAU. 2023. *Traits d'agences ; L'actualité des agences d'urbanisme (42)*. Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme, Disponible sur : <https://www.fnau.org/wp-content/uploads/2023/06/ta-42-ok-bd-corrige2.pdf> (Consulté le 13 juillet 2023).

Grauleau S., Jacod M., et Naglik P. 2022. *Accompagner la transition des territoires vers la sobriété foncière*. PACA : France Nature Environnement, Disponible sur :

https://sobrietefonciere.fnepaca.fr/input/Guide_Vers-la-sobriete-fonciere-2022_complet-2.pdf
(Consulté le 6 avril 2023).

Le Madec M. et Pallone M. 2022. *Miroir, miroir ... : le jumeau numérique du territoire*. Banque des Territoires, Disponible sur : https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2021-07/benchmark_BDT_Juillet.pdf (Consulté le 5 avril 2023).

Mignery D. 2020. Développer la surélévation. *Constructif*, N° 57(3), p. 38-42. DOI : 10.3917/const.057.0038

Pellissier G. 2020. *Écriture du PLU. Le règlement ; caractéristiques urbaine, architecturale, environnementale et paysagère* (FICHE 2.1.3.2). Disponible sur : https://www.gridauh.fr/sites/default/files/u440/Volum%C3%A9trie%20et%20implantation%20Sous-fiche%204_0.pdf (Consulté le 12 juillet 2023).

Richard M. 2023. Ces villes créent des jumeaux numériques pour améliorer leur qualité de vie. *Figaro Immobilier*. Disponible sur : https://immobilier.lefigaro.fr/article/ces-villes-creent-des-jumeaux-numeriques-pour-ameliorer-leur-qualite-de-vie_c3483442-a318-11ed-b0cc-f4f42454a73a (Consulté le 10 avril 2023).

Salomon A. 2021. Are digital twins the future of urban planning? Digital 3D models can help city leaders plan for the future, but their value will depend on the data. *SmartcitiesDive*. Disponible sur : <https://www.smartcitiesdive.com/news/are-digital-twins-the-future-of-urban-planning/609232/> (Consulté le 17 avril 2023).

Susini L. 2019. *La surélévation des immeubles, un fort potentiel poussé par un contexte législatif favorable*. (Mémoire). Ecole supérieure des géomètres et topographes, 83 p. Disponible sur : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02959168/document> (Consulté le 12 juillet 2023).

Table des illustrations

Figure 1 : Le Zéro Artificialisation Nette par l'Agence d'Urbanisme Le Havre – Estuaire de la Seine (Source : AURH - Objectif : zéro artificialisation nette Intégrer la sobriété foncière dans la fabrique de la ville)	9
Figure 2 : Carte des territoires couverts par les structures de professionnels interrogés	14
Figure 3 : Exemple d'un projet de surélévation par UpFactor.....	16
Figure 4 : Schéma explicatif des bandes E et Z (Source : C_REG1FIG-V06.pdf (paris.fr))	17
Figure 5 : Schéma de la démarche méthodologique.....	19
Figure 6 : Exemple de règlement graphique du PLU de Montpellier avec les côtes inscrites au plan. Quartier Antigone. (Source : règlement graphique du PLU de Montpellier).	20
Figure 7 : Potentiel de surélévation (en comprenant une mesure de 3 mètres pour 1 étage).	21
Figure 8 : Potentiel de surélévation du secteur d'étude (en comprenant une mesure de 3 mètres pour 1 étage).....	22
Figure 9 : Carte du gisement foncier brut du secteur sélectionné de Montpellier	23
Figure 10 : Carte du zonage du Plan Local d'Urbanisme sur le secteur d'étude	24
Figure 11 : Carte de la modélisation du bâti 2020 en LOD1.2.	25
Figure 12 : Carte de la modélisation de la surélévation brut d'un secteur de Montpellier	26

Annexes

<u>Annexe 1 : Chronogramme</u>
<u>Annexe 2 : Synthèse bibliographique</u>
<u>Annexe 3 : Guides d'entretiens</u>
<u>Annexe 4 : Analyse croisée des entretiens</u>
<u>Annexe 5 : Compte-rendu des entretiens</u>
<u>Annexe 6 : Limites de hauteur par zone d'urbanisme</u>

Annexe 1 : Chronogramme

		S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25
		Avril				Mai				Juin			
Phase 1	Bibliographie												
	Etude bibliographique												
	Sobriété foncière, Jumeau Numérique												
	Synthèse bibliographique												
	Revue de projet												
	Analyse des besoins												
	Préparation du guide d'entretien												
	Journée Professionnelle OpenIG												
	Entretiens												
	Analyse des entretiens												

		S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37
		Mai	Juin			Juillet				Août				Sept.			
Phase 2	Définition d'une méthodologie																
Phase 3	Collecte de données externes																
	Enrichissement du modèle 3D Tests de simulation																
Phase 4	Geodatadays																
	Préparation Présentation GDD																

Annexe 2 : Synthèse bibliographique

Mots clés : sobriété foncière, jumeau numérique, Zéro Artificialisation Nette, aménagement urbain

Le monde fait face à une prise de conscience des problèmes causés par l'urbanisation de ces dernières décennies (dégradation de l'environnement, perte de biodiversité, îlots de chaleurs, augmentation des émissions de gaz à effet de serre, pénurie de logements, etc.). Cette extension progressive des villes, en réponse aux besoins en logements, en infrastructures et en activités économiques, a mis en péril la biodiversité, les espaces agricoles, naturels et forestiers, ainsi que les ressources en eaux et en sols.

En outre, d'après les Nations Unis, 68% de la population mondiale vivra en zone urbaine d'ici 2050, contre 56% en 2020 et 39% en 1980 (Banque Mondiale, 2021). Les besoins des villes seront par conséquent en constante augmentation ces prochaines années. La prise de conscience des acteurs de l'aménagement du territoire pour la préservation des espaces et des ressources ont fait naître deux mots d'ordres pour aménager durablement les territoires : la sobriété foncière et le Zéro Artificialisation Nette.

Il n'y a pas de définition officielle de la sobriété foncière. Elle est cependant définie dans plusieurs ouvrages de manière assez similaire. La sobriété foncière serait le passage « d'un modèle de développement majoritairement basé sur l'étalement urbain à un modèle de recentrage du développement ancré sur le recyclage du foncier, le renouvellement urbain, l'optimisation des espaces déjà artificialisés, la minimisation de l'empreinte spatiale et écologique d'un développement démographique et économique » (Anon, 2021). La sobriété foncière serait alors l'équilibre entre l'économie de foncier (et les espaces naturels, agricoles, et forestiers) et le développement du territoire en répondant aux besoins (en logements, en infrastructures, en activités économiques, etc.). C'est une démarche de consommation contenue des espaces naturels, agricoles et forestiers en accord avec les besoins de développement du territoire.

