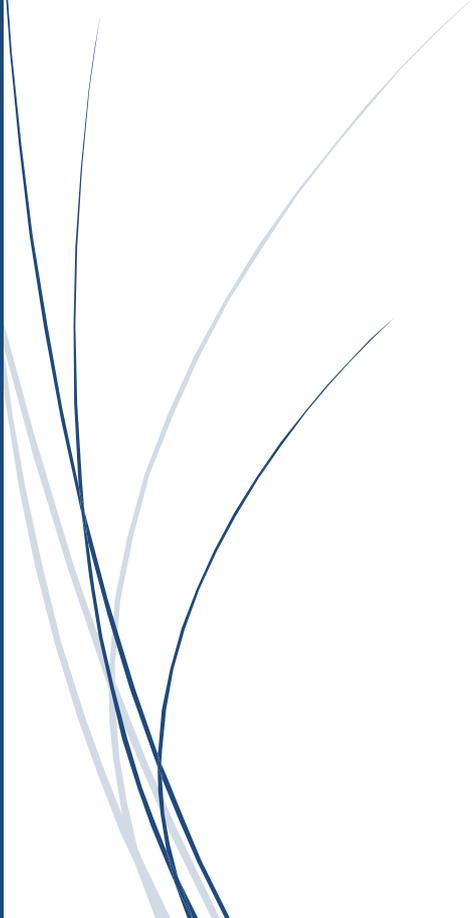




30/01/2024

La représentation cartographique du territoire d'urbanisation du canton de Fribourg

Un enjeu d'interprétation et d'échelles



Borcard Romain

MÉMOIRE DE CERTIFICAT DE GEOMATIQUE – SOUS LA DIRECTION
DE QUOC-HY DAO

Table des matières

1.	Introduction.....	5
2.	Cadre théorique : concepts et méthodes	7
a.	Diffusion (réelle) et densification (théorique) de l'urbain	9
b.	Le territoire d'urbanisation, question de quantité, question de forme.....	11
c.	Analyse de décision multicritère.....	12
3.	Présentation et enjeux du territoire d'urbanisation.....	12
a.	Rôle dans l'aménagement cantonal.....	13
b.	Présentation formelle du territoire d'urbanisation	14
4.	Genèse du territoire d'urbanisation et de sa géodonnée.....	16
a.	Analyse-métier et explication de la variante choisie	16
b.	Délimitation du territoire d'urbanisation et construction de la géodonnée	17
5.	Analyse et évaluation des extensions du territoire d'urbanisation.....	19
a.	Analyse générale du territoire d'urbanisation.....	19
	Méthodologie.....	19
	Résultat et commentaire.....	20
b.	Analyse du rapport entre densification et extension par commune	22
	Méthodologie.....	22
	Résultat et commentaire.....	23
c.	Analyse morphologique.....	24
	Méthodologie.....	24
	Résultat et commentaire.....	27
d.	Analyse multicritère des extensions	28
	Méthodologie.....	28
	Scoring final	33
	Résultat et commentaire.....	33
6.	Proposition de symbologies	34

a.	Polygones d'extension.....	35
	Méthodologie.....	35
	Résultat et commentaire.....	37
b.	Flèches d'extension	39
	Méthodologie.....	39
	Résultat et commentaire.....	42
7.	Conclusion	48
8.	Bibliographie.....	50
	Bibliographie académique.....	50
	Base juridique et administrative	51

Table des figures

Figure 1 :	Géodonnée du territoire d'urbanisation de l'agglomération de la ville de Bulle – Échelle : 1:25'000.....	6
Figure 2 :	Schéma de la classification du secteur urbanisé.....	13
Figure 3 :	Secteurs urbanisés selon les 4 priorités d'urbanisation.....	14
Figure 4 :	Model Builder du territoire d'urbanisation ou Siedlungsgebiet en allemand (Célérier, Aurèle, 2018).....	17
Figure 5 :	Scénario statistique de répartition de la surface supplémentaire de territoire d'urbanisation (ha) à l'horizon 2042 par district et priorité d'urbanisation.....	19
Figure 6 :	Comparaison de la superficie totale des extensions entre le plan directeur et la géodonnée.....	19
Figure 7 :	Répartition des extensions selon les affectations les plus proches.....	20
Figure 8 :	Carte choroplèthe du rapport entre la densification effectuée (m ²) et l'extension possible (m ²) par communes	22
Figure 9 :	Extensions et biens-fonds sans bâtiment.....	25
Figure 10 :	Raster des extensions et des biens-fonds sans bâtiment	25
Figure 11 :	Raster agrandi des biens-fonds sans bâtiment et raster des extensions.....	25

Figure 12 : Raster agrandi des biens-fonds sans bâtiment, raster des extensions et raster de contiguïté des extensions et des biens-fonds sans bâtiment.....	25
Figure 13 : Raster du noyau de densité.....	26
Figure 14 : Raster de densité de la surface bâtie.....	27
Figure 15 : Comportement statistique de la formule du scoring.....	32
Figure 16 : Structure de la symbologie sur QGIS.....	33
Figure 17 : Outil « Valeur définie par des données » pour définir l'espacement du maillage de lignes.....	34
Figure 18 : Schéma de la fonction pour faire correspondre les scores finaux au millimétrage du maillage.....	34
Figure 19 : Graphique de la fonction pour trouver la correspondance entre le millimétrage et les points.....	34
Figure 20 : Symbologie finale des extensions – Agglomération de Fribourg – Échelle 1:50'000...	37
Figure 21 : Symbologie finale des extensions – Agglomération de Fribourg – Échelle 1:25'000...	37
Figure 22 : Symbologie finale des extensions – Tafers – Échelle : 1 :12'500.....	38
Figure 23 : Réglage de la taille et de l'espacement de la symbologie sur QGIS.....	40
Figure 24 : Première symbologie des directions d'extension en forme d'arc de cercle.....	42
Figure 25 : Deuxième symbologie des directions d'extension – Agglomération de la ville de Fribourg – Échelle : 1 :50'000.....	43
Figure 26 : Deuxième symbologie des directions d'extension – Agglomération de la ville de Fribourg – Échelle : 1 :25'000.....	43
Figure 27 : Troisième symbologie des directions d'extension - Agglomération de la ville de Fribourg Échelle : 1 :50'000.....	44
Figure 28 : Troisième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Échelle : 1:25'000.....	45
Figure 29 : Quatrième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Échelle : 1:50'000.....	46
Figure 30 : Quatrième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Échelle : 1:25'000.....	46

Figure 31 : Cinquième symbologie de directions d'extension - Agglomération de Fribourg -
Échelle : 1:50'000.....47

Figure 32 : Cinquième symbologie de directions d'extension - Agglomération de Fribourg -
Échelle : 1:25'000.....47

Table des tableaux

Tableau 1 - Tableau des indices.....32

1. Introduction

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un stage au Service des constructions et de l'aménagement du Canton de Fribourg. Ce service, désigné ici par l'acronyme officiel SeCA, est rattaché à la Direction du développement territorial, des infrastructures, de la mobilité et de l'environnement (DIME). Il est l'instance compétente en matière d'aménagement, divisé entre plusieurs sections relatives à différentes échelles : cantonales, régionales et locales (ou communales). Ce service contrôle le respect des normes légales et établit des préavis à l'intention des préfetures des 7 districts du canton. Rattaché à la section *Aménagement cantonal*, le stage implique de réaliser différentes tâches en lien avec l'exploitation et la valorisation des géodonnées du SeCA, mais aussi la rédaction de rapports en lien avec les modifications du plan directeur cantonal. Le plan directeur cantonal, sur lequel travaille cette section, est le principal instrument de l'aménagement du territoire en Suisse. Il définit le développement spatial du canton et coordonne l'ensemble des activités qui ont des incidences sur le territoire, avec pour objectif que celles-ci se développent de manière cohérente et durable.

L'aménagement du territoire suit une logique de zonage avec des affectations relatives aux multiples usages du territoire, de la protection des eaux aux zones d'exploitation des gravières en passant par la zone résidentielle. En tant qu'instance de coordination et surtout de régulation, l'aménagement cantonal a pour principal support juridique, la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions (LATec). Historiquement, cette loi vise à limiter le mitage du territoire et s'inscrit en frein à une urbanisation encore peu régulée. Il n'est pas avancé d'affirmer que la régulation de l'urbanisation – au moins à un niveau normatif – est l'un des principaux buts du plan directeur cantonal. Question de terminologie, l'urbain n'est pas nécessairement le territoire des villes mais tout le territoire fortement modifié par l'action humaine, modernisé et souvent bétonné ; réguler signifie ici prévoir le développement de ce territoire en fonction de scénarii démographiques préétablis statistiquement, dont l'un sera voté par le Grand Conseil - pouvoir législatif du canton de Fribourg -, et analyser les contraintes sociales, économiques et environnementales que ce développement implique.

La zone à bâtir étant le nerf de l'aménagement territorial, l'un des concepts les plus problématiques et aussi le plus polémique est le « territoire d'urbanisation ». Brièvement formulé, le territoire d'urbanisation est constitué de l'ensemble des surfaces mises en zones à bâtir ainsi que les possibles extensions de ces zones. Actuellement, sa représentation cartographique (notamment la carte de synthèse du plan directeur cantonal) n'est pas optimale. Plusieurs éléments peuvent être améliorés : sa cohérence globale, son adéquation aux répartitions

quantitatives attribuées dans le plan directeur, sa lisibilité, sa symbologie, son niveau de détail, son échelle d'interprétation... L'amélioration de ces éléments viseraient à mieux faire comprendre et voir les impacts des modifications du territoire d'urbanisation pour les régions, les communes et autres acteurs concernés.

La complexité d'élaboration géomatique et de représentation cartographique du territoire d'urbanisation tient en grande partie au fait que l'échelle géopolitique (le canton, le district, la commune) conditionnera non seulement la répartition quantitative des zones à bâtir, mais la marge d'interprétation et d'action pour l'établissement de futures zones à bâtir. Cette marge est relative aux priorités d'urbanisation, c'est-à-dire un gradient de 1 à 4 qui accorde, selon des critères principalement démographiques et mobilitaires, plus d'extensions de zones à bâtir à certaines communes qu'à d'autres. Il va sans dire que ce gradient suit une certaine structure géographique et des chemins de dépendance en matière d'aménagement du territoire, les possibilités d'étendre la zone à bâtir étant moins importantes pour les districts ou communes éloignés des centres d'agglomération. Par conséquent et pour contrebalancer ce phénomène, la représentation du territoire d'urbanisation doit être assez précise et directive au niveau de l'aménagement cantonal mais assez souple et indicative au niveau de l'aménagement communal tout en étant suffisamment chargée d'information pour orienter la décision.

Dès lors, il s'agirait de se demander comment rendre plus intelligent le rendu cartographique, c'est-à-dire visuel du territoire d'urbanisation afin de laisser la juste marge d'interprétation aux acteurs concernés. Cette problématique centrale pourrait se diviser ainsi : comment pourrait être représenté au mieux le territoire d'urbanisation en respectant le plus fidèlement les critères, principes et quotas du plan directeur dans une symbologie simple ? Et, dans un deuxième temps, quels sont les améliorations de cette représentation qui pourrait atténuer les conflits à la fois d'interprétation et d'échelle évoqués précédemment ? Afin de répondre à ces questions, je vous présenterai d'abord mon cadre théorique et ma méthode avant d'entrer dans les détails du concept de « territoire d'urbanisation » d'un point de vue d'aménagiste. Dans un deuxième temps, je passerai à la partie à proprement parler géomatique en faisant la genèse de la géodonnée. Ensuite, il s'agira d'analyser et d'évaluer la géodonnée du territoire d'urbanisation de sorte à mener une analyse métier sur les résultats obtenus. Après quoi il sera question de la possibilité d'automatiser la répartition et le dessin des extensions du territoire d'urbanisation. Finalement, j'élaborerai et commenterai diverses symbologies destinées à représenter le territoire d'urbanisation

2. Cadre théorique : concepts et méthodes

Comme expliqué précédemment, l'aménagement du territoire en Suisse est structuré juridiquement par la LAT, texte de loi qui s'est traduit, dans le canton de Fribourg, par la LATeC (la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions) et le ReLATeC (son règlement d'exécution). L'application de ces lois doit servir « une utilisation judicieuse du sol et une occupation rationnelle du territoire » (art. 22 quater al. 1er de la Constitution fédérale [Cst.]). L'aménagement du territoire en Suisse est très marqué par le fédéralisme dans le sens où la Confédération n'a qu'une « compétence limitée aux principes en matière d'aménagement du territoire » (Tanquerel, 2015 : 343) et ce sont bien les autorités subséquentes, les cantons et principalement les communes, qui ont la charge d'adapter ces principes généraux à des situations concrètes.

Ce transfert de compétences en termes d'aménagement du territoire n'est pas sans poser de difficultés. En effet, plus l'échelle de planification est localisée, plus les contraintes et enjeux matériels sont grands, l'extension d'une zone à bâtir à l'échelle 1 :1 suscite évidemment plus de négociations qu'à l'échelle 1 :50'000. Il faut ici souligner que la Confédération fixe comme norme de lecture de la carte de synthèse du plan directeur l'échelle 1 :50'000¹ et c'est cette échelle qui s'applique légalement. La Confédération précise toutefois que l'échelle 1 :25'000 peut être utile « lorsque la densité d'information hypothèque la lisibilité des cartes »² et qu'elle est utilisée régulièrement dans le cadre de l'aménagement régional.

¹ Comme il est écrit dans le Guide de la planification directrice, « conformément à l'art. 6, al. 2, AOT, la carte est, en règle générale, établie à l'échelle 1 :50'000. Des exceptions sont possibles. »

² Guide de la planification directrice, p.66.

Comme illustré par la figure 1, issue du portail cartographique du canton de Fribourg, à côté des polygones représentant les secteurs urbanisés, le territoire d'urbanisation est représenté par des flèches indiquant la direction de l'urbanisation et des polygones d'extension de la zone à bâtir sur l'ensemble du canton.

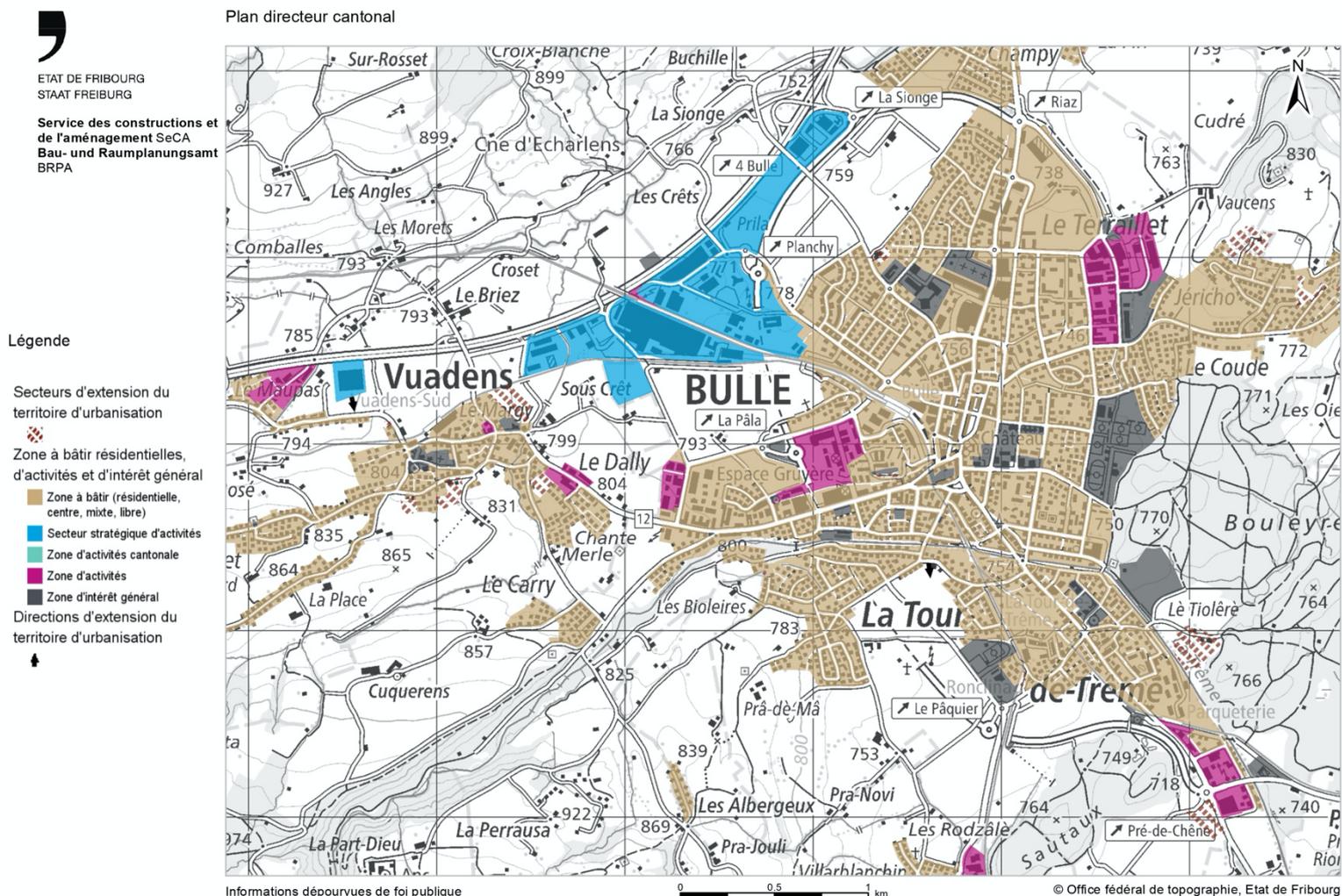


Figure 1 - Géodonnée du territoire d'urbanisation de l'agglomération de la ville de Bulle – Échelle : 1:25'000

Dans la mesure où l'objectif de ce mémoire est d'améliorer l'aide à la décision grâce aux outils géomatiques, une attention particulière à ces effets d'échelles guidera – épistémologiquement et éthiquement – mon analyse.

a. Diffusion (réelle) et densification (théorique) de l'urbain

Si le concept de territoire d'urbanisation est aussi central dans l'aménagement du territoire, c'est que ses contours sont les « limites au-delà desquelles il n'est pas possible de planifier de nouvelles zones à bâtir »³. Le territoire d'urbanisation a donc, qu'on le veuille ou non, un caractère limitatif. Ce caractère limitatif est même exigé par la LAT qui précise que le plan directeur doit définir « la dimension totale des surfaces affectées à l'urbanisation, leur répartition dans le canton et la manière de coordonner leur expansion à l'échelle régionale » (Art. 8a LAT). La dernière révision de la LAT, en vigueur depuis le 1^{er} mai 2014, visait explicitement « à réduire les zones à bâtir surdimensionnées et à mieux utiliser les réserves de terrains à bâtir ». Comme le note très justement Thierry Tanquerel, « les nouvelles exigences en matière de délimitation de la zone à bâtir et de mention des projets à grande incidence sur le territoire et l'environnement ont clairement musclé le contenu des plans directeurs » (2015 : 350). Pourtant, et c'est là toute l'ambiguïté du concept de territoire d'urbanisation, il ne s'agit pas de préaffectation, les communes ayant toujours le choix d'étendre leur zone à bâtir ou non et peuvent choisir où l'étendre mais ce choix d'affectation doit se faire dans un périmètre circonscrit.