Le sujet de la sobriété foncière est complexe puisqu'il couvre un grand nombre de compétences différentes ; de l'aménagement urbain à la gestion de l'eau, en passant entre autres, par les espaces agricoles, le développement économique, la gestion des risques et la biodiversité. Pour les territoires, atteindre la sobriété foncière passe par la mise en application de l'objectif Zéro Artificialisation Nette des sols.

L'Objectif ZAN, qu'est-ce que c'est ?

L'artificialisation des sols est définie dans le Code de l'Urbanisme (Article L. 101-2-1) « comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions

biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage » (Grauleau *et al.*, 2022, p.9). L'artificialisation nette correspond par conséquent au « solde de l'artificialisation et de la renaturation des sols constatées sur un périmètre et une période donnée » (Grauleau *et al.*, 2022, p.5).

L'objectif Zéro Artificialisation Nette des sols, promulgué dans la loi Climat et Résilience en 2021, donne des objectifs à deux horizons.

Le premier objectif défini pour 2031, avec une réduction de moitié de la consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers par rapport à la décennie précédente (2011-2021). Puis de 2031 à 2050, une réduction de l'artificialisation pour tendre vers le Zéro Artificialisation Nette en 2050 avec une mise en place effective de cette mesure ou aucun nouvel espace ne pourra être artificialisé sans une mesure compensatoire.

Pour atteindre cet objectif il est essentiel que les collectivités mettent en place une réglementation stricte dans leurs documents d'urbanisme, et cela à toute les échelles : régionale (SRADDET), locale (SCoT), intercommunale et communale (PLU(i)).

Plusieurs leviers sont à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif Zéro Artificialisation Nette. En premier lieu, limiter l'extension urbaine en renouvelant la ville sur elle-même, que cela passe par la densification, le renouvellement urbain, le réaménagement de friches ou encore la revitalisation de l'existant. Il est également impératif de préserver les espaces naturels, agricoles et forestiers ainsi que les ressources (eau, agriculture, sols). Pour cela, la séquence « Eviter – Réduire – Compenser » est un procédé à mettre en place.

- Eviter, en renonçant « à l'extension urbaine en diminuant les objectifs de développement du PLU ou leurs conséquences foncières grâce à plus de densification dans l'enveloppe urbaine » (Grauleau *et al.*, 2022)
- Réduire, en inscrivant « dans le règlement du PLU relatif à cette extension des règles limitant l'imperméabilisation des sols concernés » (Grauleau *et al.*, 2022)
- Compenser, en prévoyant « dans le zonage du PLU une zone à désartificialiser d'une surface ayant une valeur écologique équivalente » (Grauleau *et al.*, 2022).

Ces nouveaux enjeux de limitation de l'artificialisation des sols et de sobriété foncière entre dans une stratégie générale de développement plus durable des villes et des territoires, à toutes les échelles. Le désir des citoyens d'une meilleure qualité de vie en milieu urbain et la volonté des politiques publiques de créer des territoires résilients, attractifs et durable, passe par le développement et la mise en place d'outils numériques innovants de la ville intelligente comme support de ces politiques.

Les jumeaux numériques font partie de ces outils pour accompagner les villes dans la planification et l'aménagement de leur territoire. Ils permettent d'observer et de visualiser le territoire, à distance et en temps réel, de contribuer à une prise de décision plus efficace en aménagement du territoire mais également d'alerter et de mobiliser les populations sur ces thématiques globales d'aménagement urbain durable.

Le jumeau numérique, qu'est-ce que c'est ?

Le jumeau numérique est une technologie ayant révolutionné de nombreux secteurs d'activités. D'abord en industrie et en ingénierie ou même en médecine, il se développe aujourd'hui progressivement dans le domaine de l'aménagement du territoire avec des maquettes urbaines digitales. A travers celles-ci, les acteurs de l'aménagement des territoires tentent de répondre à trois questions fondamentales : What now ? What if ? What Next ? (Batchvarov, 2022).

- What now ? Que se passe-t-il actuellement sur le territoire ? Le jumeau numérique permet d'observer et de comprendre le fonctionnement d'un territoire.
- What if ? Que se passerait-il si ? Il permet de faire des simulations de différents scénarios. Dans le cadre d'un projet d'aménagement par exemple, cela permet de tester plusieurs actions et d'analyser les impacts de chacune d'elles.
- What next ? Que se passera-t-il après ? Cette maquette urbaine digitale permet de définir quel scénario est préférable afin de limiter l'impact de ce nouvel aménagement sur son environnement et favoriser un aménagement plus durable.

Le jumeau numérique urbain est une réplique virtuelle de la ville « telle qu'elle fonctionne » (Le Madec et Pallone, 2022) (→ What now ?). Il dépasse la simple visualisation de la ville et couvre l'ensemble de son cycle de vie. Il permet « d'anticiper dans le monde virtuel ce qui pourrait se passer dans le monde réel » (Richard, 2023) (→ What if ?). Contrairement au simple modèle 3D (maquette 3D statique de la ville, principalement utilisée pour de la visualisation et de la communication), le jumeau numérique permet de faire des simulations virtuelles et de planifier différents scénarios. En aménagement, cet outil pourrait devenir indispensable notamment afin d'améliorer la prise de décision en matière de politiques publiques et répondre aux enjeux des territoires décrit plus haut (→ What next ?). Le jumeau numérique repense les structures et les règles de gouvernance de la ville en faveur d'une urbanisation plus durable et d'une amélioration de la qualité de vie des populations urbaines.

Pour répondre à l'objectif de Zéro Artificialisation Nette des sols à l'horizon 2050, l'ensemble des acteurs de la ville de demain doivent travailler ensemble et le jumeau numérique peut devenir un référentiel commun. Il a par conséquent un fort potentiel, à condition de bien connaître le territoire, de cibler les besoins et définir des cas d'usages pertinents. De nombreuses villes dans le monde lance

leur modélisation 3D du bâti, mais des cas d'usages précis en aménagement urbain sont très récents, il y a donc peu de retour d'expérience précis.

Des jumeaux numériques se développent pour des usages variés en aménagement du territoire : outil de concertation, projets d'aménagement urbain, énergies, mobilité, etc.

Des jumeaux numériques pour améliorer la concertation.

Dans le cadre d'ateliers participatifs avec la population, la ville de Herrenberg, en Allemagne, utilise un jumeau numérique en réalité virtuelle et augmentée comme support de communication et de prise de décision entre les différents acteurs.

En France, la métropole de Strasbourg a développé un jumeau numérique afin de matérialiser des phénomènes urbains ou climatiques et permettre aux élus et citoyens de se projeter dans le futur. C'est un outil de visualisation utilisé aujourd'hui dans toutes les réunions publiques autour de nouveaux aménagements puisqu'il aide les élus et les habitants à se projeter (Banaszac, 2021) (→ What next ?).

Des jumeaux numériques pour les projets d'aménagement urbain.

Le jumeau numérique de la ville de Rennes a pour objectif de visualiser les évolutions de la ville afin d'étudier les phénomènes urbains mais également de proposer des scénarios de nouvelles constructions pour analyser leur impact sur plusieurs aspects différents (Richard, 2023) (→ What if ?).

La ville de Boston a un jumeau numérique servant d'archive de l'évolution de la ville. Il est également utilisé pour tester des changements futurs avant de les réaliser dans le monde réel (Salomon, 2021).

A Helsinki, en Finlande, le jumeau numérique urbain est utilisé pour réaliser des simulations de l'apport solaire et des ombres portées au sol dans le cadre de l'aménagement d'un écoquartier. (Favreau, 2022)

Certaines villes développent des jumeaux numériques mais ne cherchent des cas d'usages qu'après avoir l'outil. Or, comme évoqué précédemment, le jumeau numérique est un support pertinent à mettre en place lorsque les besoins du territoire ont été établis au préalable afin de répondre correctement à ces derniers. Il est nécessaire de préciser les objectifs communs d'amélioration de prise de décisions des politiques publiques pour un développement plus durable des villes et un meilleur suivi des politiques locales.

Les acteurs de l'aménagement



Lise Grolleau, 11/05/2023

Annexe 3 : Guides d'entretiens

Trame de questions – Agence d'urbanisme

1. Présentation Objectif : Connaitre de profil de la personne interrogée	Pourriez-vous vous présenter rapidement ?	Nom Prénom Fonction Parcours
2. Introduction Objectif : Connaitre le territoire et l'agence d'urbanisme	Quel est le rôle d'une agence d'urbanisme ?	Type de collectivité Nombre d'habitants Nombre de communes Etc.
	Travaillez-vous déjà sur les sujets de sobriété foncière et/ou de jumeaux numériques ?	Si oui : avec quels objectifs ? avec quels acteurs ? avec quels territoires ?
3. Sobriété foncière et artificialisation des sols Objectif : connaitre les enjeux et les besoins de ce territoire	Quelle définition donneriez-vous de la sobriété foncière ?	
	Pour vous, quel est le lien entre sobriété foncière et artificialisation des sols ?	
	Quels sont les besoins de votre territoire en sobriété foncière ?	
	Comment traduire la sobriété foncière avec des SIG ?	Quels outils ? Quelles données ?
	Quels est votre point de vue sur l'objectif Zéro Artificialisation Nette en tant que professionnel de l'aménagement ?	
4. Jumeaux numériques : outils, données, usages Objectif : déterminer l'utilité d'un jumeau numérique	Connaissez-vous les jumeaux numériques ?	Si oui, pour vous, qu'est-ce que c'est ?
	Qu'est-ce que le jumeau numérique pourrait apporter dans vos missions au quotidien ?	Et pour les collectivités ?
	Comment le jumeau numérique pourrait-il est utilisé dans un objectif de limitation de l'artificialisation des sols ?	
	La données 3D peut être utilisé pour répondre à quels besoins de votre territoire ?	Et pour les collectivités ?
	En quoi la donnée 3D pourrait-elle être utile pour l'objectif ZAN ? En quoi la donnée 3D pourrait être utile pour les territoires pour les sujets de sobriété foncière ?	
	Quel niveau de détail de la donnée 3D dans le jumeau numérique ?	
	Quel pourrait être les freins au développement de jumeau numérique ?	

Trame de questions – Collectivités

<p>5. Présentation Objectif : Connaître de profil de la personne interrogée</p>	<p>Pourriez-vous vous présenter rapidement ?</p>	<p>Nom Prénom Fonction Parcours</p>
<p>6. Introduction Objectif : Connaître le territoire</p>	<p>Pourriez-vous me décrire votre collectivité en quelques mots ?</p>	<p>Type de collectivité Nombre d'habitants Nombre de communes Etc.</p>
	<p>Avez-vous un SIG au sein de votre collectivité ?</p>	<p>Si oui : SIG en interne ? A quelle échelle ? Quelles données ? Pour quels usages ? Si non : pourquoi ?</p>
	<p>Quelles thématiques sont au cœur des politiques actuelles de votre territoire ?</p>	<p>Sobriété foncière ? Artificialisation des sols ? SIG ?</p>
<p>7. Sobriété foncière et artificialisation des sols Objectif : connaître les enjeux et les besoins de ce territoire</p>	<p>Quelle définition donneriez-vous de la sobriété foncière ?</p>	
	<p>Pour vous, quel est le lien entre sobriété foncière et artificialisation des sols ?</p>	
	<p>Quels sont les besoins de votre territoire en sobriété foncière ?</p>	
	<p>Comment traduire la sobriété foncière avec des SIG ?</p>	<p>Quels outils ? Quelles données ?</p>
	<p>Quels est votre point de vue sur l'objectif Zéro Artificialisation Nette en tant que professionnel de l'aménagement ?</p>	
<p>8. Jumeaux numériques : outils, données, usages Objectif : déterminer l'utilité d'un jumeau numérique</p>	<p>Connaissez-vous les jumeaux numériques ?</p>	<p>Si oui, pour vous, qu'est-ce que c'est ?</p>
	<p>Qu'est-ce que le jumeau numérique pourrait apporter dans vos missions au quotidien ?</p>	
	<p>Comment le jumeau numérique pourrait-il être utilisé dans un objectif de limitation de l'artificialisation des sols ?</p>	
	<p>La données 3D peut être utilisé pour répondre à quels besoins de votre territoire ?</p>	<p>En quoi la donnée 3D pourrait-elle être utile pour l'objectif ZAN ?</p>
		<p>En quoi la donnée 3D pourrait être utile pour les territoires pour les sujets de sobriété foncière ?</p>
	<p>Quel niveau de détail de la donnée 3D dans le jumeau numérique ?</p>	
<p>Quel pourrait être les freins au développement de jumeau numérique ?</p>		