Bien que mon travail s'approche davantage d'une analyse statistique « axée sur les variables » (variable-oriented), une analyse plus qualitative, « axée sur les cas », établissant des comparaisons intercantonales et intercommunales a montré « le rôle central joué dans la production de l'étalement urbain par la combinaison d'une marge de manœuvre communale élevée, d'une fragmentation institutionnelle élevée et des zones à bâtir surdimensionnées » (Jacopo, 2019 : 4). Rétrospectivement, même après la révision « musclant » le contenu du plan directeur, l'écart entre la théorie et la pratique de l'aménagement du territoire urbain reste grand. La densification de l'urbain vers l'intérieur est un principe juridique nécessaire mais non-suffisant à une situation de fait, la diffusion urbaine et l'étalement périurbain.

Tout récemment, les députés Sébastien Dorthe et François Genoud ont adressé une question au Conseil d'Etat sur le caractère évolutif du territoire d'urbanisation⁴. Ils émettent des craintes quant à la volonté de la DIME de « figer » le territoire d'urbanisation et se questionnent sur les possibilités de « réévaluer régulièrement (par exemple, tous les cinq ans) le territoire d'urbanisation cartographié dans le plan directeur régional ». Ils se demandent s'il deviendra impossible de modifier les contours du territoire d'urbanisation avant la prochaine approbation

³ Plan directeur du Canton de Fribourg, « Volet stratégique », p.7.

⁴ Question 2023-GC-130, Annexe 1.

du plan directeur « même si les modifications respectent le cadre quantitatif et les critères fixés dans le plan directeur cantonal ». C'est donc bien une fixation du territoire d'urbanisation par la carte de synthèse du plan directeur qu'ils redoutent et non une fixation quantitative du territoire d'urbanisation.

Il faudrait faire intervenir ici une distinction établie par Claude Raffestin (1983) à propos de l'aménagement du territoire dans le canton de Genève. Il mettait en évidence deux types de régulation qu'il désignait par les termes latins de *regula* et d'*auto-regula*, le premier est normatif, le second automatique. Le type *regula* « se manifeste, dans l'aménagement du territoire, sous la forme de normes, de règlements, de lois et de limites » et, continuait-il, « un plan directeur, qui n'est rien d'autre qu'un système de limites réalisant une partition fonctionnelle de l'espace, est l'expression d'une *regula* » (Raffestin, 1983 : 20). Il voit dans ce type de régulation une contradiction avec le temps du territoire, c'est-à-dire un mélange dynamique de pratiques, d'écosystèmes et de propriétés. En effet, la *regula* est statique, s'établit à un moment T du temps et part de l'hypothèse implicite que les usages et pratiques du territoire ne vont pas évoluer. A ce type de régulation, il oppose l'*auto-regula* qui est « un mécanisme constitué par des ajustements et des équilibrations quasiment automatiques » (Raffestin, 1983 : 20) à l'image du mécanisme marchand de l'offre et de la demande. Le type de régulation « *regula* » joue sur les choses elles-mêmes en prenant en compte la qualité et le contenu des lieux, à un moment donné, tandis que l'*auto-regula* sanctionne « de manière permanente, les changements de pratiques dans une collectivité qui valorisent et dévalorisent, à travers le temps, un même lieu » (Raffestin, 1983 : 21). Or, cette contradiction entre ces deux types de régulation n'est qu'apparente et « ce conflit est souhaitable » (Raffestin, 1983 : 21). Ce conflit est bénéfique s'il est maîtrisé, c'est-à-dire géré de manière consciente et démocratique⁵.

Une carte se situe précisément entre ces deux niveaux de régulation. Une carte doit nommer, tracer, délimiter des portions de terre mais sa fonction de représentation se perd si elle n'est pas constamment confrontée aux changements réels de la structure du territoire, autant au niveau de l'usage que de la propriété. Une manière de gérer cette contradiction entre l'aspect statique de la carte et l'aspect fluctuant des usages et limites du territoire est d'augmenter la force suggestive, l'aspect dynamique ou la protention⁶ de la représentation cartographique (i.e. la symbologie) du territoire. L'autre manière de prendre en compte cette contradiction est de symboliser une

⁵ Raffestin est clair sur ce point, entre ajustements privés/réguliers et consensus publics/irréguliers (sous forme notamment de consultation publique des modifications du plan directeur), il n'y a pas à choisir : « Si la *regula* l'emporte sur l'*auto-regula*, on doit craindre un conservatisme excessif et donc un décalage accentué entre normes et pratiques. Si c'est l'inverse on peut craindre des changements fréquents non nécessaires et porteurs de coûts sociaux élevés ».

⁶ En psychologie, fait d'être tourné vers l'avenir

emprise au sol par d'autres moyens que des polygones homogènes, par exemples avec des motifs de lignes ou de flèches. C'est le but que nous nous fixons dans ce rapport.

b. Le territoire d'urbanisation, question de quantité, question de forme

Le concept de « territoire d'urbanisation », représenté par des polygones d'extension et des flèches de direction d'extension sur la carte de synthèse, a d'abord pour but de cadrer ou réguler l'urbanisation et partant d'appliquer le principe phare de la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions, à savoir la *densification vers l'intérieur*. En géographie comme en aménagement du territoire, la notions de densité et celle conjointe de densification posent des problèmes de définition. Basiquement, la densité est la quantité de population divisée par une surface donnée mais « derrière une simplicité apparente d'une fraction arithmétique, se cache en fait une complexité majeure » (Amphoux, in Pattaroni & al. (dir.), 2009 : 246.). Est-ce que le pourcentage du bâti sur un territoire prime sur le pourcentage de population y résidant ? Est-ce que la densité est celle de la population qui habite un territoire ou qui y travaille ? Est-ce que le centre d'une agglomération doit toujours être considéré comme plus dense que sa périphérie ou y-a-t'il des noyaux de densité en périphérie également ?

Du point de vue de l'aménagiste, la gestion de l'urbanisation est prioritairement une question qualitative et seulement secondairement une question quantitative. Il n'est pas possible de se contenter de connaître le nombre d'habitant par secteur urbanisé sans prendre en compte la forme de ces secteurs. Il y a donc une nécessité de tenir ensemble une analyse de la forme des secteurs urbanisés et une quantification de la densité du bâti et de la population.

L'analyse morphologique – « l'étude de la forme physique de la ville et de la constitution progressive de son tissu » (Allain, 2004 : 10) – me permettra de déterminer comment se répartit spatialement cette densité de population et surtout de bâti. En effet, la couche de la zone à bâtir du plan directeur distingue seulement les types de zones et ne contient aucune information quant à la densité de bâti ou de population présent dans ces zones. Pour parvenir à distinguer les zones bâties des zones non bâties, il est envisagé de travailler principalement à partir de la géodonnée des bâtiments. L'analyse morphologique du bâti se fera surtout à l'aide de raster et de leurs fonctions. Ceci se justifie dans la mesure où l'étude de l'extension de la surface se heurte à l'absence de statistique si ce n'est la densité de population au kilomètre carré pour l'ensemble de la zone à bâtir de chaque localité. Les statistiques disponibles (zones à bâtir, populations et emplois, superficie) permettent seulement de dégager des tendances générales. En ce sens, travailler avec des rasters (qu'il est possible de générer avec des outils spécifiquement conçus pour

calculer des noyaux de densité) permettent d'extrapoler des informations parfois trop localisées lorsqu'on travaille à l'échelle d'une commune et d'avantage encore à l'échelle du canton, bref, travailler avec des rasters permet de schématiser et simplifier.

c. Analyse de décision multicritère

Au vu de la complexité croissante de l'aménagement du territoire, la nécessité d'avoir une vue d'ensemble des interrelations de plusieurs variables se fait capitalement sentir. Cette vue d'ensemble des interrelations peut être atteinte avec ce qu'il est convenu d'appeler une « analyse multicritère ». Comme le dit Huang et ali., « il existe de nombreuses approches qui relèvent toutes de la MCDA (multi-criteria decision analysis), chacune impliquant différents protocoles pour obtenir des données, des structures pour les représenter, des algorithmes pour les combiner et des processus pour interpréter et utiliser des résultats formels dans des contextes réels de conseil ou de prise de décision » (Huang et ali., 2011 : 3579). En aménagement du territoire, ainsi que l'explique Prével et ali., « dans les situations où la préférence n'est pas claire entre différentes affectations du sol ou divers scénarios d'aménagement, une approche méthodologique basée sur un couplage de SIG et d'AMCD permet de modéliser les aspirations des parties en fonction de critères choisis et pondérés par ces derniers, afin de négocier l'affectation du sol » (Prével et eli., 2003 : 38). En somme, l'approche multicritère couplée aux SIG permet de faire comprendre les relations entre des critères pertinents à la planification territoriale mais également comment la pondération de ces critères a été établie.

Dans le cas spécifique de ce travail, l'approche la plus adéquate des variantes de l'analyse multicritère semble être un « approche basée sur la synthétisation de critères : les scores de tous les critères sont agrégés en un seul score global. En utilisant une telle méthode, un mauvais score pour un critère peut être compensé par un bon score pour un autre critère » (Ishizaka et Siraj, 2017 : 463). Comme nous le verrons, cette approche particulière de l'analyse multicritère nous permettra surtout d'évaluer les différentes extensions de la géodonnée du territoire d'urbanisation en attribuant un score global à chacune d'elle sans en amoindrir la singularité.

3. Présentation et enjeux du territoire d'urbanisation

Selon le plan directeur, le territoire d'urbanisation représente la surface totale vouée à l'urbanisation « compte tenu des prévisions en matière de développement démographique et des

emplois, ainsi que leur répartition spatiale dans le canton pour les 25 prochaines années »⁷. Il y a donc un territoire d'urbanisation *existant* qui couvre les surfaces comportant des bâtiments, des logements, des industries, des commerces, etc. et un territoire d'urbanisation *à définir dans le plan directeur* qui reflète l'évolution des zones à bâtir pour les 25 prochaines années.

a. Rôle dans l'aménagement cantonal

Depuis l'entrée en vigueur de la LAT, les principes autant politiques que juridiques de l'aménagement du territoire ne font que renforcer une tendance, la préférence pour la densification et la requalification de zones à bâtir déjà légalisées que leur extension. Ces principes visent surtout à prévenir un usage sous-optimal des zones à bâtir déjà existantes ou des extensions superflues qui ne répondent pas aux besoins réels en zones à bâtir des communes. Aussi, pour les communes, d'autant plus si elles sont très périphériques des agglomérations régionales, les parcelles où aucun bâtiment n'a été construit pèse lourd dans leurs perspectives d'étendre leurs zones à bâtir. Fédéralisme oblige, ce qui est demandé aux communes par le canton, l'est aussi au canton par la Confédération aux cantons.

En termes d'urbanisation, le canton de Fribourg déroge quelque peu à la règle. Présentant un taux d'utilisation des zones à bâtir supérieur à 100%⁸, le canton de Fribourg peut planifier une légère augmentation de ses zones à bâtir de type résidentielle, mixte et centre, pour autant que ce développement soit maîtrisé. Selon la conception fédérale de l'aménagement, un équilibre doit être trouvé et maintenu entre la surface dédiée à l'urbanisation et les surfaces d'assolement, désigné par la Confédération comme « les terres arables convenant le mieux à l'agriculture »⁹. Comparativement aux autres cantons, la ruralité du territoire fribourgeois en fait un canton ayant une grande réserve de surface d'assolement (SDA) – un solde positif de 174 hectares – et donc un potentiel d'étendre sa zone à bâtir plus important que les autres.

Une autre raison explique le rôle particulièrement crucial que joue le concept de « territoire d'urbanisation » dans l'aménagement cantonal. Une révision de la loi cantonale sur l'aménagement et les constructions a pris place entre 2006 et 2008 afin de régler les problèmes de surdimensionnement et de thésaurisation des terrains en zone à bâtir. Elle incitait les communes à user à meilleur escient des parcelles en zone à bâtir en trouvant une entente avec les propriétaires de terrains non-construits mais légalisés. Enfin et surtout, dans le canton de Fribourg, fait rare au niveau national, ce sont les organes exécutifs communaux et non les organes législatifs qui

⁷ Plan directeur du Canton de Fribourg, « Section C / T101. Territoire d'urbanisation », p.7

⁸ Plan directeur du Canton de Fribourg, « Section C / T101. Territoire d'urbanisation », p.7

⁹Confédération suisse « Surfaces d'assolement (SDA) ». Consulté la dernière fois le 30.12.2023. URL : [Plan sectoriel des surfaces d'assolement \(SDA\) \(admin.ch\)](https://www.admin.ch/des-surfaces-d-assolement-sda-admin.ch)

décident des plans d'aménagement locaux (PAL) et, plus crucialement en ce qui concerne le territoire d'urbanisation, des plans d'affectation des zones (PAZ).

b. Présentation formelle du territoire d'urbanisation

La surface cantonale du territoire d'urbanisation représente environ 11'450 hectares, dont 1'140 hectares d'extension par rapport au territoire urbanisé en 2017¹⁰. L'entièreté de ce territoire est constituée de secteurs urbanisés - zones à bâtir continues sur la même commune - qu'ils soient situés dans le tissu urbain, périurbain ou villageois. La classification suit un embranchement qui tient compte de la densité du bâti et du nombre d'emplois par hectare. Elle peut être représentée par ce schéma (figure 2).

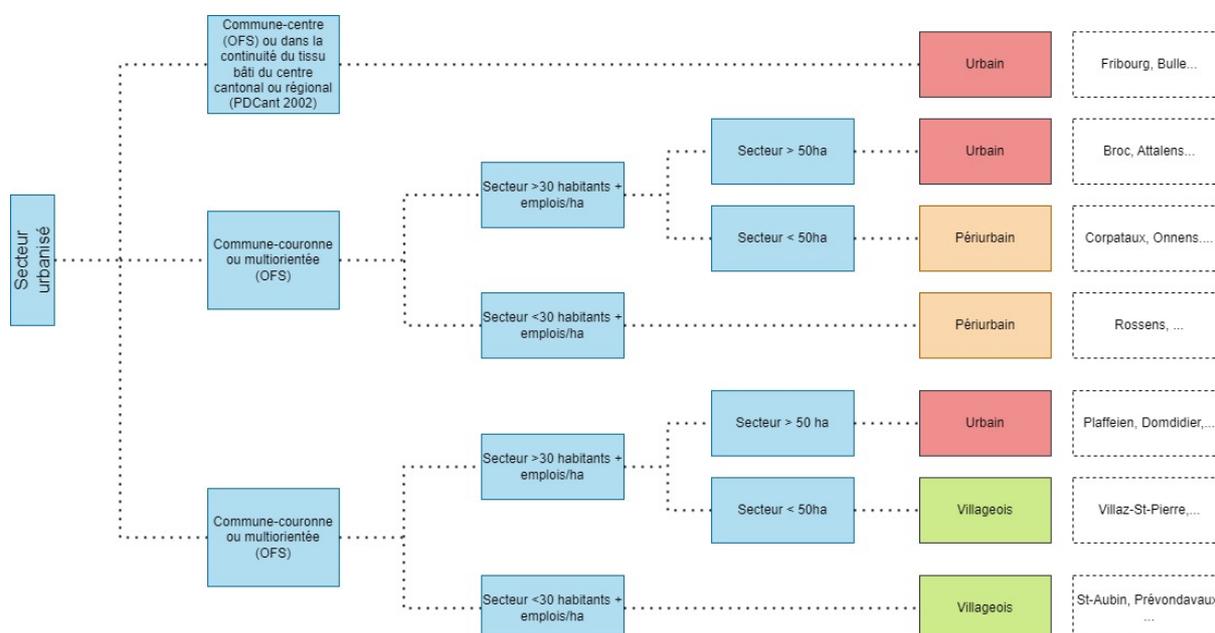


Figure 3 - Schéma de la classification du secteur urbanisé

Pourtant, les processus de zonage ne suivent pas automatiquement cette classification et plusieurs secteurs constituent des exceptions qui ont été décidées à un niveau politique. Quoiqu'il en soit, le secteur urbanisé ne dépend pas des priorités d'urbanisation mais les extensions de ce territoire en dépendent. Les priorités d'urbanisation hiérarchisent des secteurs selon la centralité géographique, l'accessibilité et surtout le degré d'urbanisation. Elles sont les suivantes :

- Priorité 1 : tissu urbain situé dans un projet d'agglomération ;
- Priorité 2 : tissu urbain situé dans un centre régional ;
- Priorité 3 : tissu urbain hors des centres ;
- Priorité 4 : secteurs urbanisés de tous les autres types d'espace.