Annexe 4 : Analyse croisée des entretiens

	Nicolas CAPARROS Sébastien SILVESTRE	Lucie CAUQUIL	Harmonie DAGNEAU	Claire HUBER Solène BOUET-ROUSSEL
Structure	AUDRNA / AUPA	Communauté de Communes Sud Hérault	ANDRNA	Communauté de Communes Pays d'Uzès
Contraintes ZAN		Impose trop de limites selon beaucoup d'agriculteurs Certaines alternatives de construction ne sont pas compatibles avec les secteurs ABF	Beaucoup de documents de planification à prendre en compte	Compréhension de la nomenclature complexe Densification = augmentation des îlots de chaleur donc négatif pour la transition énergétique
Mise en place du ZAN				Délais de conformité des documents d'urbanisme très court
Intérêt du jumeau numérique	Concertation avec les habitants Pédagogie sur le ZAN Pédagogie et aide à la décision pour les élus : alternatives de construction	Aide à la décision pour les élus Pédagogie sur les alternatives de construction	Avoir une connaissance et pouvoir visualiser clairement l'existant pour étudier les possibilités de refaire la ville sur la ville (surélévation, densification)	Meilleure compréhension du ZAN et de ses effets pour les non-techniciens Meilleure gestion de la propriété foncière Pédagogique et visuel pour les élus et habitants
Cas d'usage	Les hauteurs et la densité urbaine	Traduire les hauteurs possibles pour surélever des bâtiments	Analyse de la question du sous-sol Analyse de la surchauffe urbaine îlots de fraîcheur urbain > 3D de la végétation	
Contraintes jumeau numérique	Nécessite beaucoup de moyens Outil trop récent voir futuriste pour certains élus	Certaines petites collectivités n'ont déjà pas de SIG, pas de moyens		
Données			Fichiers fonciers très utilisés mais peu fiables Données sur le sous-sol : non présentes à grande échelle	OCS-GE contestée car peu précise

	Romain THIEBAUT	Virginie CHOPPIN Vivien ROY	Delphine SOULA
Structure	3M	AUAT	AUDRNA
Contraintes ZAN	Limites à la densification : acceptation par les populations		Actuellement : phase de tâtonnement d'un point de vue législatif, pas très clair donc difficile de calibrer les paramètres
Mise en place du ZAN	Elaboration d'un PLUi à l'échelle de la métropole conforme aux objectifs ZAN ZAC de renouvellement urbain	Utilisation d'un outil 2D pour la planification - pédagogie	Travail sur la question des friches
Intérêt du jumeau numérique	Utile dans la manière de réaliser le ZAN Intéressent dans sa manière de croiser les données	Utile pour tous les sujets de l'aménagement urbain durable et de la ville de demain Permet de travailler en hauteur et en largeur Outil de compréhension et de concertation Outil de visualisation Calcul d'indicateur Outil de simulation pour des projets d'aménagement	Vrai outil d'accompagnement des élus sur les sujets de densification
Cas d'usage	Ombres portées Effets canyons Pollution	Test du SICOVAL d'un JN couplé avec des études comportementales	Tester et monter un modèle d'analyse des règlements PLU (volumes, hauteurs) qui peut être réexploité sur d'autres territoires
Contraintes jumeau numérique	Inutile pour les mesures de consommation d'espaces Interface du JN actuel très longue à charger	Nécessite beaucoup de moyens	Beaucoup de territoires n'ont pas la modélisation 3D de base pour le jumeau numérique
Données	Calcul de la consommation d'espace des dernières années avec les fichiers fonciers (peu fiable)	Fichiers fonciers pour calculer la consommation d'espace (peu fiable)	Manque de données dans les collectivités

Annexe 5 : Compte-rendu des entretiens

[Avineon] Lise GROLLEAU

[AUDRNA] N C

[AUPA] S S

Le 17/05/2023

Points principaux :

- Petites et moyennes collectivités :
 - Peu de moyens (humains, financiers, matériels) or la mise en place de jumeaux numérique nécessite les trois.
 - Ce sont des territoires qui n'ont pas l'habitude des données numériques, le jumeau numérique est trop récent pour ces collectivités.
- Le jumeau numérique peut être un outil intéressant dans la concertation avec les habitants pour la pédagogie sur le ZAN.
- Il semble évident que le jumeau numérique est un outil utile dans l'aide à la décision mais il faut justifier cela auprès des collectivités et notamment des élus l'intérêt d'un investissement.
- Idée de coupler le jumeau numérique et l'impression 3D pour avoir des représentations physiques plus parlantes pour les élus et la population.
- Le jumeau numérique, en sobriété foncière pourrait être utilisé pour montrer aux élus les différentes alternatives à l'étalement urbain en faisant des simulations de surélévation de bâtiments, de densification mais également de renaturation d'espace, etc.

Prochaines étapes :

- Prochaine réunion avec l'AUDRNA le jeudi 22 juin
 - Avec H 8
 - Développement de l'approche métier sur la sobriété foncière

[JP OPENIG] Compte rendu – Aménagement : au cœur de la sobriété foncière

[AUAT] M P-L et V C

Le 25/05/2023

En aménagement, la sobriété foncière est de mise depuis bien des années, mais force est de constater qu'à l'heure du ZAN, nous « artificialisons » encore l'équivalent d'un département moyen chaque année, alors que la population n'augmente pas à un rythme effréné. Aujourd'hui, l'enjeu est donc de disposer d'une territorialisation fine des données et d'être capable de prendre en compte la nature du sol, qui ne doit plus être vu comme un simple support mais comme une ressource à la base de différents services écosystémiques. Sur quel référentiel s'appuyer ? Le même référentiel peut-il servir tous les besoins d'aménagement ? Comment éviter les batailles de chiffres sur les « droits » à artificialiser ? À force de travailler à des échelles de plus en plus fines, ne risque-t-on pas d'aller au-delà du secret statistique ? Les questions restent nombreuses et doivent être abordées collectivement.

M P-L , chargée de projet à l'AUAT a illustré ces problématiques en détaillant l'utilisation des données géographiques dans le cadre du plan local d'urbanisme intercommunal valant habitat (PLUiH) de la communauté d'agglomération Pays Foix-Varilhes, qui rassemble 42 communes dans l'Ariège. Ne disposant d'aucune ingénierie géomatique, la CA s'est appuyée sur l'agence d'urbanisme pour accompagner les élus dans l'évaluation précise du potentiel d'urbanisation respectant les objectifs du ZAN. Après une première étape d'analyse cartographique en croisant différents types de données, c'est cartes en main que Marina Pinchinat-Loth est allée « sur le terrain » pour affiner l'analyse en s'appuyant sur la connaissance des élus et des propriétaires afin d'aboutir

à un diagnostic réaliste et partagé. « Il peut y avoir un système d'assainissement sur une parcelle potentiellement mobilisable, a expliqué la chargée de mission, et il a fallu trouver de nouveaux critères communs aux communes, comme le manque de places de stationnements, la hauteur du bâti, les marqueurs du tissu ancien... autant d'éléments qui font la spécificité du territoire ». De nouvelles données ont ainsi été créées, permettant d'affiner le diagnostic et d'arbitrer sur des décisions qui vont limiter le droit à la construction. Un travail long mais nécessaire.

[Avineon] Lise GROLLEAU

[Communauté de Communes Sud Hérault] L C

Le 01/06/2023

Points principaux :

- Sobriété foncière et Zéro Artificialisation Nette
 - Dans les petites collectivités, beaucoup de personnes sont contre l'objectif ZAN et ce qu'il impose en matière de limitation de construction (notamment les agriculteurs).
 - Il y a beaucoup de secteur ABF dans certaines communes, ce qui rend difficile la mise en place de solutions alternatives à l'étalement urbain.
 - Jumeau numérique
 - A l'échelle de la communauté de communes, avoir un SIG serait déjà une grande avancée et très utile pour tous les services.
 - Le jumeau numérique dans ce genre de collectivité ne peut pas être mis en place à l'échelle de l'intercommunalité (trop petit). Il faut voir cela plutôt à l'échelle du SCOT, de l'interSCOT voire du département.
 - Le jumeau numérique est un outil très intéressant dans l'aide à la décision pour les élus mais également pour la pédagogie auprès des habitants sur les alternatives de constructions.
-
-

[Atelier OCS GE – N-G] Compte rendu

Le 16/06/2023

Présentation de la donnée par la DGALN / DREAL

- ZAN : Enjeux de sobriété foncière et apport de la loi climat et résilience
 - 2018 : première apparition de la notion de ZAN dans la conférence pour le climat
 - L'aménagement des villes doit être repenser :
 - Moins d'étalement urbain
 - Plus de recyclage foncier et de renaturation de l'existant
 - Le ZAN s'établi à l'échelle d'un document d'urbanisme
 - 2 points à prendre en compte à l'horizon 2030 : consommation d'ENAF et artificialisation des sols
 - Le décret de la nomenclature est en cours d'évolution
 - Site du portail de l'artificialisation des sols → calculs réalisés avec l'OCS GE
 - SPARTE : mesure de la consommation d'espace
- Donnée OCS GE – N-G
 - Marge d'erreur de la donnée : il y a un objectif de 85% de donnée juste. Aujourd'hui (sur les départements déjà réalisé et en cours) ce chiffre monte à 94%.

Production de l'OCS GE – N-G par l'IGN

- 2 nomenclatures : occupation du sol et usages
- IA

- Données en entrée : aérienne, IR, MNS, MNT
 - Création par la suite d'un modèle IA qui part d'une base d'annotation puis apprentissage et amélioration automatique
 - En sortie modèle IA supervisé
- Puis inférence
 - En sortie : carte de prédiction en raster
- Puis vectorisation
- Processus de production
 - Carte de prédiction raster
 - RPG
 - BD Forêt
 - BD TOPO
 - Fichiers fonciers
- Etape de proposition de correction par des utilisateurs avant la publication
 - Gard/Hérault : première boucle de correction en nov 2023
- Produit intermédiaire : COSIA (dalle de 10x10km)

[Avineon] Lise GROLLEAU

[AUDRNA] H D

Le 22/06/2023

Points principaux :

- D S , chargée de mission à l'AUDRNA sur la thématique foncière. Développement d'un outil qui en croisant tous les règlements d'un PLU les possibilités de densification de la ville. > à contacter
- Il y a le PLU mais pas uniquement ce document à prendre en compte pour les potentiels de densification.
- Besoin en tant que professionnel de l'aménagement :
 - En premier lieu avoir une connaissance fine de l'existant et pouvoir mesurer l'artificialisation. Il existe plusieurs données mais en grande partie basé sur les fichiers fonciers donc peu fiable.
 - Question également de la précision de la donnée. Quand travail à l'échelle du projet urbain c'est compliqué.
 - Nomenclature du ZAN va effacer les petits espaces intéressant à la renaturation
 - En second lieu, lorsqu'on parle de 3D on voit le bâti mais il y a aussi la question du sous-sol. Définition de l'artificialisation = altération de la qualité du sol. Donc il est important de connaître ce qu'il y a sous nos pieds.
 - Objectif : connaître les secteurs potentiels/propices de désimperméabilisation et de renaturation
 - Limite : donnée
- Le jumeau numérique du bâti et de la végétation peut être très pertinent dans le cadre d'analyses de la surchauffe urbaine (prise en compte de la forme des bâtiments, de la présence et la forme de la végétation, etc.) – Outil Icetool

Prochaines étapes :

- Se renseigner sur les données sous-sol. Voir ce qu'il serait possible d'intégrer au jumeau numérique.
- Echanges sur les avancées du travail.

[Avineon] Lise GROLLEAU

[Communauté de Communes Pays d'Uzès] CH, S B-R

Le 23/06/2023

Points principaux :

- Zéro Artificialisation Nette
 - Complexe sur la nomenclature de ce qui est artificialisé ou non. Précisé au cas par cas dans les documents d'urbanisme
 - Règlementation :
 - SRADDET : 2 ans pour se mettre en conformité avec la loi climat et résilience
 - SCOT se rendent compatible puis les PLU d'ici 2027Très complexe de mettre à jour autant de documents d'urbanisme dans un laps de temps si court.
Si cette mise en compatibilité n'est pas faite : les communes passent en constructibilité limitée (hors zone urbaine = plus d'extension possible).
 - Contestations :
 - OCS-GE assez contestée car manque de précision sur le territoire du SCOT Uzège – Pont du Gard
 - Densification = augmentation des îlots de chaleur donc pas forcément plus bénéfique à la transition énergétique
 - Densification : Dent creuse, division, enclave
- Jumeau numérique
 - Pour une meilleure compréhension du sujet pour les non-techniciens. L'outil doit avoir un foisonnement de donner mais être simple dans sa compréhension => Aide à la décision pour les élus.
 - L'outil doit permettre une meilleure gestion de la propriété foncière (aspect financier important).
 - La 3D aide à mieux se représenter les choses sur le plan pédagogique (élu, population, etc.).

[Avineon] Lise GROLLEAU

[Montpellier Méditerranée Métropole] R T

Le 23/06/2023

Points principaux :

- Zéro Artificialisation Nette
 - Elaboration d'un PLUi à l'échelle de la métropole de Montpellier
 - Complexe sur la nomenclature de ce qui est artificialisé ou non
 - Statistiques de consommation d'espaces des dernières années avec les fichiers fonciers (= donnée considérée comme peu fiable selon beaucoup d'acteurs)
- Aménagement urbain
 - Sur le territoire de la métropole de Montpellier, l'urbanisme se faisait jusqu'à maintenant soit en diffus soit en Zone d'Aménagement Concerté. L'urbanisme en diffus est progressivement remplacé par des ZAC de renouvellement urbain afin d'avoir une meilleure gestion de la densification.
 - Plusieurs formes de densité et limites à la densité (acceptation par la population)
- Jumeau numérique

- La 3D en termes de mesure de la consommation au sol n'est d'aucune utilité. En revanche, peut-être plus utile dans la manière de réaliser le ZAN (ne pas densifier n'importe comment). Actuellement, la métropole n'a pas trouvé d'idée intéressante de cas d'usage en sobriété foncière. La 3D ne semble pas pertinente sur la thématique de la sobriété foncière.
- Le jumeau numérique est intéressant dès lors que l'on croise les données : îlots de chaleurs urbains, flux de vents, etc.
- Idées évoquées par la métropole :
 - Ombres portées – Aménagement urbain
 - Effets canyons – Qualité de l'air
 - Pollution – Qualité de l'air
- Limites de l'outil actuellement : interface très longue à charger

Prochaines étapes :

- Echanges sur les avancées du travail.