¹⁰ Plan directeur du Canton de Fribourg, « Section C / T101. Territoire d'urbanisation », p.7

En ce qui concerne les extensions de la zone à bâtir, plusieurs principes de répartition du potentiel d'urbanisation sont explicités dans le plan directeur et visent un maximum de centralité, de densité urbaine et de contiguïté avec un seuil de rupture à 300 mètres d'un noyau d'urbanisation à partir duquel la requalification et la densification priment fortement sur l'extension.

Les extensions sont contiguës des centres urbains afin de garantir une urbanisation compacte et de préserver au mieux l'espace non construit. Le but de ces principes d'extension est de laisser le plus de marge aux communes tout en harmonisant l'urbanisation. Toutefois, les possibilités d'extensions restent majoritairement conditionnées aux priorités d'urbanisation. En résumé, le principe structurant des extensions de la zone à bâtir est le suivant : plus la priorité d'urbanisation est bonne, plus il est possible pour une commune d'étendre sa zone à bâtir, plus le quota maximum de surfaces non-construites en zones déjà légalisées est grand. Initialement, les priorités d'urbanisation se répartissaient de la manière suivante sur le canton (figure 3).

Priorités d'urbanisation (25.10.2018)

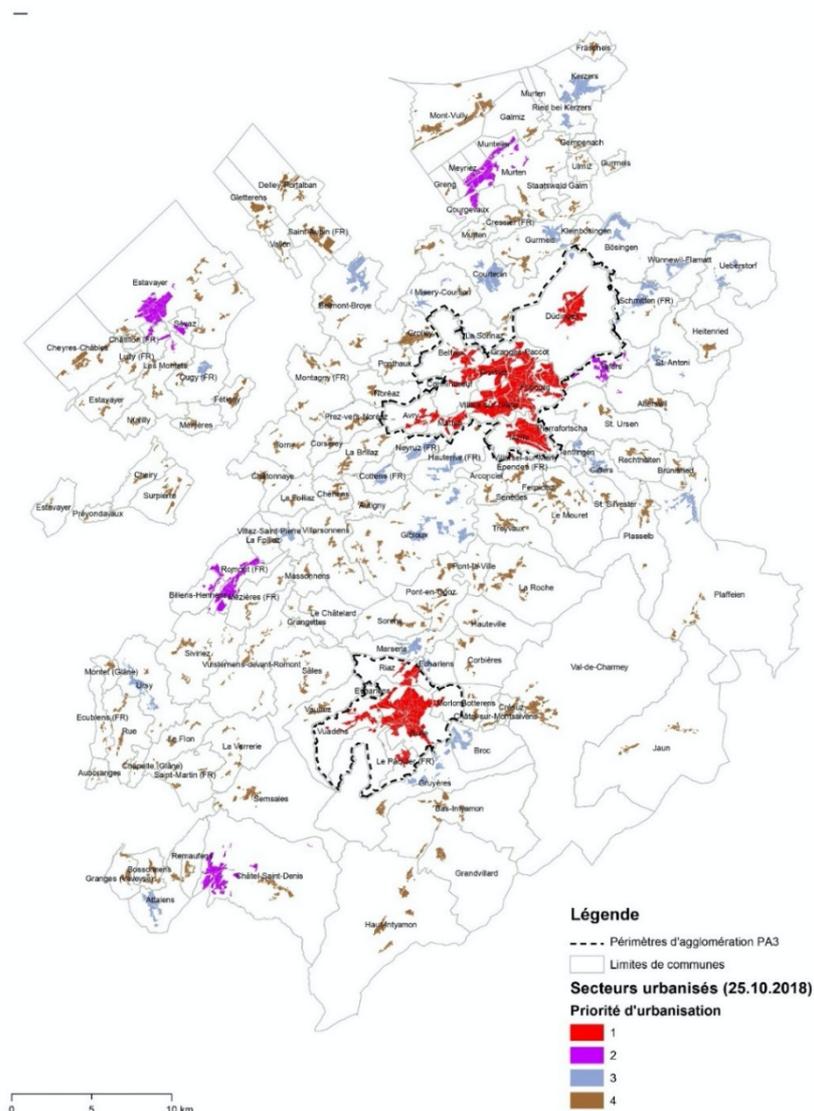


Figure 4 - Secteurs urbanisés selon les 4 priorités d'urbanisation

4. Genèse du territoire d'urbanisation et de sa géodonnée

a. Analyse-métier et explication de la variante choisie

Sans retranscrire l'entièreté de l'analyse-métier, réalisée lors d'un entretien avec la cheffe du SeCA, Giancarla Papi, je vais relever les points-clés et les enjeux que suscite le concept de « territoire d'urbanisation » pour les aménagistes cantonaux. Pour Giancarla Papi, ce qui a le plus changé en 32 ans d'expérience dans l'aménagement du territoire à l'Etat de Fribourg est la LAT qui représente un changement de paradigme dans la gestion de l'urbanisation. Ce changement peut se résumer ainsi : la densification prend le pas sur l'extension. L'article 15 le dit expressément : la mise en zone à bâtir est la dernière des mesures possibles. Entrée en vigueur en 2014, la LAT inscrit le territoire d'urbanisation et les priorités d'urbanisation au centre de ce changement de paradigme avec une obligation de fixer des limites strictes à l'urbanisation.

Le territoire d'urbanisation représente plus un potentiel d'urbanisation à ne pas dépasser qu'une pré-affectation de la zone à bâtir. Même si le territoire d'urbanisation représente une superficie de 1200 hectares, après estimation des besoins en zones à bâtir, le canton et la Confédération avait statué sur une limite maximale de 700 hectares de nouvelles zones à bâtir. Contrairement à des cantons comme Zürich et Argovie qui préaffectent, certes à l'échelle 1 :50'000, les futures zones à bâtir, Fribourg a décidé de laisser de la marge aux régions et aux communes en délimitant seulement un territoire où il était possible d'étudier des mises en zones à bâtir. Giancarla Papi insiste sur le fait que le « zoom » maximal est 1 :25'000 et la nécessité d'une marge d'interprétation à 5 ou 10 mètres : la définition du territoire d'urbanisation n'est pas de la mensuration mais consiste à poser une limite globale de l'urbain. Elle résume cela en disant qu'« il y a un piège au SIG, c'est de penser que la donnée est utilisable à n'importe quelle échelle ».

Ces choix cantonaux résultent en réalité des trois variantes qu'offre la Confédération de conceptualiser le territoire d'urbanisation dans le plan directeur et de le représenter sur la carte de synthèse. Comme il est écrit dans le complément au guide de la planification directrice, « la représentation du territoire d'urbanisation peut prendre la forme d'un périmètre strictement délimité (variante A) ou d'une combinaison entre les zones à bâtir existantes et la représentation schématique du développement futur souhaité de l'urbanisation (variante B) »¹¹. Il est aussi possible « de ne pas représenter du tout le territoire d'urbanisation sur la carte du plan directeur,

¹¹ Complément au guide la planification directrice, 2014, p.24

[mais] il est alors nécessaire de procéder à une description quantitative précise de ce territoire »¹². Le canton de Fribourg a opté pour la variante B tout en prenant en établissant des quantifications du territoire d'urbanisation. La Confédération considère cela comme un mix de la variante B qui donne des flèches indiquant la direction de l'urbanisation et de la variante quantitative C. Pour Giancarla Papi, ce n'est pas le cas, le choix d'une symbolologie de flèches et de secteurs hachurée avait seulement pour but d'indiquer qu'« à cet endroit-là, on arrête l'urbanisation parce que c'est une dent creuse ». Elle remarque également que l'orientation des flèches n'est d'ailleurs pas toujours respectée par les autorités locales.

Quoiqu'il en soit, soucieux surtout que les communes redimensionnent leur zone à bâtir, les aménagistes cantonaux ont relégué l'analyse qualitative et morphologique du territoire d'urbanisation à plus tard. Il n'a par exemple pas été tenu compte des réserves de zone à bâtir non-construite et des potentiels de densification alors qu'il s'agit d'une obligation fédérale. Par conséquent, aujourd'hui que le problème de surdimensionnement est résolu, le fait que la densification prime sur l'extension implique de renforcer l'analyse qualitative du territoire d'urbanisation. Selon le mot de Giancarla Papi, « faire de l'urbanisation vers l'intérieur, de l'urbanisation compact » implique de « chercher où est ce compact et le compact, c'est la densité ». Chercher à localiser le compact et la densité sera donc l'objectif principal de ce travail.

b. Délimitation du territoire d'urbanisation et construction de la géodonnée

Il a été nécessaire de comprendre comment la géodonnée du territoire d'urbanisation, c'est-à-dire les trois couches qui ont pour titre « Noyaux d'urbanisation » (l'ensemble des zones à bâtir, toutes affectations confondues), « Secteurs d'extension du territoire d'urbanisation » (les extensions de la zone à bâtir) et « Directions du territoire d'urbanisation » ont été élaborées. Comme dit précédemment, la délimitation du territoire d'urbanisation s'est réalisée principalement à partir d'une modélisation géomatique. Comme cette géodonnée a été construite sans méthode établie par un collaborateur du service maintenant parti, il reste de nombreuses boîtes noires dans la genèse de cette géodonnée. La seule trace de cette modélisation est le Model Builder dont j'ai pu tirer les informations suivantes.

1. La limite du territoire d'urbanisation a été définie par rapport à la zone à bâtir actuelle, plus ou moins large (voire discontinue) selon 1) le type de priorité d'urbanisation, 2) la qualité de desserte en transport public et 3) les secteurs contraignants (limites d'extension

¹² Complément au guide la planification directrice, 2014, p.24

PDComm, zones de dangers naturels, zones de protection nature/eaux souterraines/paysage, forêts et cours/plans d'eau)

2. La limite du territoire d'urbanisation a ensuite été adaptée selon les connaissances terrains des aménagistes locaux, relatives aux secteurs d'extension des plans directeurs communaux, aux plans d'aménagement local en cours de révision, aux modifications des plan d'affectation des zones, aux procédures spéciales, etc.
3. Un fois délimité le territoire d'urbanisation, il a été transformé en secteurs d'urbanisation. Il a enfin été ajouté les directions d'extension (flèches > priorités 1 à 3) pour la représentation cartographique et l'estimation quantitative par district et priorité.

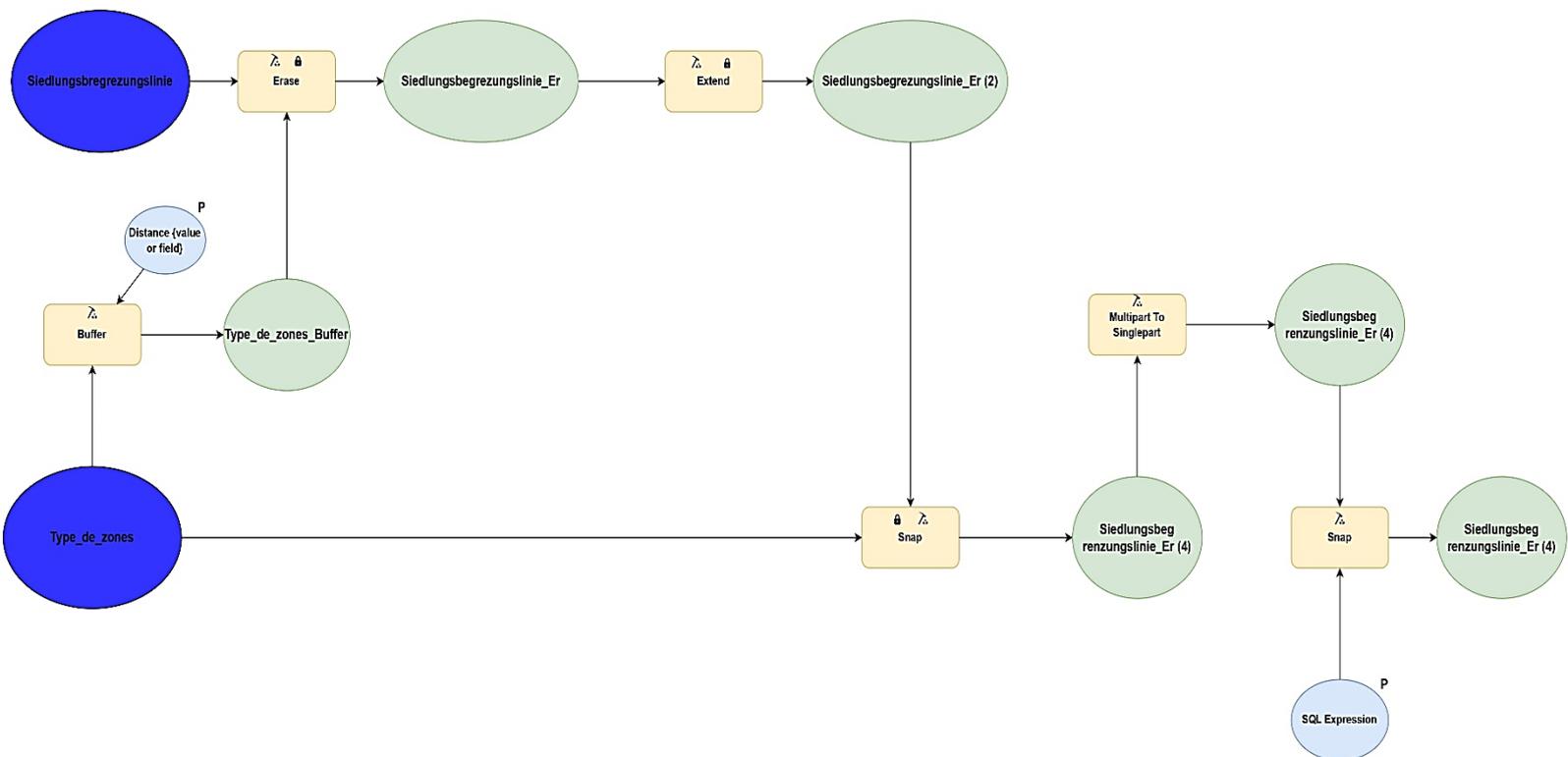


Figure 5 - Model Builder du territoire d'urbanisation ou Siedlungsgebiet en allemand (Célérier, Aurèle, 2018)

5. Analyse et évaluation des extensions du territoire d'urbanisation

a. Analyse générale du territoire d'urbanisation

Méthodologie

La méthodologie suivie ici vise à analyser globalement la géodonnée du territoire d'urbanisation. Le niveau d'analyse est macrologique et l'approche est théorique, c'est-à-dire que nous appliquons à la lettre les principes de répartition et de dimensionnement du plan directeur tout en sachant que l'implémentation de ces principes est sujet à des décisions politiques et des négociations plus localisées.

La géodonnée du territoire d'urbanisation est constituée de 1030 polygones dont les seuls attributs sont l'aire et la longueur. Afin de calculer la totalité des extensions potentielles de la zone à bâtir, il a fallu y ajouter les 12 *secteurs stratégiques d'activités* projets ayant une grande emprise sur le territoire, faisant pour cela l'objet d'une fiche de projet dans le plan directeur et inclut dans le cadre quantitatif du territoire d'urbanisation.

Dans le but d'attribuer un score à chacune des extensions, il a d'abord fallu apparier leur champ aux couches de polygones des districts puis avec celui des communes en utilisant l'outil *Intersect*. Certaines extensions et notamment les secteurs stratégiques d'activité chevauchant parfois les frontières communales, les polygones divisés ont été combinés et attribués à la commune qui en accueillait la plus grande superficie.

La géodonnée des extensions du territoire d'urbanisation date de 2018, plusieurs fusions de communes ont pris place après cette date et la géodonnée des communes date de 2022. Il a donc fallu remplacer, dans la table attributaire des extensions, le nom de la commune disparue par le nom de la nouvelle commune qui l'englobe¹³.

Afin de calculer la totalité des extensions de zone à bâtir, il était nécessaire d'intégrer au calcul les flèches qui représentent des extensions d'*au minimum* 5 hectares. Dans la mesure où les flèches représentent, pour les communes, les plus grandes possibilités d'étendre leur zone à bâtir pour des projets d'envergure, il a été attribué à ces flèches d'extensions une superficie de 7 hectares. En calculant la totalité des extensions du territoire, en effectuant un *résumé statistique* de la variable de

¹³ Arconciel, Épendes, Sales et Senèdes par la commune de Bois d'Amont. Seedorf, Corserey et Prez-vers-Noréaz par la commune de Prez. La Folliaz, Villaz-Saint-Pierre par la commune de Villaz. Alterswil, St. Antoni, Tafers par la commune de Tafers. Cheiry et Surpierre par la commune de Surpierre.

superficie des polygones puis en ajoutant le résultat de la multiplication par 7 du nombre de flèches par district.

Résultat et commentaire

Après cette simple analyse statistique, certaines contradictions entre la géodonnée de la carte de synthèse et les principes ou quotas du plan directeur cantonal se remarquent particulièrement. La première contradiction entre la géodonnée du territoire d'urbanisation et sa définition dans le plan directeur concerne la répartition par districts des extensions de zones à bâtir toute priorité confondue. Selon le plan directeur cantonal, la répartition des extensions de zones à bâtir par districts devrait correspondre à cette structure (figure 5).