[AURAV] Séminaire Sobriété foncière

Le 26/06/2023

- Zéro artificialisation nette :
 - Il faut préserver les sols en tant que ressource naturelle qu'ils sont.
 - Cela fait plus de 10 ans que l'on parle de gestion économe de l'espace. Certaines collectivités ont déjà mis en place des outils et des mesures dans leurs documents d'urbanisme.
 - Pour mettre en place l'objectif ZAN, il est nécessaire d'impliquer toute la chaîne des acteurs de l'aménagement du territoire. La réalisation du ZAN c'est la mobilisation de tous les acteurs ensemble.
 - Y compris les géomaticiens à travers les outils SIG, Jumeau Numérique, etc. et pour la gestion des données.
- Sobriété foncière :
 - Pour une Zéro Artificialisation Nette, il faut trouver des solutions abondantes en foncier (sinon augmentation des prix).
 - Urbanisme incrémentale : l'étalement urbain d'hier est la ressource foncière d'aujourd'hui. Or de nombreux documents d'urbanisme interdisent les « villages » (bimby, densification en division parcellaire, etc.)
 - Utiliser la démolition comme dédensification quand un autre espace est densifié pour faire des espaces de biens communs.
- Il faut faire attention de bien prendre en compte tous les aspects (habitat, infrastructure, économie, etc.)
- La sobriété est bien mais l'optimisation c'est mieux.

[Avineon] Lise GROLLEAU

[AUAT] V C et V R

Le 10/07/2023

Points principaux :

- ZAN et sobriété foncière
 - Préoccupation majeure notamment depuis la loi climat et résilience

- Sujets remontés au service SIG et données pour développer des outils d'aides à la décision
- Utilisation d'un outil (2D) pour les documents de planification. Ressemblant à urbansimul mais ce dernier n'étudie les disponibilités foncières uniquement sur des unités foncières non bâti.
Utiliser pour faire de la pédagogie dans le cadre des documents de planification mais pas comme outil de mesure pour avoir un chiffre exact d'artificialisation des sols : données peu fiable (fichiers fonciers).
- Jumeau numérique
 - Données 3D et jumeaux numériques, sujets qui intéressent l'agence d'urbanisme mais qui nécessite beaucoup que moyens (financiers, humains et techniques) que l'AUAT n'a pas. Idée de mutualisation de ce JN à des territoires assez large.
 - JN utile pour tous les sujets de l'aménagement durable et de la ville de demain (îlots de chaleurs, ensoleillements, circulation, etc.)
 - Permet de travailler en hauteur et en largeur
 - Test du SICOVAL d'un jumeau numérique couplé avec des études comportementales.
Ex : déterminer non pas le meilleur endroit pour une piste cyclable mais celui où elle sera le plus utilisée
 - Le JN pour l'AUAT
 - Outil de compréhension et de concertation
 - Outil de visualisation
 - Calcul d'indicateurs
 - Outil de simulation avant les projets d'aménagement
 - Le sous-sol dans le JN : Donnée intéressante mais très difficile à trouver, très aléatoire selon les territoires mais amenée à évoluer puisqu'il y a aujourd'hui (avec le ZAN et la renaturation) de plus en plus de besoins.

[Avineon] Lise GROLLEAU

[AUDRNA] D S

Le 20/07/2023

Points principaux :

- ZAN et sobriété foncière
 - = préoccupation d'actualité qui interroge l'agence
 - Travail sur la question des friches à l'agence
 - Législation :
 - L'agence est très orientée sur le cadre législatif et les évolutions
 - Besoin l'agence : mettre en place un moyen de connecter la donnée aux objectifs législatifs auxquels les territoires doivent répondre (densification)
 - Actuellement : phase de tâtonnement d'un point de vue législatif, pas très clair donc difficile de calibrer les paramètres
 - Question de la sobriété foncière très large
 - Limiter par rapport aux données car échelle pas assez fine or, demain les agences seront obligées d'avoir des outils pour exploiter la donnée plus fine
 - Secteurs à enjeux : zones d'activités, espaces en frange urbaine
- Avant l'agence d'urbanisme – chez LKspatialist
 - Travail sur des outils de visualisation et de recherche du foncier pour les promoteurs immobiliers, les collectivités

- Mise en base de données la réglementation des documents d'urbanisme pour ensuite faire des modèles (2D et 3D), de faire des simulations et de jouer sur les règles afin de
 - voir les impacts que chaque règle pouvait avoir sur les zones (= bases de données qui n'existaient pas ailleurs)
 - voir comment on interagit toutes ses règles entre elles et quel algorithme on applique derrière
- Aujourd'hui la donnée des PLU correspond à un périmètre mais pas à des règles
- A l'agence d'urbanisme : Test sur un secteur d'activité :
 - Récupération des règles sur le document d'urbanisme actuel et les volumes existant, les surfaces de plancher > travail faisable à petite échelle.
 - Regarder si un secteur est sous-densifié ou sur-densifié par rapport à la réglementation.
 - Idée : définir en quoi cette zone est propice ou non à de la densification ou du renouvellement urbain, etc.
- Jumeau numérique pour la sobriété foncière :
 - Démarche très intéressante de pouvoir le tester et monter un modèle qui peut être réexploité sur d'autres territoires
 - Premier niveau : voir la donnée réelle du territoire (=> manque à beaucoup de territoire).
 - Avoir une donnée 3D de l'existant serait parfaite pour ensuite croiser les règlements avec la réalité
 - Une fois que cette donnée de base est bien renseignée, le croisement avec d'autres données peut être très intéressant.
 - Vrai outil d'accompagnement des élus. Aujourd'hui ils ont besoin de se projeter et souvent ils ont une vision déformée de la densification

Annexe 6 : Limites de hauteur par zone d'urbanisme

	libelle	lib_val2	perimetre	r_hauteur	r_hauteur_ngf	commentaire
1U1	1U1-1	1U1-1w		11		
1U1	1U1-1	1U1-1aw			49	Hors tout
1U1	1U1-1	1U1-1bw			55	
1U1	1U1-1	1U1-1cw				côtes inscrites au plan
1U1	1U1-1	1U1-1fw		21		
1U1	1U1-2	1U1-2aw			49	Hors tout
1U1	1U1-2	1U1-2cw				côtes inscrites au plan
1U1	1U1-2	1U1-2fw		21		
1U1	1U1-2	1U1-2w		11		
1U1	1U1-3	1U1-3w			53,5	
1U1	1U1-4	1U1-4w		11		
1U1	1U1-6	1U1-6cw		12		
1U1	1U1-7	1U1-7fw		21		
1U1	1U1-8	1U1-8w				
1U1	1U1-8		Périmètre A		50	
1U1	1U1-8		Périmètre B		53	
1U1	1U1-8		Périmètre C		55	
1U1	1U1-8		Périmètre D		63	
1U1	1U1-8		Périmètre E		85	
1U1	1U1-9	1U1-9cw		11		
1U1	1U1-9	1U1-9fw		21		
1U1	1U1-10	1U1-10w		16		
1U2	1U2-1	1U2-1fw		21		
1U2	1U2-2	1U2-2cw				côtes inscrites au plan
1U2	1U2-2	1U2-2fw		21		
1U2	1U2-2	1U2-2w		18		
1U2	1U2-3	1U2-3w		23		
1U2	1U2-4	1U2-4w		21		
1U2	1U2-5	1U2-5fw		21		
1U2	1U2-5	1U2-5w			54	
1U2	1U2-6	1U2-6w				
1U2	1U2-6		Secteur A	22		
1U2	1U2-6		Secteur B	30		
1U2	1U2-7	1U2-7w		15		
1U2	1U2-8	1U2-8w		18		
1U3	1U3	1U3w				côtes inscrites au plan
1U4	1U4-1	1U4-1w				côtes inscrites au plan
1U4	1U4-2	1U4-2w				côtes inscrites au plan
1U4	1U4-3	1U4-3w				côtes inscrites au plan
1U6	1U6	1U6w				côtes inscrites au plan
1U7	1U7-1	1U7-1w				côtes inscrites au plan
1U7	1U7-2	1U7-2w				côtes inscrites au plan
1U7	1U7-3	1U7-3w				côtes inscrites au plan
1U7	1U7-4	1U7-4w				côtes inscrites au plan
1U8	1U8-1	1U8-1w				côtes inscrites au plan
1U8	1U8-2	1U8-2w				côtes inscrites au plan
1U9	1U9	1U9w				côtes inscrites au plan
1U10	1U10	1U10w				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-1	2U1-1aw			49	Hors tout
2U1	2U1-1	2U1-1bw			55	
2U1	2U1-1	2U1-1cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-1	2U1-1dw		13		

2U1	2U1-1	2U1-1ew		15		
2U1	2U1-1	2U1-1fw		21		
2U1	2U1-1	2U1-1w		21		
2U1	2U1-2	2U1-2w		21		
2U1	2U1-3	2U1-3w		21		
2U1	2U1-4	2U1-4w		21		
2U1	2U1-5	2U1-5ew		15		
2U1	2U1-6	2U1-6cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-7	2U1-7bw			55	
2U1	2U1-8	2U1-8cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-8	2U1-8w				
2U1	2U1-8		Périmètre A	21		
2U1	2U1-8		Périmètre B	12		
2U1	2U1-9	2U1-9fw		21		
2U1	2U1-9	2U1-9w		15		
2U1	2U1-10	2U1-10bw			55	
2U1	2U1-10	2U1-10fw		21		
2U1	2U1-11	2U1-11cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-11	2U1-11w				
2U1	2U1-11		Périmètre A	10		
2U1	2U1-11		Périmètre B	14		
2U1	2U1-11		Périmètre C	16		
2U1	2U1-11		Périmètre D	21		
2U1	2U1-11		Périmètre E	18		
2U1	2U1-12	2U1-12w		18		
2U1	2U1-13	2U1-13w				
2U1	2U1-13		Périmètre A	21		
2U1	2U1-13		Périmètre B	24		
2U1	2U1-13		Périmètre C	25		
2U1	2U1-13		Périmètre D	36		
2U1	2U1-14	2U1-14w		16		
2U1	2U1-15	2U1-15w		22		
2U1	2U1-16	2U1-16fw		21		
2U1	2U1-17	2U1-17f		21		
2U1	2U1-17	2U1-17fw		21		
2U1	2U1-18	2U1-18w				
2U1	2U1-18		Périmètre A	15		
2U1	2U1-18		Périmètre B	18		
2U1	2U1-18		Périmètre C	21		
2U1	2U1-18		Périmètre D	24		
2U1	2U1-19	2U1-19w				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-20	2U1-20w		53		
2U1	2U1-21	2U1-21w		15		
2U1	2U1-22	2U1-22fw		21		
2U1	2U1-23	2U1-23w		27		
2U1	2U1-24	2U1-24w		21		
2U1	2U1-25	2U1-25w		27		
2U1	2U1-26	2U1-26cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-27	2U1-27cw				côtes inscrites au plan
2U1	2U1-27	2U1-27dw		13		
2U2	2U2-1	2U2-1bw			55	
2U2	2U2-1	2U2-1cw				côtes inscrites au plan
2U2	2U2-1	2U2-1dw		13		
2U2	2U2-1	2U2-1ew		15		
2U2	2U2-1	2U2-1fw		21		
2U2	2U2-1	2U2-1w		8		

2U2	2U2-2	2U2-2aw			49	
2U2	2U2-2	2U2-2bw			55	
2U2	2U2-2	2U2-2cw				côtes inscrites au plan
2U2	2U2-2	2U2-2dw		13		
2U2	2U2-2	2U2-2fw		21		
2U2	2U2-3	2U2-3dw		13		
2U2	2U2-3	2U2-3w		8		
2U2	2U2-4	2U2-4cw				côtes inscrites au plan
2U2	2U2-4	2U2-4dw		13		
2U2	2U2-4	2U2-4fw		21		
2U2	2U2-4	2U2-4w		9		
2U2	2U2-5	2U2-5dw		13		
2U3	2U3	2U3w				côtes inscrites au plan
2U4	2U4	2U4w		21		
2U5	2U5	2U5w		15		
2U6	2U6-1	2U6-1w				côtes inscrites au plan
2U6	2U6-2	2U6-2w				côtes inscrites au plan
2U6	2U6-3	2U6-3w				côtes inscrites au plan
2U7	2U7	2U7w		15		
2U8	2U8	2U8w		18		
2U9	2U9-1	2U9-1w		17		
2U9	2U9-2	2U9-2w		23		
2U9	2U9-3	2U9-3w		17		
2U9	2U9-4	2U9-4w		17		
2U9	2U9-5	2U9-5w		10		
3U1	3U1-1	3U1-1aw			49	
3U1	3U1-1	3U1-1bw			55	
3U1	3U1-1	3U1-1cw				côtes inscrites au plan
3U1	3U1-1	3U1-1dw		13		
3U1	3U1-1	3U1-1ew		15		
3U1	3U1-1	3U1-1fw		21		
3U1	3U1-1	3U1-1w		21		
3U1	3U1-2	3U1-2w		100		non règlementé
3U1	3U1-3	3U1-3fw		21		
3U1	3U1-4	3U1-4bw			55	
3U1	3U1-4	3U1-4cw				côtes inscrites au plan
3U1	3U1-4	3U1-4w		23		
3U1	3U1-5	3U1-5bw			55	
3U1	3U1-6	3U1-6cw				côtes inscrites au plan
3U1	3U1-6	3U1-6fw		21		
3U1	3U1-7	3U1-7w		15		
3U1	3U1-8	3U1-8w		32		
3U1	3U1-9	3U1-9fw		21		
3U2	3U2	3U2w		23		
4U1	4U1-1	4U1-1				
4U1	4U1-1		Périmètre A	15		
4U1	4U1-1		Périmètre B	12		
4U1	4U1-1	4U1-1c				côtes inscrites au plan
4U1	4U1-1	4U1-1e		15		
4U1	4U1-1	4U1-1f		12		
4U1	4U1-2	4U1-2		20		
4U1	4U1-3	4U1-3c				côtes inscrites au plan
4U1	4U1-4	4U1-4f		12		
4U1	4U1-5	4U1-5cw				côtes inscrites au plan
4U1	4U1-6	4U1-6w		25		
4U2	4U2-1	4U2-1		15		