Priorité d'urbanisation	Broye		Glâne		Gruyère		Lac		Sarine		Singine		Veveyse		Total	
1	0	0%	0	0%	43	48%	0	0%	112	61%	20	20%	0	0%	175	25%
2	45	41%	30	34%	0	0%	44	43%	0	0%	13	14%	13	34%	145	21%
3	11	10%	8	10%	15	17%	19	19%	30	16%	43	45%	4	9%	130	18%
4	55	50%	49	56%	31	35%	37	37%	43	23%	20	21%	22	56%	258	36%
Total	111	16%	87	12%	88	12%	101	14%	185	26%	96	14%	39	6%	708	100%

Figure 6 - Scénario statistique de répartition de la surface supplémentaire de territoire d'urbanisation (ha) à l'horizon 2042 par district et priorité d'urbanisation

D'après ce tableau, les districts ayant le plus de possibilité d'étendre leur zone à bâtir sont dans l'ordre : la Sarine, la Broye, le Lac, la Singine, la Gruyère, la Glâne et enfin la Veveyse. Cependant, cet ordre est loin d'être celui de la géodonnée de la carte de synthèse. Après cette première analyse statistique, nous arrivons au graphique suivant (figure 6).

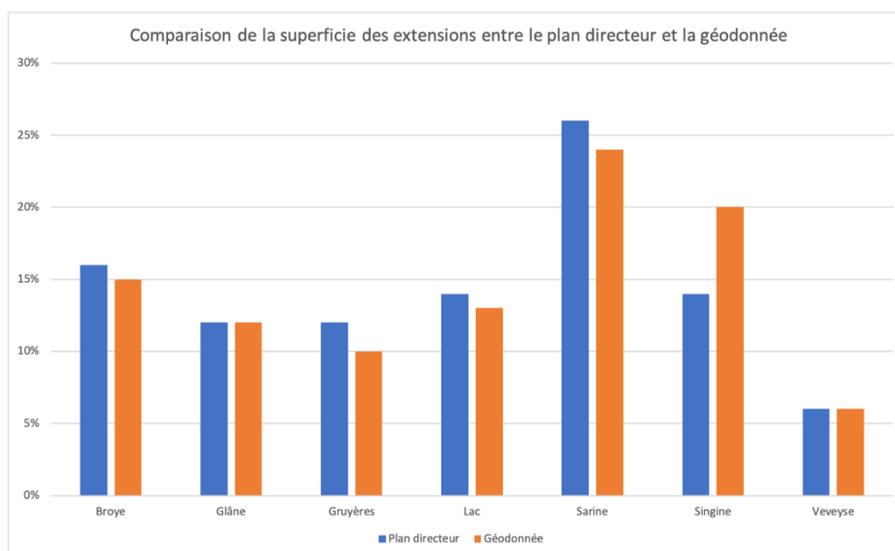


Figure 7 – Comparaison de la superficie totale des extensions entre le plan directeur et la géodonnée

En comparaison de cette répartition théorique, la répartition de potentiel d'extension dans la géodonnée de la carte de synthèse est la suivante : la Veveyese est dotée d'extensions de zone à bâtir conforme au plan directeur, le district de la Gruyère est sous-doté de 2% d'extension, l'extension prévue pour la Glâne respecte le quota théorique, les districts du Lac et de la Broye sont sous-dotés de 1% d'extension, la Singine est par contre sur-doté de 6% d'extension et finalement il manque 1% d'extension au district de la Sarine.

L'autre contradiction de la géodonnée du territoire d'urbanisation concerne le type d'affectation à proximité des extensions prévues comme en témoigne la figure 7. Il est effectivement critique que les extensions aient comme voisin le plus proche des affectations n'ayant pas de pertinence stratégique dans l'aménagement du territoire à l'instar des zones résidentielles à faible densité. Cependant, il y a un principe politique derrière le mécanisme de répartition des extensions qui est de ne pas laisser pour compte des localités où la zone résidentielle à faible densité domine.

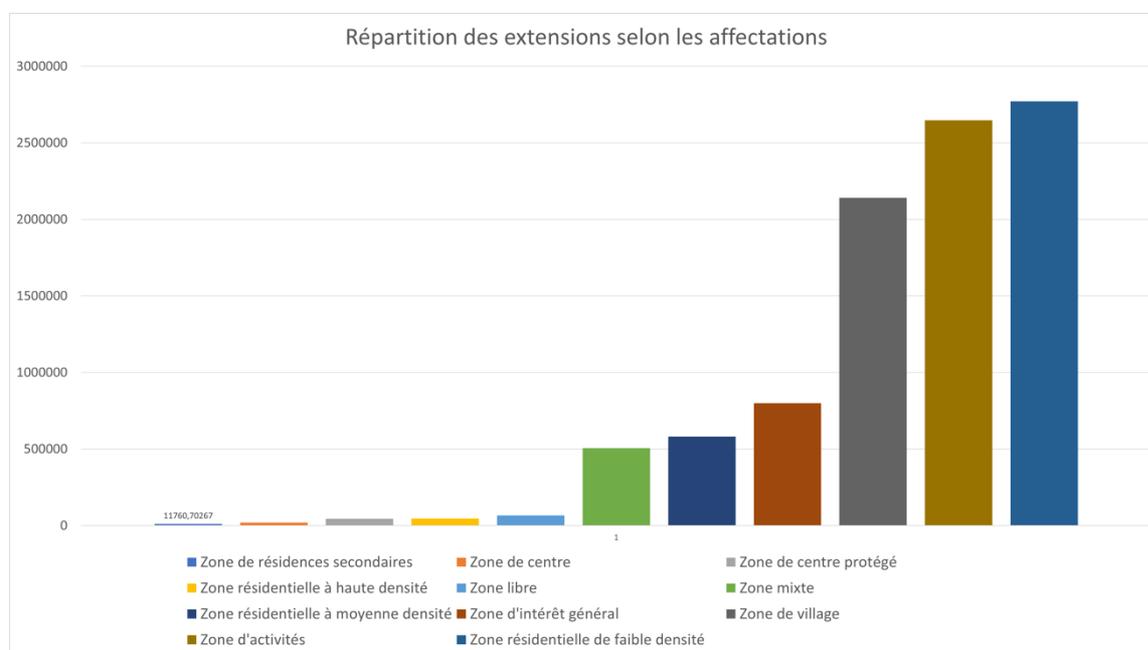


Figure 8 - Répartition des extensions selon les affectations les plus proches

Les raisons à ces divergences peuvent être de deux ordres. Déjà, nous savons que les extensions ont été dessinées par soustraction de diverses géométries, notamment celle des surfaces d'assèchement très présentes aux alentours de Bulle, principale agglomération gruérienne, zone à la plus grande capacité théorique d'extension mais comparativement la plus sous-dotée. L'autre raison de ces divergences, plus fondamentale, est que les extensions ayant une superficie d'au moins 5 hectares, donc les plus importantes, sont représentées par des flèches à l'emprise surfacique non-définie. Dans la mesure où toute modification du périmètre du territoire d'urbanisation y compris ses extensions fait l'objet d'une adoption politique, la solution proposée ici est de compenser ces divergences en quantifiant les flèches selon le solde d'extension possible.

b. Analyse du rapport entre densification et extension par commune

Méthodologie

Le rapport entre la superficie totale des parcelles non-construites et celle des secteurs d'extension est intéressante en ceci qu'elle indique les communes où la zone à bâtir est utilisée de manière sur- ou sous-optimale. Afin de visualiser ce rapport, j'ai établi un indice de surface non construite dont j'ai établi une carte choroplèthe des communes fribourgeoises. Pour ce faire, j'ai utilisé l'outil *Clip* afin de découper la couche « BIENS-FONDS », constituée par la totalité des parcelles sur le canton de Fribourg, par la couche « Zones à bâtir résidentielles, d'activités et d'intérêt général » qui représente la totalité des zones à bâtir. Ensuite, j'ai retranché toutes les parcelles en zone à bâtir où au moins un bâtiment est construit. Certains bâtiments étant mal dessinés et chevauchant certaines parcelles, j'ai appliqué un *buffer négatif* de -2 mètres. Dans la mesure où la superficie des parcelles non-construite comme celle des secteurs n'a pas de sens en elle-même, il était pertinent d'établir la différence entre le pourcentage d'extension et le pourcentage de surface non-construite sur la superficie totale de la commune.

Au niveau de la symbologie, la médiane de cet indice étant légèrement inférieur à 0, j'ai reculé le seuil de symbologie des couleurs afin que figurent en jaune les communes où la superficie d'extension est égale à la superficie de parcelles non-construites.

Résultat et commentaire

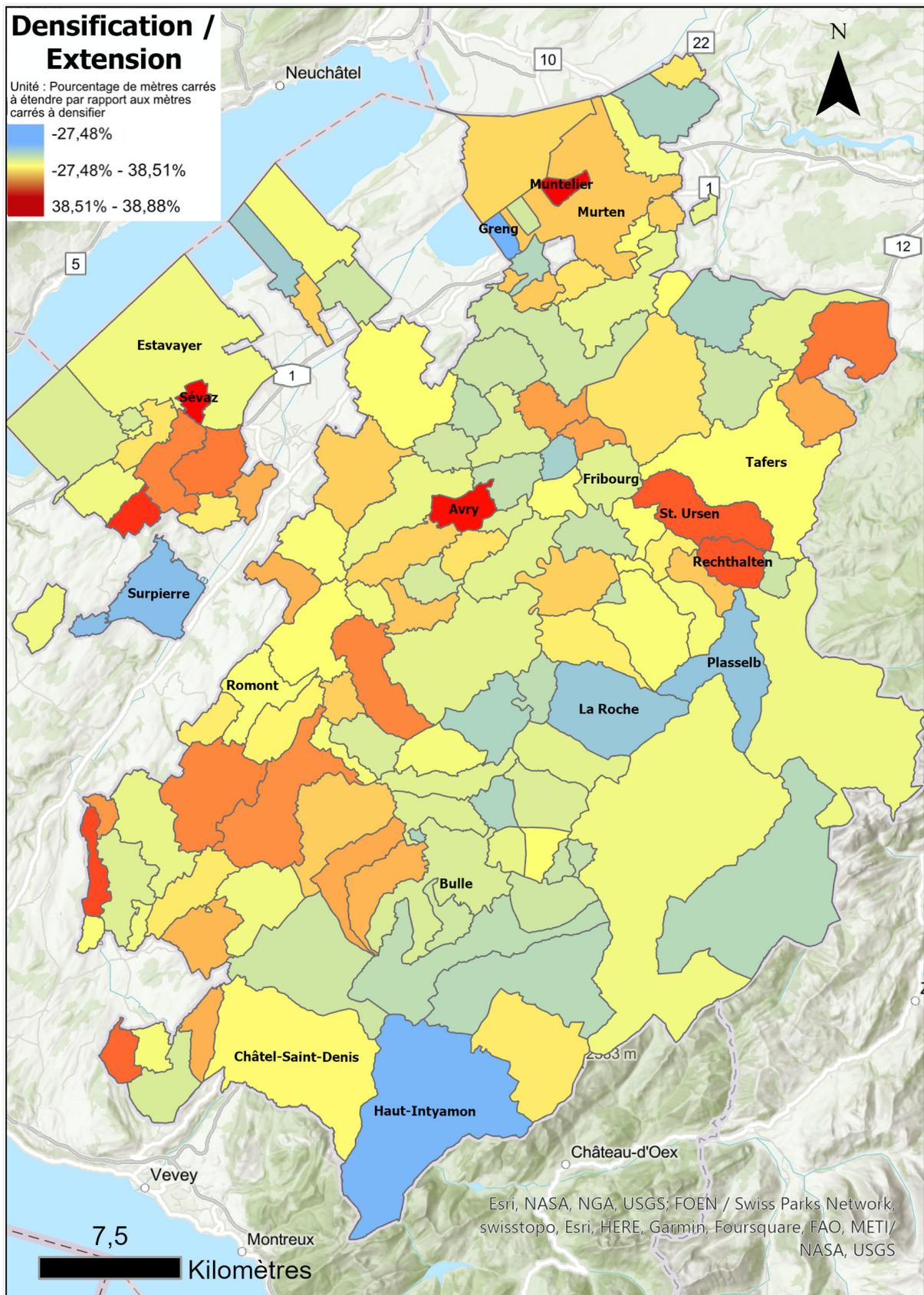


Figure 9 - Carte choroplèthe du rapport entre la densification effectuée (m^2) et l'extension possible (m^2) par communes

Cette carte choroplèthe (figure 8) illustre un indice simple mais très pertinent dans le cadre de la LAT et plus spécifiquement dans celui de la régulation de l'urbanisation. En effet, si l'indice est négatif, cela signifie que la commune a plus de parcelles non-construites que d'extensions prévus et qu'il lui sera difficile d'étendre sa zone tant qu'elle ne réduit pas le nombre de ces parcelles non-construites légalisées en zone à bâtir. Au contraire, si l'indice est positif, c'est que la superficie des extensions en zone à bâtir de cette commune dépasse la superficie de parcelles-non construites.

Certaines communes comme Avry sont en droit d'étendre de manière importante leur zone à bâtir (dans ce cas, pour des projets d'envergure cantonale inscrit au plan directeur), d'autres comme Surpierre, La Roche ou encore Haut-Intyamont – communes à dominantes rurales – devront impérativement mettre à profit leur zone à bâtir avant de l'étendre. Il est toutefois important de relever que, dans l'ensemble, les communes fribourgeoises ont un dimensionnement correct de leur zone à bâtir.

c. Analyse morphologique

Méthodologie

L'analyse morphologique se concentrera sur deux aspects de la densité, la distance entre les bâtiments et la surface bâtie dans une zone définie. Souvent, en aménagement du territoire, l'identification des ensembles bâtis agglomérés repose sur un critère de distance entre les bâtiments (Galton and Duckham, 2006). La première phase de l'analyse morphologique fut donc de déterminer les aires où les bâtiments sont les plus proches entre eux. Dans ArcGIS, il existe un outil de géotraitement spécifique à cette fin qui calcule les noyaux de densité entre des entités. Après avoir converti les polygones des bâtiments en points, j'ai lancé le géotraitement dont a résulté un raster, converti en raster Entier puis en polygone, anticipant l'intégration des valeurs au scoring final.

En outre, une analyse morphologique du bâti pose la question de savoir où prend fin la surface bâtie du territoire d'urbanisation. Certaines extensions de la zone à bâtir se trouvent à côté de parcelles non-construites et d'autres se situent sur des parcelles où se trouvent déjà des bâtiments. Par définition, ces bâtiments ne se trouvent pas dans la zone à bâtir puisqu'ils prennent place sur des extensions potentielles. Pourtant, dans l'esprit de la LAT, il vaut mieux étendre la zone à bâtir sur des parcelles déjà en partie construites que sur des parcelles peu anthropisée et mal équipés (canalisation, électrification, etc...). Il a donc fallu déterminer si des bâtiments hors-zone se trouvaient déjà dans les extensions du territoire d'urbanisation afin de créer un indice de surface déjà bâtie. La méthode consiste à : *clipper* la couche des bâtiments avec la couche des extensions,

faire une *jointure spatiale* de cette nouvelle couche et celle des extensions avec l'option de correspondance *intersecter* et en appariant le champ pour calculer la *somme* des surfaces d'un ou plusieurs bâtiments ; enfin, calculer dans un nouveau champ le *rapport entre la surface déjà bâtie et la surface totale de l'extension*.

Deuxièmement, si le principe de la LAT est la densification vers l'intérieur, il faut déterminer comment se distribue spatialement cette densité de la surface bâtie. En ce sens, j'ai rastérisé les polygones figurant les bâtiments inclus dans la zone à bâtir légalisée – couche légèrement bufferisé à une distance de 50 mètres pour intégrer le bâti proche mais, pour l'instant, hors-zone à bâtir - avec une taille de cellules suffisamment petite (1 mètres) pour découper avec précision les bâtiments. Ensuite, j'ai utilisé une fonction raster afin d'agréger les cellules du raster dont résulte un raster ayant de plus grandes cellules avec pour valeur, la surface bâtie en mètre carré. L'opération suivante a consisté en la conversion de ce raster en polygone afin de pouvoir joindre ses valeurs à la table attributaire des extensions, toujours dans le but d'établir un score final.

Troisièmement, une analyse morphologique demande d'établir la répartition spatiale du « plein » mais aussi du « vide ». Etendre une zone à bâtir à côté d'une grande parcelle, elle en zone à bâtir mais non-construite, ne respecte pas le principe de densification vers l'intérieur. Afin d'établir si une extension se trouve à proximité d'une parcelle légalisée non-construite, deux options s'offrent à nous. La première est de réitérer la méthode précédemment utilisée pour calculer l'emprise des bâtiments en bufferisant les parcelles non-construites. La seconde, choisie ici, consiste à rastériser les deux couches intéressantes pour nous, celle des extensions et celle des parcelles non-construites. Ce choix s'explique par le fait la couche du parcellaire contient des polygones ne représentant pas de réelles parcelles mais des interstices de sol entre elles ce qui fausse le calcul de la contiguïté.

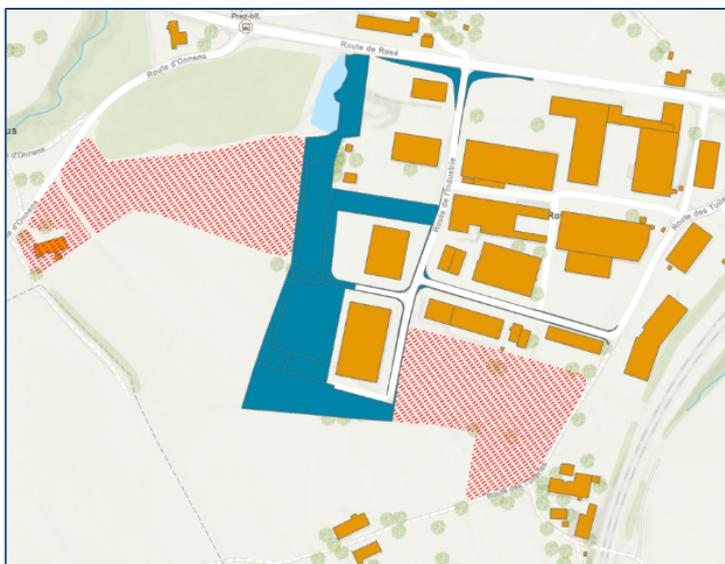


Figure 9 – Extensions et biens-fonds sans bâtiment

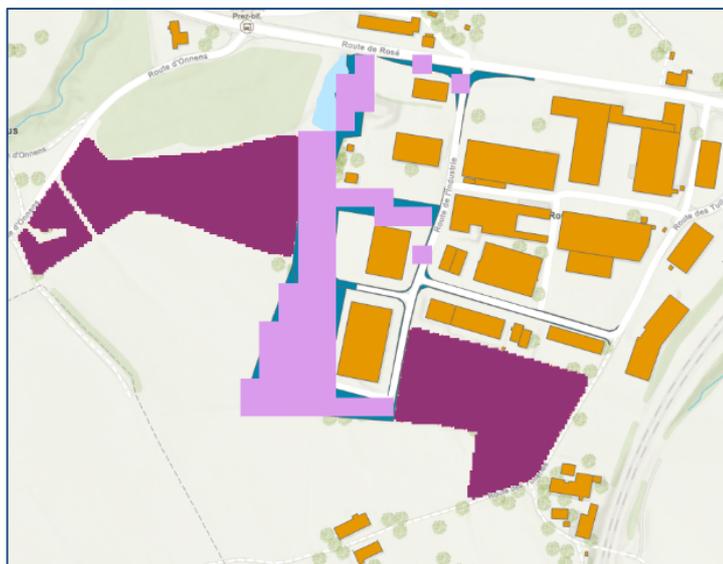


Figure 10 – Raster des extensions et des biens-fonds sans bâtiment

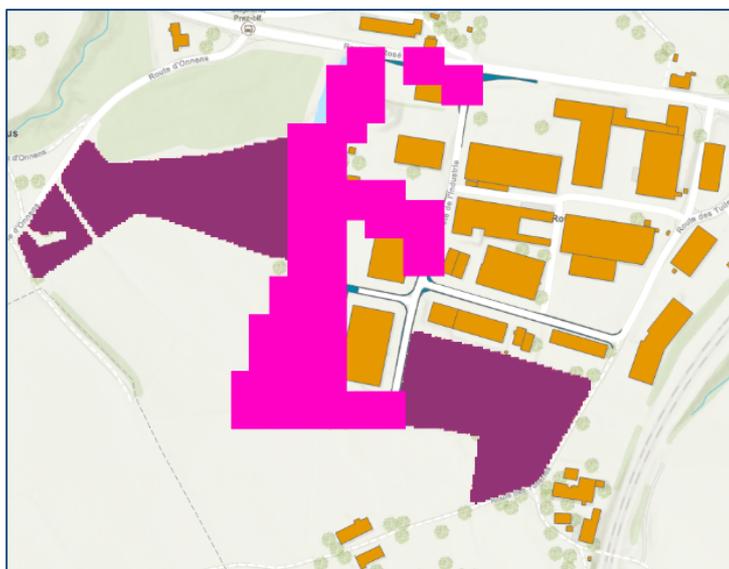


Figure 11 – Raster agrandi des biens-fonds sans bâtiment et raster des extensions

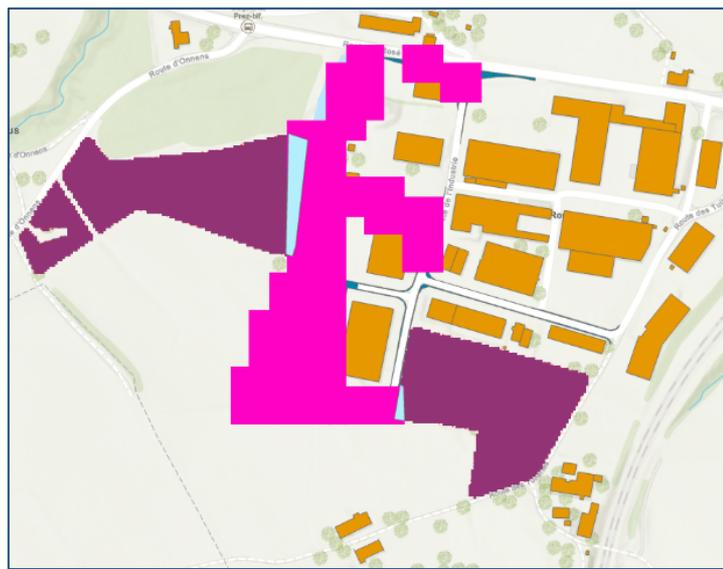


Figure 12 – Raster agrandi des biens-fonds sans bâtiment, raster des extensions et raster de contiguïté des extensions et des biens-fonds sans bâtiment

Légende

- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Bâtiment |  | Raster de biens-fonds sans bâtiment |
|  | Secteur d'extension du territoire d'urbanisation |  | Raster agrandi de biens-fonds sans bâtiment |
|  | Biens-fonds sans bâtiment |  | Raster de contiguïté entre les extensions et les biens-fonds sans bâtiment |
|  | Raster des secteurs d'extension | | |

En choisissant une taille de cellule assez grande (15), ces aberrations morphologiques ne sont pas rastérisées (figure 10). Après avoir rastérisé la couche des extensions avec une taille de cellule de 2, j'ai utilisé l'outil Raster *Développer* afin de légèrement agrandir le raster des surfaces non-construites¹⁴(figure 11). Dans le but de ne garder que l'espace de superposition de l'extension et du non-bâti, à l'aide de la *Calculatrice Raster*, le raster des extensions a été divisé par celui, étendu, du non-bâti. Ensuite, le résultat a été converti en raster de type entier avec l'outil *Entier* pour pouvoir le convertir en polygone (figure 12). Finalement, j'ai effectué la même opération qu'avec la couche de polygones des bâtiments sur les extensions en calculant par l'entremise d'une *jointure spatiale* la *somme* des surfaces non-construites contiguës aux extensions. Pour exprimer cette contiguïté sous forme d'un indice, j'ai établi un *rapport entre la surface de chevauchement avec le non-construit et la surface totale de l'extension* dans un nouveau champs des extensions.

Résultat et commentaire

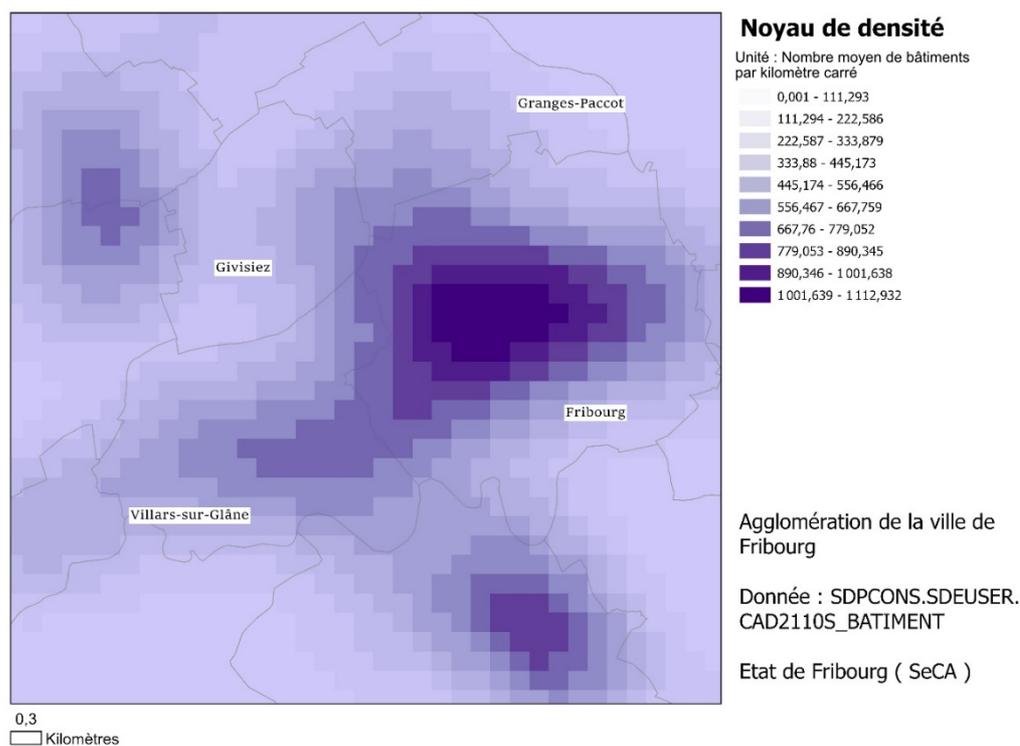


Figure 13 – Raster du noyau de densité

Le raster du noyau de densité (figure 13) est satisfaisant en ceci que l'étendue des valeurs est importante, signifiant que la valeur d'une cellule permet de distinguer localement la densité du bâti. Il ne génère toutefois aucune valeur au niveau du tissu périurbain ou villageois où il ne recouvre pas l'entièreté de la zone à bâtir légalisée. Certainement éloignées de ces tissus,

¹⁴ Les paramètres du géotraitement sont les suivants : Nombre de cellules : 2 ; Valeur de zone : 4 ; Méthode de développement : 4. Dans l'environnement, la méthode de projection de la taille de cellule est « Préserver la résolution » et la taille des cellules est identique au raster des extensions (donc 2).

l'appariement des extensions avec les polygones issus de ce raster n'a provoqué aucune valeur nulle.

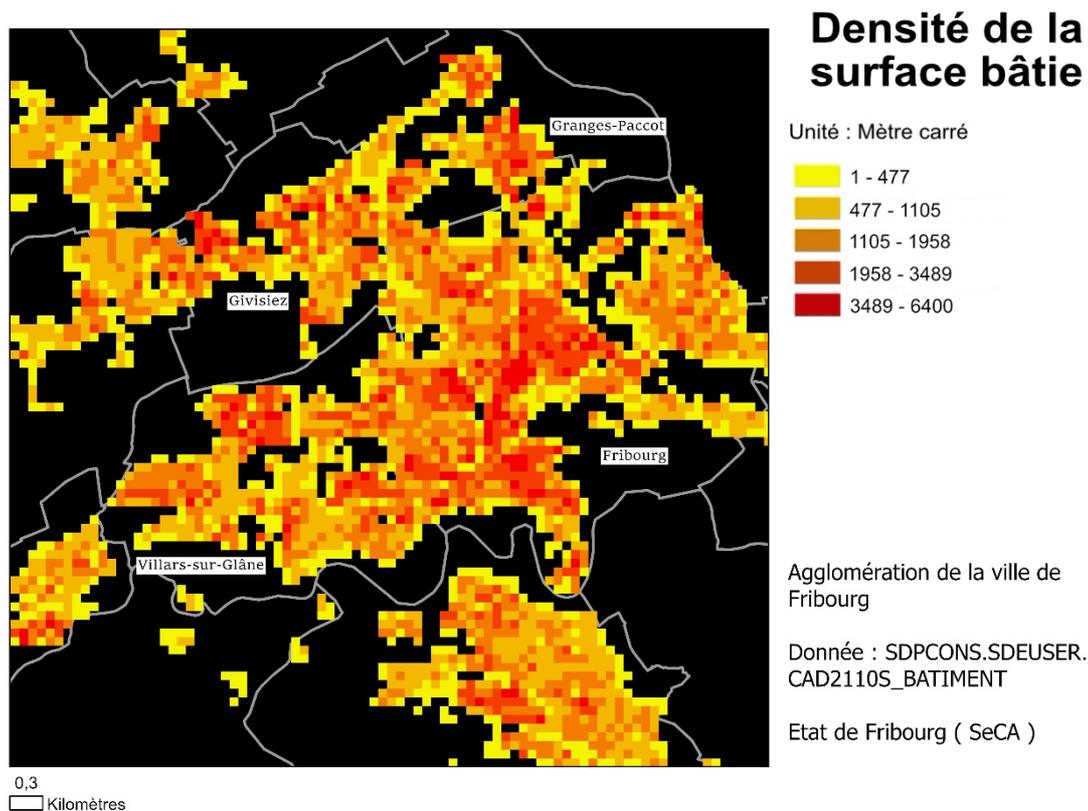


Figure 14 – Raster de densité de la surface bâtie

Le raster de densité de la surface bâtie (figure 14) est également d'une grande aide dans le but d'évaluer chaque extension. Avec des valeurs entre 0 et 6400, ce raster nous donne un gradient étendu de densité de la surface bâtie. Par rapport à des indices de densité qui se calcule à l'échelle de la commune ou de la zone à bâtir, cette méthode me permet de *gagner en localité* quant au calcul final de la densité.

L'indice de la contiguïté semble cohérent. Il suit une distribution exponentielle avec toujours moins de secteurs d'extension ayant une contiguïté toujours plus petite avec des parcelles non-construites. De plus, les parcelles ayant le plus grand indice de contiguïté sont souvent celles prévus pour de grandes zones d'activités ou des projets d'envergure cantonale. Avec ces trois indices, il est possible d'aiguiser la mesure de la densité géographique.

d. Analyse multicritère des extensions

Méthodologie

Dans un premier temps, j'ai cherché à savoir quelle était la plus grande contiguïté des polygones d'extension avec un certain type d'affectation à l'aide de l'outil *jointure spatiale* en sélectionnant l'option de correspondance *plus proche* et un rayon de recherche de 15 mètres. De brèves

justifications des coefficients attribués s'imposent tout en rappelant que l'extension de la zone à bâtir n'engendre pas mécaniquement la même affectation que la zone qui lui est contigüe.

Zone d'activités = 1 : Les zones d'activités, y compris et surtout les secteurs stratégiques, ont une importance particulière par rapport aux autres affectations dans la mesure où la concentration d'emplois est très haute, génère une activité commerciale et implique de bonnes conditions logistiques et infrastructurelles.

Zone mixte = 2 : Les zones mixtes sont destinées à l'habitation et à une ou plusieurs autres usages relevant du secteur économique secondaire et tertiaire ou à l'artisanat. Cette affectation correspond souvent à des secteurs interstitiels entre l'industrie et l'habitat au milieu du bâti et, par conséquent, peuvent être étendues sans risque de diffusion de l'urbain.

Zone de centre = 3 : Les zones de centre ont « la fonction de centre d'une localité et [...] peuvent comporter divers types d'affectations » (Ruffieux, 2018). Leurs extensions signifient assez logiquement une densification et une centralisation du tissu urbain en question.

Zone de centre protégé = 3 : Les zones de centre protégé reçoivent la même note que les zones de centre car non seulement leur affectation est très similaire mais sont catégorisés de la même manière par la Confédération.

Zone de village = 3 : Les raisons de cette note sont les mêmes que celles des deux affectations ci-dessus.

Zone d'intérêt général = 4 : Les zones d'intérêt général ont également une importante centralité. De plus, d'un point de vue normatif, l'aménagement cantonal devrait gérer la zone à bâtir dans l'intérêt public, c'est-à-dire favoriser le développement d'espaces non soumis à la propriété privée, accueillant des établissements et des infrastructures publics.

Zone résidentielle à haute densité = 5 : Les zones résidentielles reçoivent des coefficients qui décroissent selon leur densité de population mais généralement bas car la zone résidentielle, particulièrement la zone villa, a été le principal vecteur d'étalement urbain au cours des dernières années.

Zone résidentielle à moyenne densité = 6 : L'ordre des coefficients d'affectation suivent la densité de population

Zone résidentielle à faible densité = 7 : Ibidem

Zone libre = 8 : Les zones servent à structurer le milieu bâti et ont des possibilités d'extension fortement restreintes au sens de l'art. 56 LATeC (par exemple «espaces verts» à l'intérieur des zones à bâtir.)

Zone de résidence secondaire = 9 : Les zones de résidences secondaires reçoivent la note la plus basse car elles sont identiques dans leur fonction des zones résidentielles normales et sont sanctionnée par une loi – Lex Weber – à se restreindre à d'étroites limites.

Après cela, pour attribuer un niveau de desserte à chacune des extensions, j'ai réitéré l'opération *Jointure spatiale* mais cette fois avec la couche représentant sous forme de ronds concentriques les niveaux de desserte en transport public, et en sélectionnant l'option *Superposition la plus étendue* afin de joindre l'un des 5 niveaux de desserte en transport public aux polygones d'extension.

Dans un troisième temps, à partir du tableau de répartition de surface supplémentaire de territoire d'urbanisation, j'ai créé un indice représentant le quota d'extension par priorité et par district prévu dans le plan directeur en effectuant une règle de trois afin que ces quotas expriment un pourcentage des extensions de zone à bâtir non pour la totalité du district mais la totalité du canton. Il s'agit là d'une variable théorique qui normalise les scores finaux.

Quatrièmement, j'ai regroupé les différents indices établis dans l'analyse morphologique à la table attributaire des extensions. Afin de joindre l'indice localisé du raster de densité de la surface bâtie, une *jointure spatiale* a permis de calculer la moyenne des valeurs des polygones de densité dans un rayon de 150 mètres. Ensuite, j'ai inversé le pourcentage de surface non-construite en un pourcentage de surface construite afin qu'en diviseur de la formule finale du scoring, plus cet indice soit élevé, plus la note soit bonne dans le sens où la zone à bâtir est, dans ces communes, utilisée plus optimalement. J'ai également joint à la table des extensions le champs attributaire de la couche la couche « Zones à bâtir résidentielles, d'activités et d'intérêt général » qui représente la densité de population de la zone à bâtir par kilomètre carré.