4U2	4U2-2	4U2-2		15		
4U2	4U2-3	4U2-3		21		
4U2	4U2-4	4U2-4w				côtes inscrites au plan
4U3	4U3-1	4U3-1		15		
4U3	4U3-2	4U3-2		15		
4U4	4U4-1	4U4-1		18		
4U4	4U4-2	4U4-2		15		
6U	6U	6Uw		8		
AU0	AU0-1	AU0-1w		100		Non règlementé
AU0	AU0-2	AU0-2w		100		Non règlementé
AU0	AU0-4	AU0-4w		100		Non règlementé
AU0	AU0-5	AU0-5cw				côtes inscrites au plan
AU0	AU0-5	AU0-5w		100		Non règlementé
AU0	AU0-6	AU0-6w		100		Non règlementé
AU0	AU0-8	AU0-8w		100		Non règlementé
AU0	AU0-9	AU0-9bw			55	
1AU	1AU-1	1AU-1bw			55	
1AU	1AU-1	1AU-1w		21		
1AU	1AU-2	1AU-2w				
1AU	1AU-2		Périmètre A	26		
1AU	1AU-2		Périmètre B	35		
1AU	1AU-2		Périmètre C	13		
1AU	1AU-2		Périmètre D	21		
1AU	1AU-3	1AU-3w		31		
1AU	1AU-4	1AU-4w				
1AU	1AU-4		Périmètre A	26		
1AU	1AU-4		Périmètre B	35		
1AU	1AU-4		Périmètre C	13		
1AU	1AU-4		Périmètre D	21		
1AU	1AU-5	1AU-5w		10		
1AU	1AU-6	1AU-6w		18		
2AU	2AU-1	2AU-1bw			55	
2AU	2AU-1	2AU-1cw				côtes inscrites au plan
2AU	2AU-1	2AU-1fw		21		
2AU	2AU-1	2AU-1w		8		
2AU	2AU-2	2AU-2cw				côtes inscrites au plan
2AU	2AU-4	2AU-4bw			55	
2AU	2AU-4	2AU-4dw		13		
2AU	2AU-4	2AU-4w		8		
3AU	3AU	3AUw		8		
4AU1	4AU1-1	4AU1-1		12		
4AU1	4AU1-1	4AU1-1f		12		
4AU1	4AU1-2	4AU1-2		15		
4AU1	4AU1-2		Périmètre A	25		
4AU1	4AU1-2		Périmètre B	33		
4AU1	4AU1-3	4AU1-3		18		
4AU1	4AU1-5	4AU1-5b		10		
4AU1	4AU1-6	4AU1-6		20		
4AU1	4AU1-7	4AU1-7		18		
4AU3	4AU3-1	4AU3-1		12		
4AU3	4AU3-2	4AU3-2		12		
4AU3	4AU3-3	4AU3-3		18		
4AU3	4AU3-4	4AU3-4		27		
4AU3	4AU3-5	4AU3-5		18		
4AU4	4AU4-1	4AU4-1		15		
4AU4	4AU4-2	4AU4-2		15		

4AU4	4AU4-3	4AU4-3		15	
4AU4	4AU4-4	4AU4-4		15	
4AU4	4AU4-5	4AU4-5		15	
4AU4	4AU4-6	4AU4-6		15	
4AU5	4AU5	4AU5			
4AU5	4AU5		Périmètre A	22	
4AU5	4AU5		Périmètre B	28	
4AU5	4AU5		Périmètre C	19	
4AU5	4AU5		Périmètre D	21	
4AU5	4AU5		Périmètre E	15	
4AU6	4AU6	4AU6		15	
5AU	5AU-1	5AU-1w		15	
5AU	5AU-2	5AU-2cw			côtes inscrites au plan
5AU	5AU-2	5AU-2dw		13	
5AU	5AU-2	5AU-2fw		21	
6AU	6AU-1	6AU-1w			côtes inscrites au plan
6AU	6AU-2	6AU-2w			côtes inscrites au plan
7AU	7AU-1	7AU-1w			côtes inscrites au plan
7AU	7AU-2	7AU-2w			côtes inscrites au plan
7AU	7AU-3	7AU-3w		12	
7AU	7AU-4	7AU-4w		100	Non règlementé
8AU	8AU-1	8AU-1w			côtes inscrites au plan
8AU	8AU-2	8AU-2w			côtes inscrites au plan
9AU	9AU-1	9AU-1w			côtes inscrites au plan
9AU	9AU-2	9AU-2w			côtes inscrites au plan
9AU	9AU-3	9AU-3w			côtes inscrites au plan
9AU	9AU-4	9AU-4w			côtes inscrites au plan
9AU	9AU-5	9AU-5w			côtes inscrites au plan
10AU	10AU-1	10AU-1w			côtes inscrites au plan
10AU	10AU-2	10AU-2w		8	
10AU	10AU-3	10AU-3w		8	
10AU	10AU-4	10AU-4w			côtes inscrites au plan
11AU	11AU	11AUw			côtes inscrites au plan
12AU	12AU-1	12AU-1w			côtes inscrites au plan
12AU	12AU-2	12AU-2w			côtes inscrites au plan
12AU	12AU-3	12AU-3w			côtes inscrites au plan
13AU	13AU-1	13AU-1w			50
13AU	13AU-2	13AU-2w			50
14AU	14AU-1	14AU-1w			54
14AU	14AU-2	14AU-2w			54
15AU	15AU	15AUw			54
A	A	A		7	
N	N-1	N-1		7	
N	N-2	N-2		7	
N	N-3	N-3		8	
N	N-4	N-4		9	
N	N-5	N-5		7	
N	N-6	N-6		9	