La méthode du scoring multicritère demande de porter attention au domaine des valeurs entre différentes variables et plus globalement à la manière dont ces variables interagissent entre elles. Une analyse multicritère implique également d'établir une pondération des critères et par conséquent une hiérarchisation d'un nombre défini de variables. Pour cela, plusieurs transformations des domaines des valeurs ont été nécessaires. Ces transformations permettent deux choses. Premièrement, il s'agit, en échelonnant les valeurs dans un intervalle que l'on peut définir, de hiérarchiser les variables et, deuxièmement, d'uniformiser les champs de sorte que les valeurs extrêmes ne soient pas totalement écrasées. Le choix des méthodes de transformation des différents champs s'explique à l'aune de la structure de ma formule finale de scoring. Ce tableau résume les indices utilisés, leur catégorie et quelle méthode de transformation a été utilisée pour quel indice.

Catégorie d'indice	Indice	Echelle de pertinence	Méthode de transformation	Domaine des valeurs
Indices de priorité	Priorité d'urbanisation	Canton	Pas de transformation afin de garder cet indice fixe	1-4
	Desserte	Canton	Transformation avec l'outil « Standardisation Minimum-maximum » afin de rendre le domaine des valeurs plus petit que celui de l'indice de priorité	1-3
	Coefficient - Affectation	Micro-local	Transformation avec l'outil « Standardisation Minimum-maximum » afin de rendre le domaine des valeurs plus petit que celui de l'indice de desserte	1-2
Indices morphologiques	Densité de population/km ² de la zone à bâtir	Localité	Pas de transformation pour maintenir le domaine des valeurs exprimées en habitants/km ²	7,364892 - 118,05963 5
	Densité de la surface bâtie	Micro-local	Transformation avec l'outil « Standardisation Minimum-maximum » afin d'utiliser le résultat comme multiplicateur de la densité habitants/km ² de la zone à bâtir	1-10
	Noyau de densité	Micro-local	Pas de transformation mais effectuation d'une division par 10 afin de faire correspondre le résultat avec le domaine des valeurs de l'indice de densité	3,7 – 106,1

Indices de légalité			de population.	
	Contiguïté avec des parcelles non-construites	Micro-local	Transformation avec l'outil « Standardisation Minimum-maximum » afin d'échelonner le domaine de valeur entre 0 et 0,5 afin de l'additionner au coefficient d'affectation contigüe (dont le domaine de valeur se situe entre 1 et 2)	
	Surface déjà bâtie sur les extensions	Micro-local	Pas de transformation (représentant déjà un pourcentage)	0 - 1,000009
	Parcellaire construit	Commune	Pas de transformation (représentant déjà un pourcentage)	0-1
	Quota de répartition des extensions par district et priorité d'urbanisation	District	Pas de transformation (représentant déjà un pourcentage)	0,54 - 15,86
	Rapport entre extension légalisable et non-construit légalisé	Communal	Transformation avec l'outil « Standardisation robuste » car les valeurs extrêmes (négatives et positives) ne doivent pas être considérées comme aberrantes, puis fixation d'un domaine des valeurs entre 0 et 2 avec l'outil « Standardisation Minimum-maximum » pour déplacer la moyenne vers des ratios où l'extension prime sur le gel des zones à bâtir.	0 - 2

Tableau 1 - Tableau des indices

Scoring final

La dernière partie de cette analyse spatiale du territoire d'urbanisation consiste à élaborer une formule Python qui puisse synthétiser ces indices tout en ayant du sens mathématiquement. Pour faciliter la justification de ce qui motive la structure de cette formule, présentons-là :

```
(!PRIO!  
**  
2  
*  
!INDICE_  
DESSERTE! * (!COEFFICIENT_AFFECTATION!+ !INDICE_CONTIGUITE!)) / (((!DENSITE_ZAB! +  
!INDICE_NOYAU_DENSITE!)  
* (!INDICE_DENSITE_SURFACE_BATIE!  
!INDICE_DEJABATI_EXTENSION!))  
* (!INDICE_QUOTA!  
*  
!INDICE_NONCONSTRUIT_EXTENSION! * !INDICE_PARCELLAIRE_CONSTRUIT!))
```

Cette formule est constituée principalement d'une division et secondairement de multiplications de variables dont deux couples de variables additionnées. La division comme la multiplication sont des opérations distributives et établissent en un sens inversé des rapports d'ordre entre les variables. En dividende, j'ai décidé de placer les indices qui déterminent le plus largement si une extension de zone à bâtir est probable ou non. J'ai mis à la puissance 2 la priorité d'urbanisation afin de la faire grandement primer et particulièrement les priorités 1 ($1^2 = 1$). En diviseur, j'ai placé les variables qui conditionnent plus localement les indices de priorité. Dans l'ensemble, j'ai tenté de croiser des variables localement pertinentes avec des variables globalement pertinentes. Finalement, j'ai créé un nouveau champ dans la table attributaire des extensions nommé `Score_Final`.

Résultat et commentaire

Les résultats représentent les scores finaux des extensions et se situent dans un intervalle de **0,00001** (meilleure note) à **7,989891** (moins bonne note). J'ai décidé d'attribuer un score de 0,0001 aux 12 polygones des secteurs stratégiques d'activité dans la mesure où leur affectation et périmètre a été décidé politiquement et qu'ils ne subiront pas de modifications par les autorités subséquentes au Canton.

Même après standardisation, certaines valeurs avaient encore trop de poids et écrasait les autres, notamment l'indice de densité du bâti. Cet indice, créé par agrégation puis par approximation, a pour moyenne 658,473 et seulement un nombre restreint d'extensions avaient des valeurs inférieures à 10, la suite des valeurs reprenant à 78. Après visualisation de ces extensions, ces valeurs extrêmement basses ne se justifiaient pas et ont été augmentées à 30 avant d'être standardisées à nouveau.

Dans l'ensemble, la formule finale du scoring peut être dite satisfaisante dans la mesure où la hiérarchie des variables est respectée sans pour autant que des secteurs d'extensions proches géographiquement l'un de l'autre reçoivent des notes proches mathématiquement l'une de l'autre. En somme, ce classement ne suit pas linéairement les priorités d'urbanisation ou les niveaux de dessertes et maintient

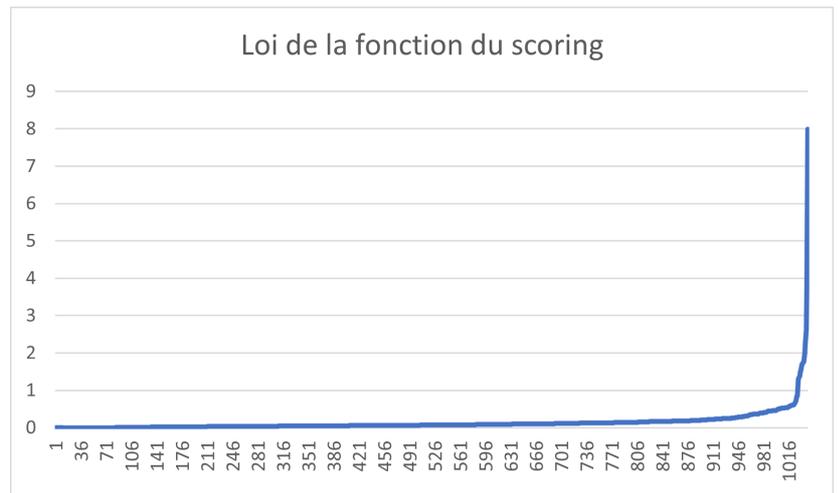


Figure 15 – Comportement statistique de la formule du scoring

la singularité de chaque extension en fonction de variables plus localisées. Toutefois, cette formule suit longtemps une loi régulière mais qui croit exponentiellement sur la fin (figure 15). Dans la mesure où ce champ doit servir à faire varier de manière graduelle et linéaire la symbologie des polygones d'extension, ceci n'est pas adéquat. Même en appliquant un logarithme de base naturelle à mon champs (l'inverse d'une fonction exponentiel), la fonction du scoring se comportait de manière erratique sur la fin. En créant un nouveau champ, après avoir attribué une note de 1 aux secteurs d'activité, j'ai simplement copié une colonne Excel de valeurs qui montent graduellement d'une unité à chacune des extensions. Le meilleur score est ainsi 1 et le pire score, 1031.

6. Proposition de symbologies

Dans la visée de faire comprendre cartographiquement l'aspect évolutif et négociable du territoire d'extension, un important travail de symbologie s'imposait. Les symbologies, présentées ici, viseront à *représenter la potentialité* pour un secteur d'extension de devenir une zone à bâtir légalisée. Il y a plusieurs contraintes à prendre en compte quant à la symbologie du territoire d'urbanisation. La première est la lisibilité des symboles. Dans la mesure où la carte de synthèse se lit à l'échelle 1 :50'000 et exceptionnellement à 1'25'000, il est important de concentrer un maximum d'information dans une symbologie simple. L'autre contrainte concerne la colorisation. En effet, la couleur des polygones d'extension de la zone à bâtir doit aisément se distinguer des nombreuses autres données de la carte de synthèse ayant toutes des couleurs différentes.

a. Polygones d'extension

Méthodologie

Étant donné que le champ des possibles en termes de symbologie est moins ouvert sur ArcGis Pro que sur QGis, j'ai exporté les couches de zone à bâtir et d'extensions dans un projet QGis.

En m'inspirant de la symbologie prévue initialement dans la carte de synthèse du plan directeur, j'ai décidé de représenter ces extensions « normales » sous forme de maillages, ou dans le langage de QGis, sous forme de *motifs de lignes* avec l'option *symbole unique* (figure 16). Je me suis servi du score final créé précédemment pour classer, ou plutôt prioriser les 1042 extensions de zones à bâtir du territoire d'urbanisation. Afin de suggérer cartographiquement la pertinence



Figure 16 - Structure de la symbologie sur QGIS

de ces extensions, la meilleure solution était de faire varier le rapprochement des lignes de ce maillage. Avec QGis, cette opération est possible en définissant la valeur de l'espacement des lignes par une variable de notre table attributaire (figure 17).



Figure 17 - Outil "Valeur définie par des données" pour définir l'espacement du maillage de lignes

Toutefois, il n'est pas possible d'utiliser la colonne représentant les scores finaux tel quelle puisque ces valeurs se situent dans un intervalle de 0,1 à 159,25 points et que l'espacement est exprimé en millimètres. Il a donc fallu choisir des extrêmes dans l'espacement des lignes afin que le maillage ne soit ni trop lâche, ni trop dense. Par tests successifs, j'ai choisi un maillage maximal de 5 millimètres – au-delà de cette limite, l'extension disparaît quasiment à partir d'une échelle plus grande que 1:25'000 – et un maximum de 0,6 millimètres – au-delà de cette limite, le maillage devient une surface remplie uniformément. L'ensemble des scores finaux devaient donc entrer dans cet intervalle, tout en gardant les rapports proportionnels qu'ils entretiennent entre eux. On peut représenter cette opération de la manière suivante :

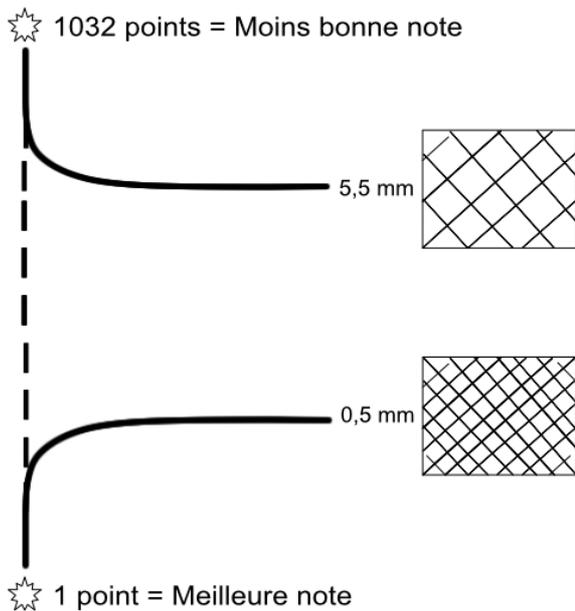


Figure 18 - Schéma de la fonction pour faire correspondre les scores finaux au millimétrage du maillage

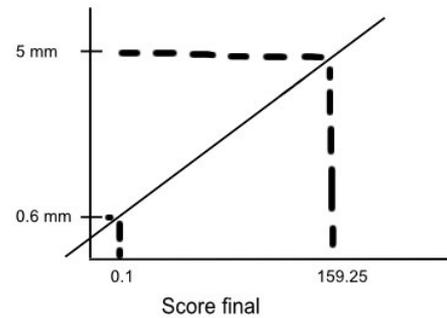


Figure 19 - Graphique de la fonction pour trouver la correspondance entre le millimétrage et les points

Pour convertir ces scores d'extension en valeurs millimétrées, on cherche une fonction $f(x)$ qui passe par deux points : $f(1)=0,5$ et $f(1032)=5,5$

Une fonction linéaire suffit. Comme premier point, on veut $f(1)=0,5$;

Cette fonction : $(X - 1) + 0,5$ fait l'affaire,

Car : $x = 1 \Rightarrow (1-1)+0,5=0,5$.

Maintenant, on veut la pente (p) de notre fonction pour que : $f(1032)=5,5$ mm

$\Rightarrow P(x-1)+0,5=5,5$ évaluer en $x=1032$

Donc : $P(1032-1)+0,5=5,5$

$$P(1031)=5$$

$$P= 5/(1031)$$

$$P=0,00484966 * (X - 1) + 0.5$$

Finalement la fonction : $0,00484966 * (X - 1) + 0.5$ passe par les deux points voulus. Cette expression finale donne le quadrillage (longueur) en fonction du pourcentage.

Une fois l'expression de la fonction trouvée, le plus simple est de l'entrer dans la calculatrice de champs sous la forme Python suivante : `0.00484966 * (!SCORE_FINAL! - 1) + 0.5`. En dernière instance, nous apparions l'espacement des lignes au champs de la variable nouvellement créée.

Résultat et commentaire

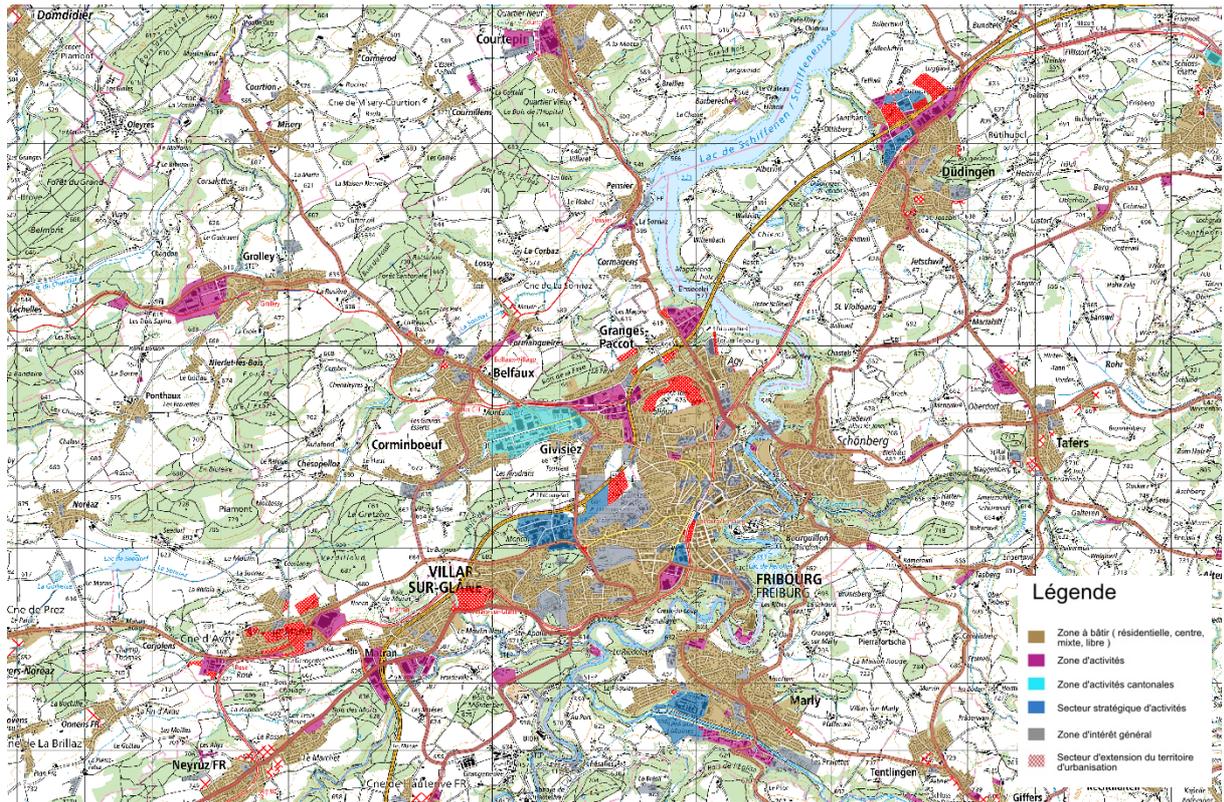


Figure 20 – Symbologie finale des extensions – Agglomération de Fribourg – Echelle 1:50'000

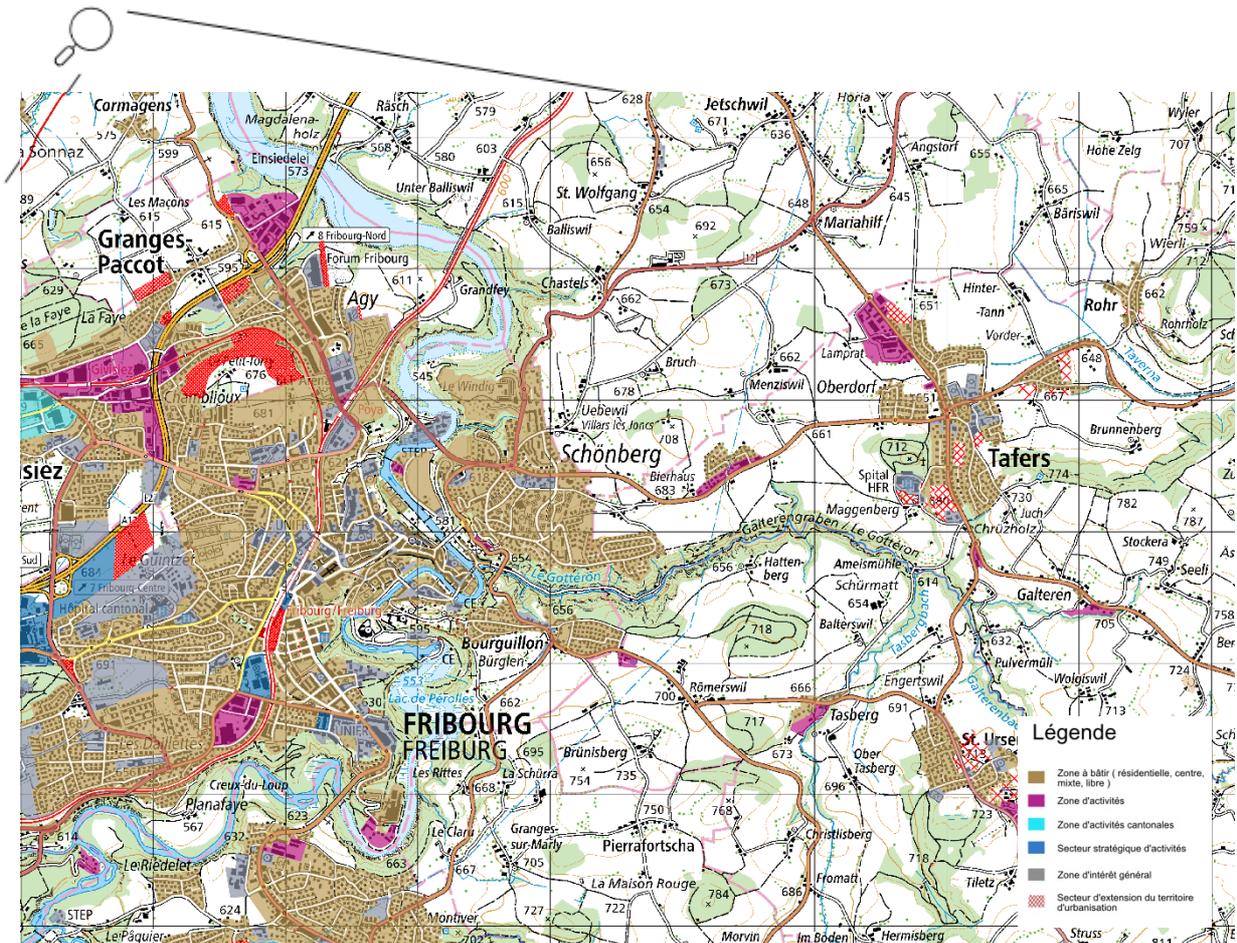


Figure 21 – Symbologie finale des extensions – Entre Fribourg et Tafers – Echelle : 1 :25'000

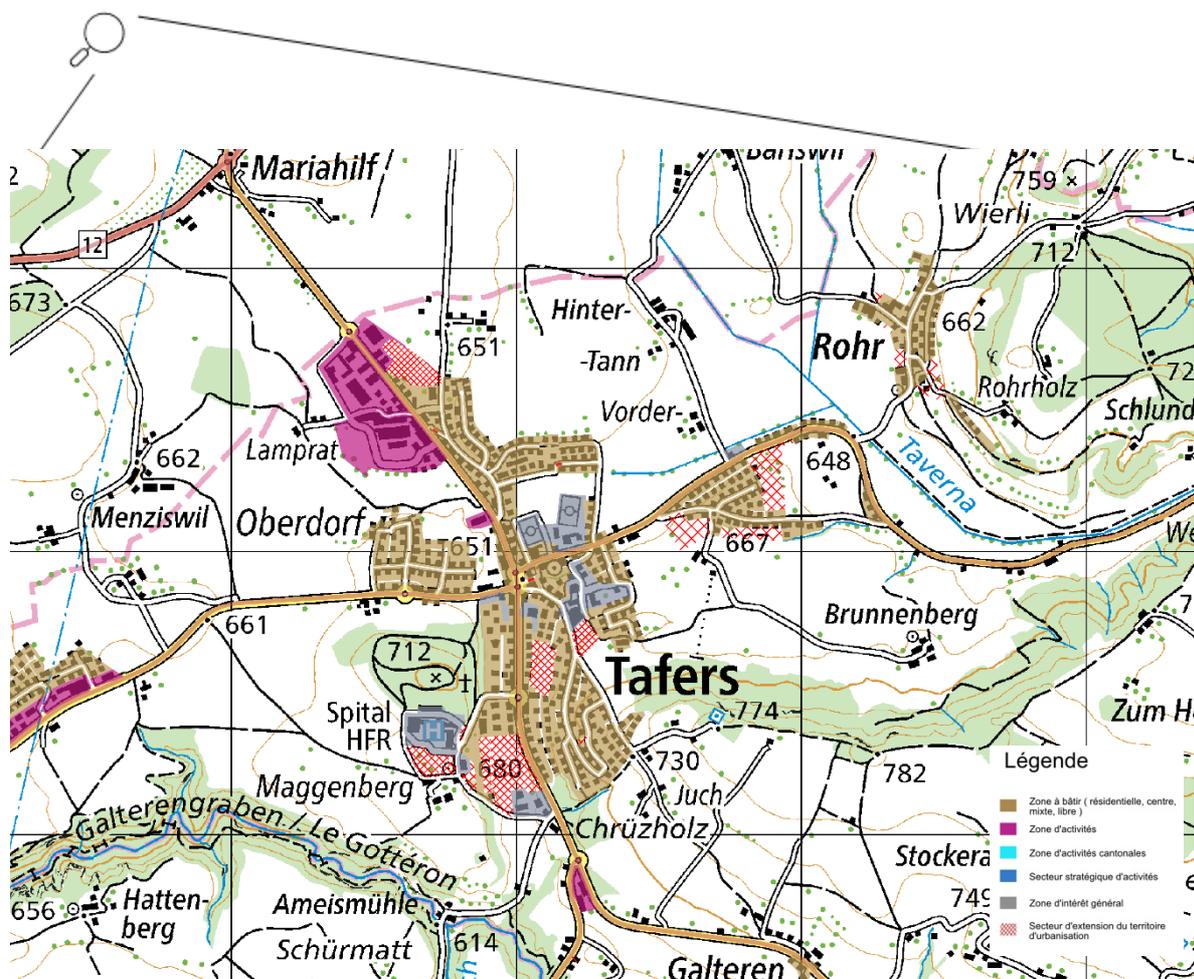


Figure 22 - Symbologie finale des extensions – Tafers – Échelle : 1 :12'500

Le grand intérêt de cette symbologie est qu'elle est scalable, c'est-à-dire que la similarité des extensions se manifeste à une grande échelle mais elles se distinguent à une petite échelle. Comme en témoigne la suite de cartes ci-dessus (figure 20, 21, 22), à l'échelle 1 :25'000, les extensions semblent avoir le même maillage mais plus l'échelle augmente, plus le maillage des extensions se distinguent, plus il devient évident de les classer selon un ordre de priorité. Cette symbologie répond donc au souhait d'accentuer la force suggestive de la représentation cartographique du territoire d'urbanisation tout en prenant en compte les conflits d'échelles. J'ai également décidé de ne pas mettre de contours aux polygones d'extension afin de laisser ouvert le périmètre précis d'affectation qui sera décidé par les communes.

b. Flèches d'extension

Méthodologie

Dans la mesure où la plus grande marge de manœuvre laissée aux communes sont les directions d'extension, il a fallu réfléchir à une symbologie les rendant cartographiquement plus prégnantes et présentant assez d'informations pour orienter la planification locale. En effet, même à l'échelle 1 :25'000, ces flèches sont très difficilement lisibles par leur taille.

Dans un premier temps, le scoring n'a pas été intégré comme pour la symbologie des extensions. De plus, étant donné que ces flèches sont des points définis par une direction exprimée par un azimut, la meilleure manière de représenter ces extensions de plus de 5 hectares semblait être de transformer une flèche ponctuelle en un ensemble de vecteurs constitué par des flèches, dont les extrémités forment un arc de cercle circonscrit par la zone à bâtir effective. Par cette forme géométrique alternative à une flèche, il s'agissait de représenter à la fois un gradient d'angle et un gradient de distance par rapport à la flèche d'origine tout en rendant plus manifeste ces possibilités importantes d'extension. Pour cela, la procédure est la suivante :

- Créer une classe d'entités de type polyligne avec l'option radial afin que toutes les lignes aient pour centre commun les coordonnées de la flèche d'origine.
- Calculer les coordonnées des deux extrémités de chaque ligne à l'aide de l'outil *Calculer des attributs géométriques*.
- Créer des points, avec une distance intercalaire de 18 mètres, avec l'outil *Générer des points le long de lignes*.
- À partir de ces coordonnées, calculer l'azimut de chaque ligne (ou direction) de flèches à l'aide de la formule Python suivante :

```
math.degrees(math.atan2(( !END_Y! - !START_Y! ),( !END_X! - !START_X! ))) + 90.
```

Ceci permet non seulement de calculer l'azimut de chaque ligne mais aussi de convertir des coordonnées arithmétiques en coordonnées géographiques en y ajoutant 90°.

- Dans un deuxième temps, j'ai créé un coefficient des azimuts pour tous les points en faisant en sorte que le plus haut coefficient soit celui de l'azimut de la flèche à l'origine de l'extension et le plus bas coefficient soit la ligne de flèches opposée à la flèche d'origine. Pour ce faire, j'ai élaboré la formule Python suivante :

```
abs(1- abs(1-(1-((abs(!Azimut_mod! + 62.829662)/180))-2))))
```

La variable !Azimut_mod! étant calculé pour chaque ligne de points ainsi : `((450- !Azimut!)%360)%180`. Et les `62.829662` représentant l'azimut de références mais aussi les degrés nécessaires pour que cet azimut de référence ait un coefficient de 1.

- Ensuite, j'ai calculé la distance de chaque point à la flèche d'origine de l'extension avec l'outil *Proche*.
- Finalement, j'ai calculé un coefficient pour chaque flèche afin de dégrader les couleurs de la symbologie selon l'azimut et la distance en employant cette formule :

$$!Coefficient_Azimut! * (200 - !NEAR_DIST!).$$

Après ces géotraitements, il reste à annuler l'échelonnage des symboles en utilisant l'*expression builder* de la symbologie et insérer une taille de symbole équivalente à 3.

Dans un deuxième temps, la symbologie s'est faite sur QGIS cette fois en intégrant le scoring. Deux symbologie ont été développées dans le but de faire toujours primer l'information de la direction donnée à l'urbanisation plutôt qu'à l'emprise surfacique de nouvelles mises en zones. C'est pourquoi j'ai simplifié la formule du scoring pour l'attribution d'une note à chaque flèche. Aussi, la formule du scoring des flèches est la suivante :

$$(!PRIO! * !INDICE_DESSERTERTE! * !COEFFICIENT_AFFECTATION!) / (!DENSITE_ZAB! + !INDICE_NOYAU_DENSITE! + !INDICE_DENSITE_SURFACE_BATIE !)$$

La meilleure note est de 0,00092592986 et la moins bonne note est 0,01713746907, remplacé par des scores qui suivent le numéro de ligne des flèches. Toujours avec des symboles uniques, le symbole des flèches a été repris mais cette fois en faisant varier le remplissage dégradé de la forme.

En faisant également varier le dégradé de couleur en fonction du score reçu, la troisième symbologie a également été pensée pour mettre en exergue l'orientation de l'urbanisation mais cette fois avec un *symbole de remplissage* composée de trois triangles. De plus, faire varier la taille de chacun des trois symboles et leur décalage selon des millimètres sans échelles (figure 23) a permis de minimiser leur éloignement réciproque à une grande échelle.



Figure 23 – Réglage de la taille et de l'espacement de la symbologie sur QGIS

Pour ces deux symbologies, une fonction linéaire a été trouvée pour faire correspondre le score au millimétrage voulu de la même manière que pour les secteurs d'extension.

Dans un troisième temps, dans la mesure où les symboles des flèches d'extension doivent répondre à une fonction représentative bien spécifique, il a été dessiné deux symboles en SVG à l'aide du logiciel *Inkscape*. Les deux informations que ces symboles doivent transmettre sont l'orientation de l'extension de la zone à bâtir et un ordre de grandeur de son emprise.

Deux formes de symboles sont proposées ici. Le premier reprend le motif des flèches mais en un symbole triangulaire composé d'une pyramide de plus petits triangles pour suggérer l'orientation et qu'à l'image des extensions, les flèches représentent également une surface. Le second propose une alternative aux flèches en tablant sur une forme ovale avec un gradient de trois couleurs. Le premier symbole (pyramide de triangle) varie selon la taille en fonction du score de chaque flèche ; le second varie selon la transparence.

Résultat et commentaire

Le résultat de la première symbologie testée est le suivant (figure 24) :

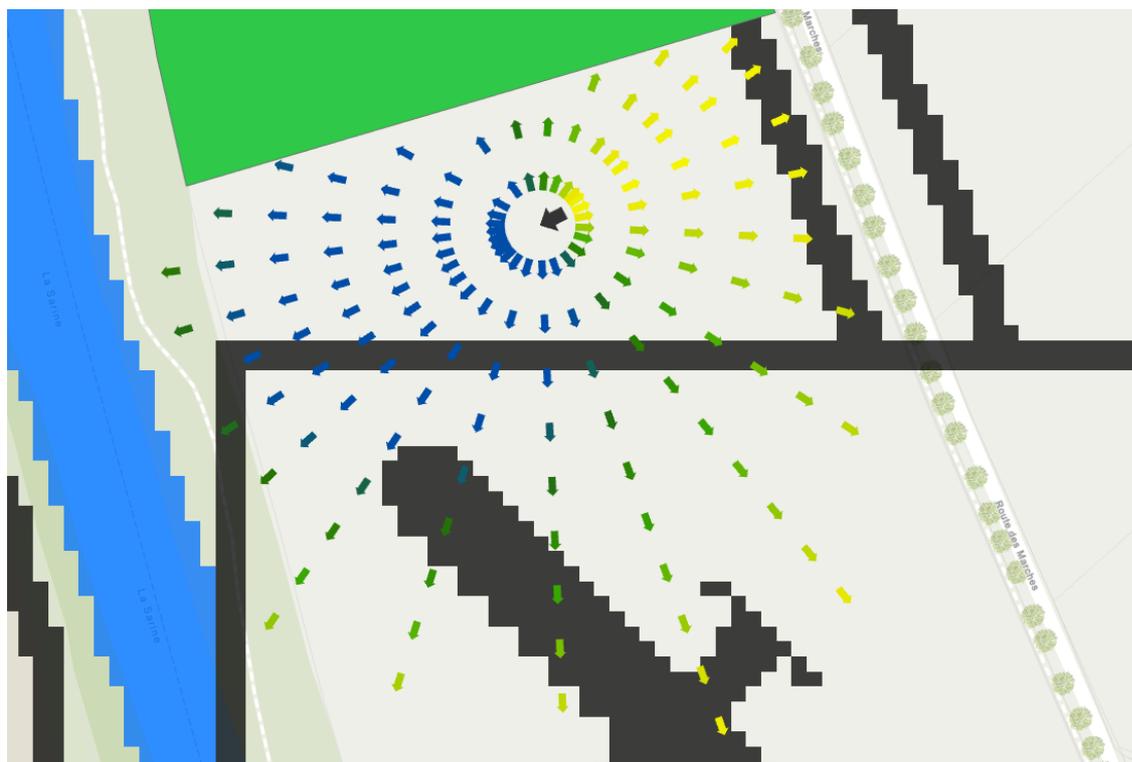


Figure 24 – Première symbologie des directions d’extension en forme d’arc de cercle

Dans cette symbologie, l’orientation comme la distance sont prises en compte mais pas de manière équivalente. Il a été difficile de faire varier la symbologie des flèches en la corrélant à un champ de la même manière que les polygones d’extension si ce n’est par la taille. De plus, à une certaine échelle ce motif en gradient perd en lisibilité dès lors que les flèches en se rapprochant s’agglomèrent en un arc-de-cercle.

Les autres symbologies sont plus satisfaisantes.

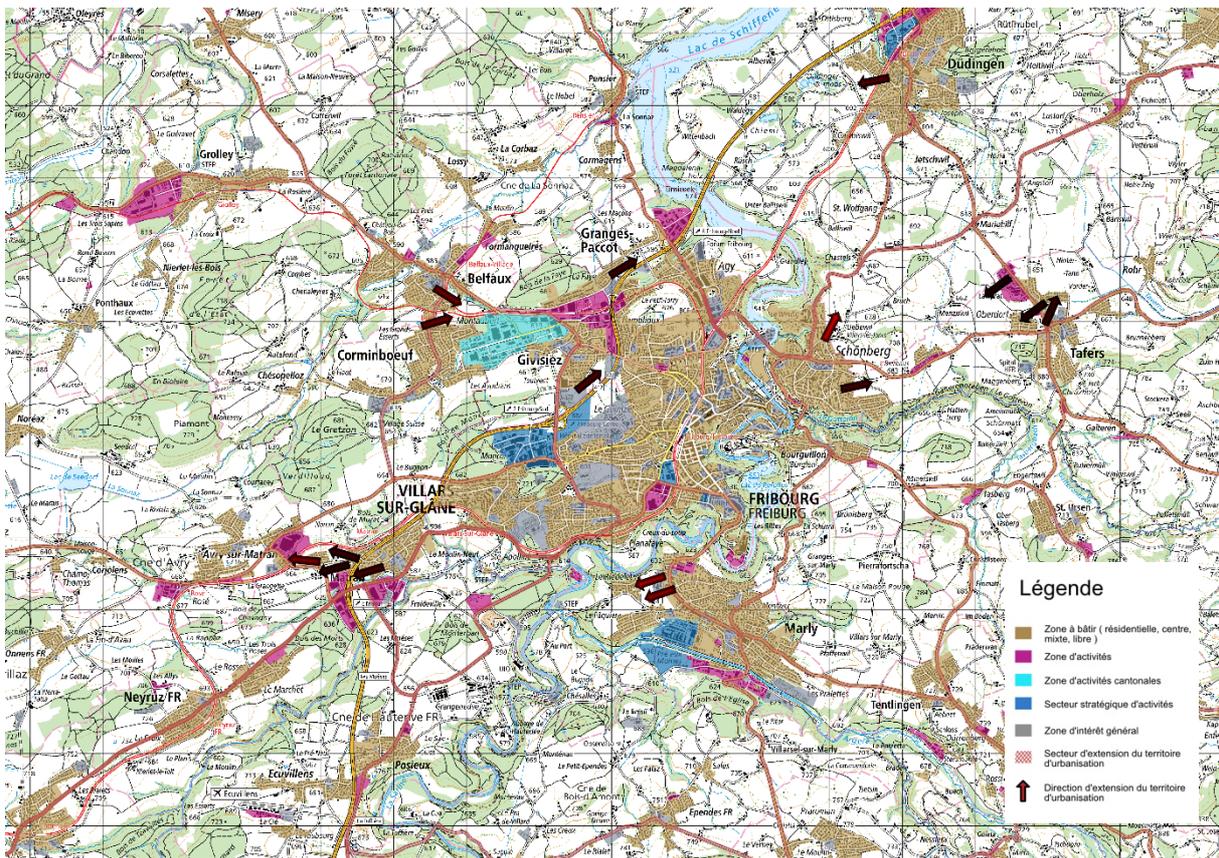


Figure 25 – Deuxième symbolologie des directions d'extension – Agglomération de la ville de Fribourg – Echelle : 1 : 50'000

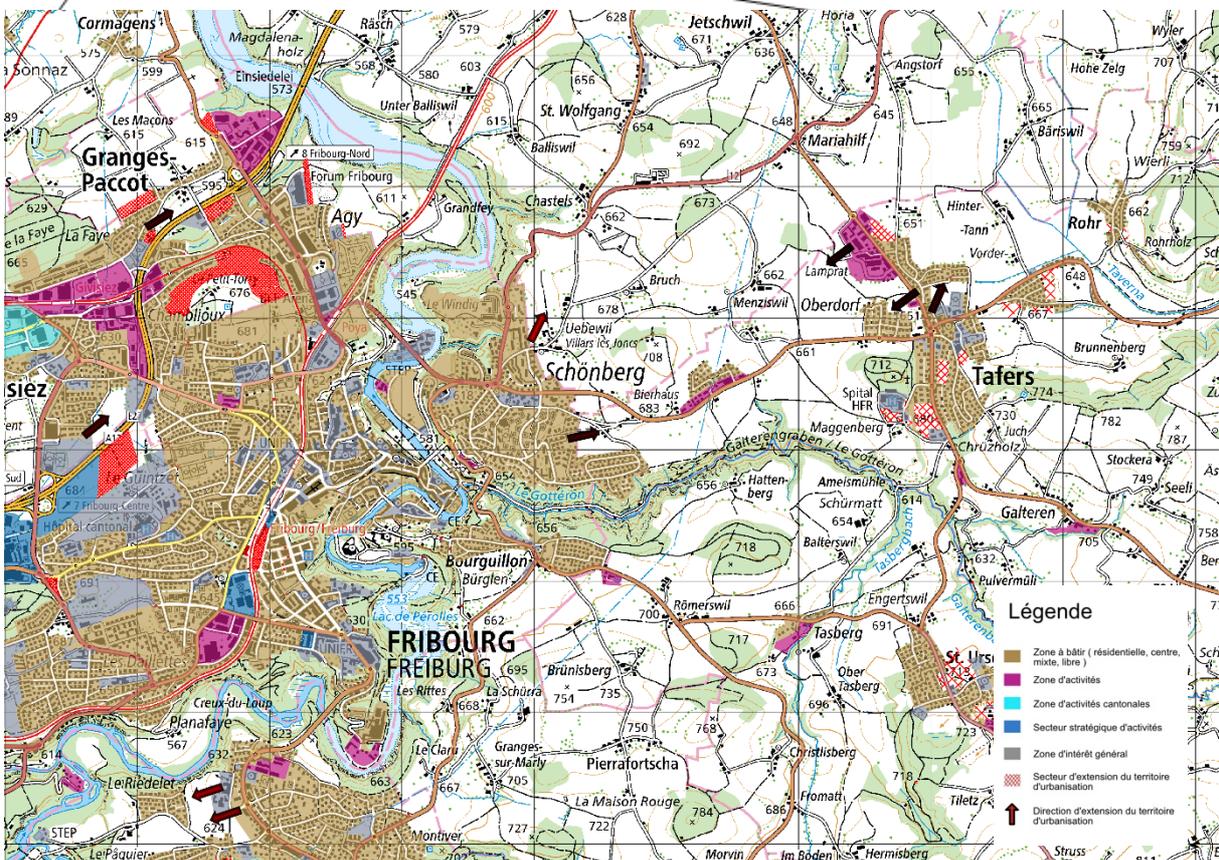


Figure 26 – Deuxième symbolologie des directions d'extension - Agglomération de la ville de Fribourg – Echelle : 1 : 25'000

Quant à cette deuxième symbologie des directions (figure 25, 26), ces flèches, en agrandissant leur longueur et leur taille, sont beaucoup plus lisibles qu'auparavant. Leur coloriage en fonction de leur score donne un gradient et une dynamique visuelle à ces symboles. Le fait que la base des flèches commence en zone à bâtir mais que leur tête finissent à l'extérieur donne également cette idée de mouvement.

La troisième symbologie pour les flèches d'extension est certainement plus intéressante.

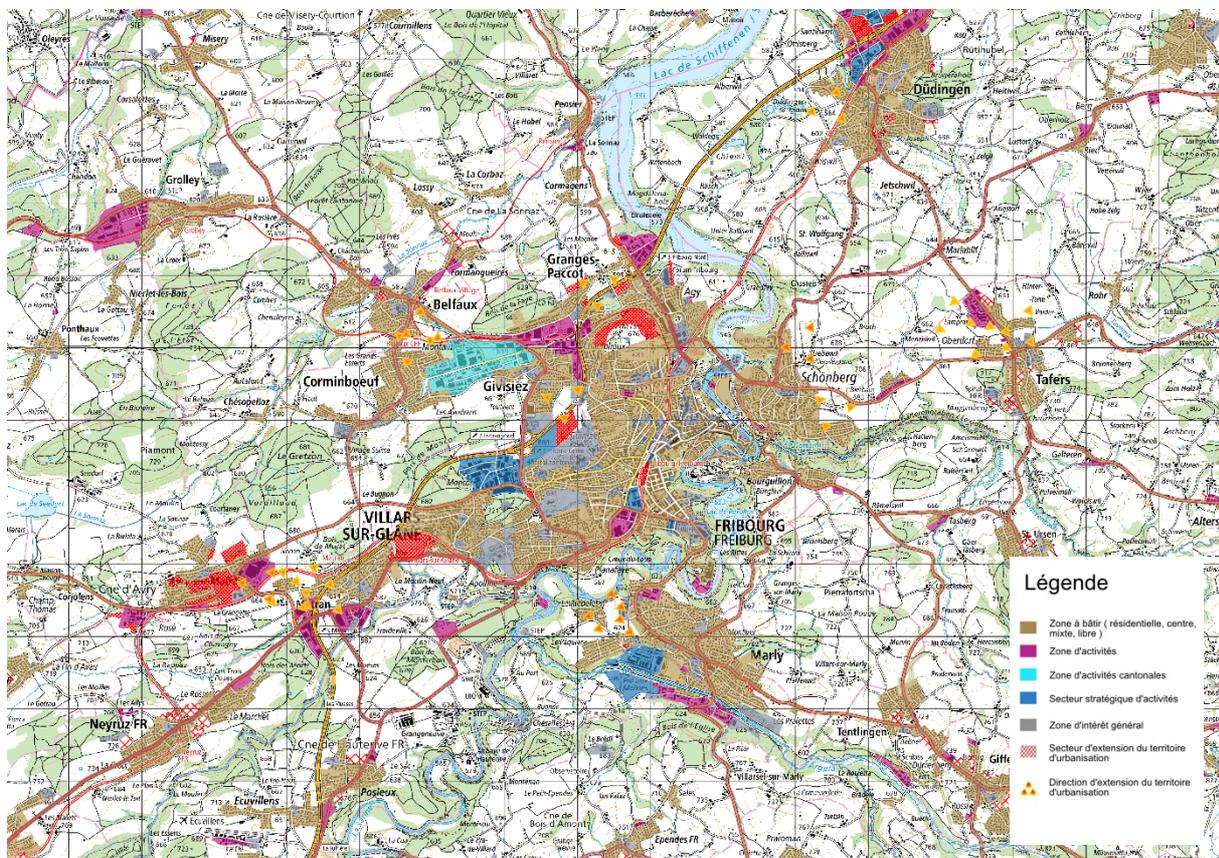


Figure 27 – Troisième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Echelle : 1:50'000

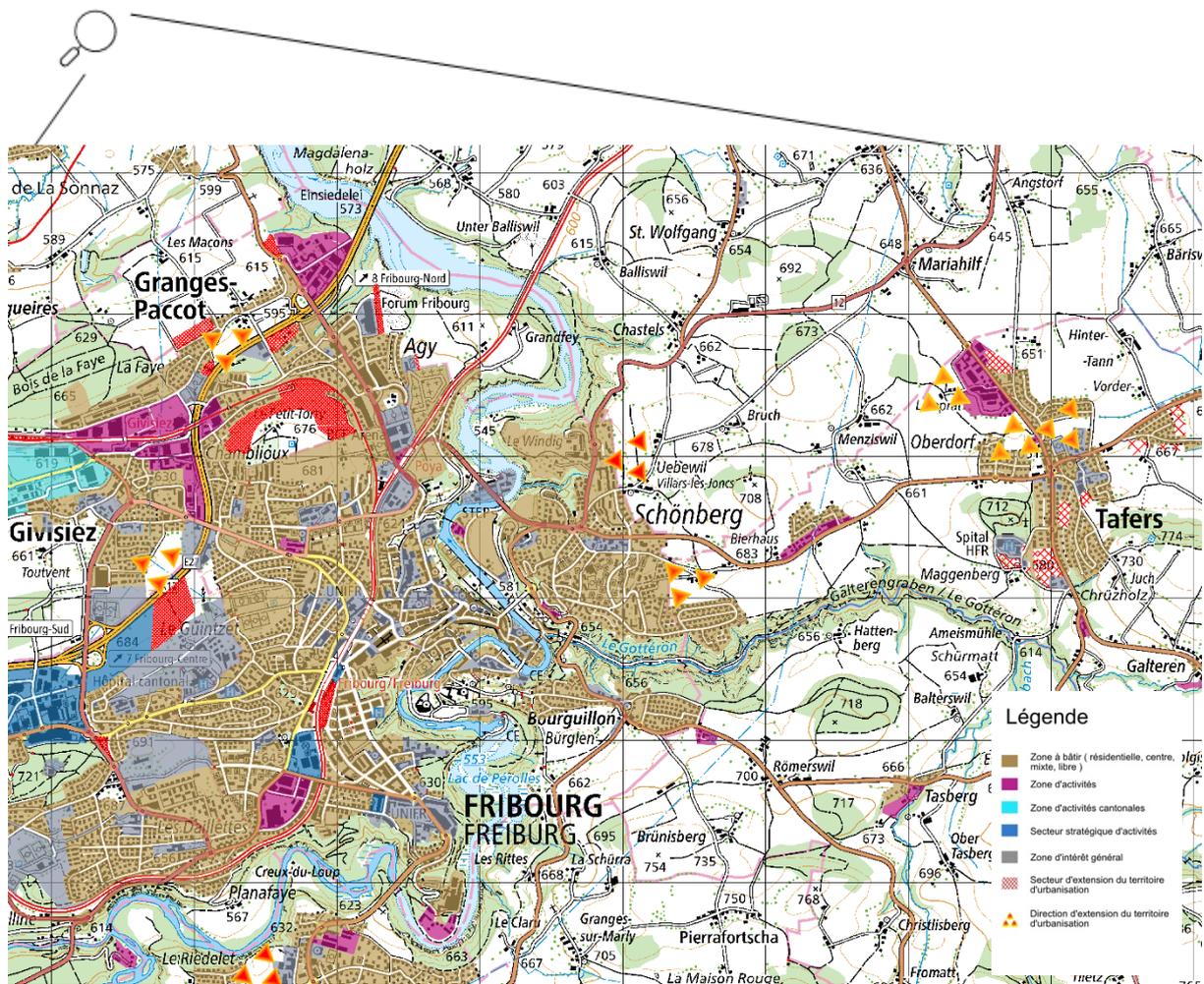


Figure 28 – Troisième symbologie des directions – Agglomération de Fribourg – Echelle : 1'25'000

Cette troisième symbologie (figure 27, 28) a la qualité de mettre encore d'avantage en exergue cette idée d'une direction où l'urbain pourrait d'étendre vers l'extérieur. Le fait qu'il s'agisse non pas d'une mais trois flèches donnent un sentiment de diffusion. La coloration des symboles a ici une vraie valeur différentielle encore d'avantage que les flèches noirs et rouge de la deuxième symbologie. Le jaune et le rouge suggèrent également la densité ce qui était l'objectif voulu. Enfin, même si à une échelle de 1 :50'000, les symboles peuvent paraître dispersés, ils sont assez proches à une échelle de 1 :25'000 pour toujours maintenir l'idée que ces flèches représentent de possible extensions, la dialectique des échelles fonctionne donc bien.

Finalement, les deux symboles dessinés avec *Inkscape* sont les plus intéressants, particulièrement le symbole qui n'a pas la forme d'une flèche mais d'un ovale sans et qui maintient l'information de l'orientation.

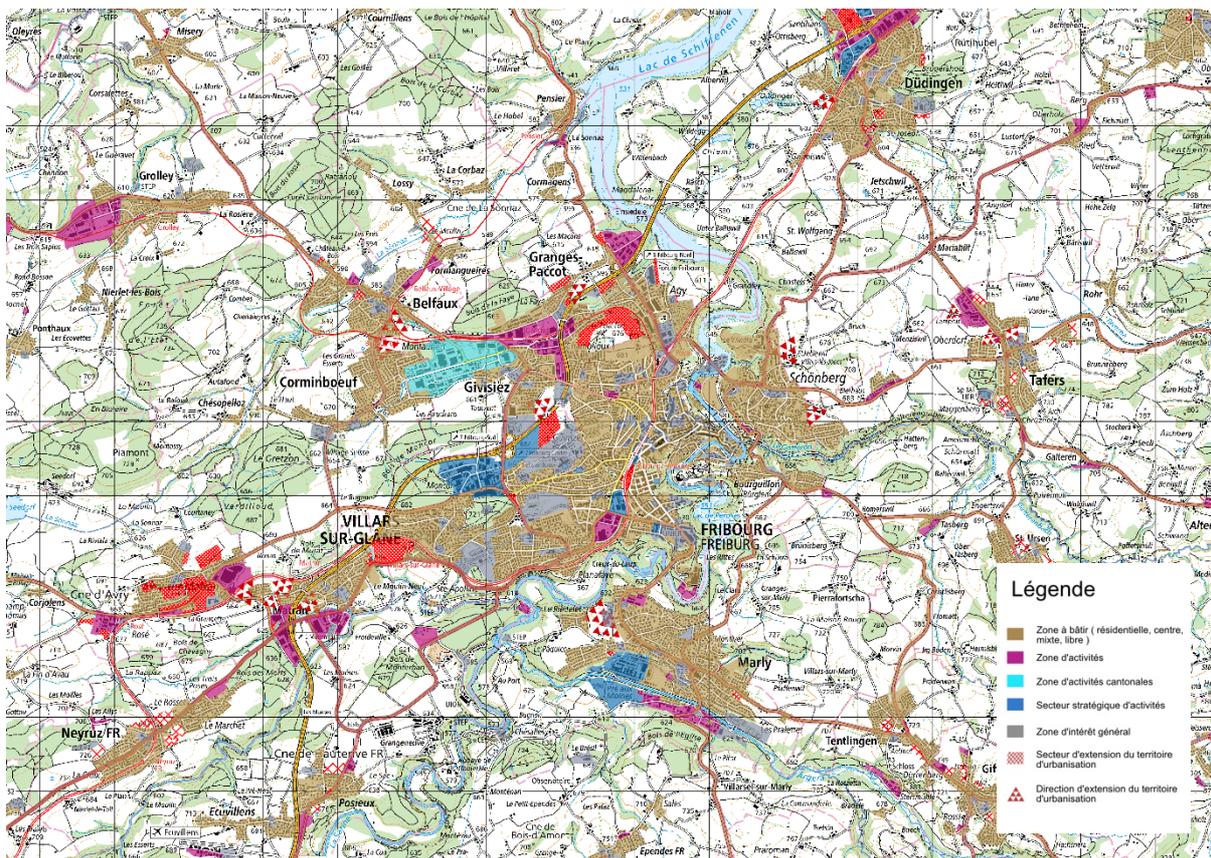


Figure 29 - Quatrième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Echelle : 1:50'000

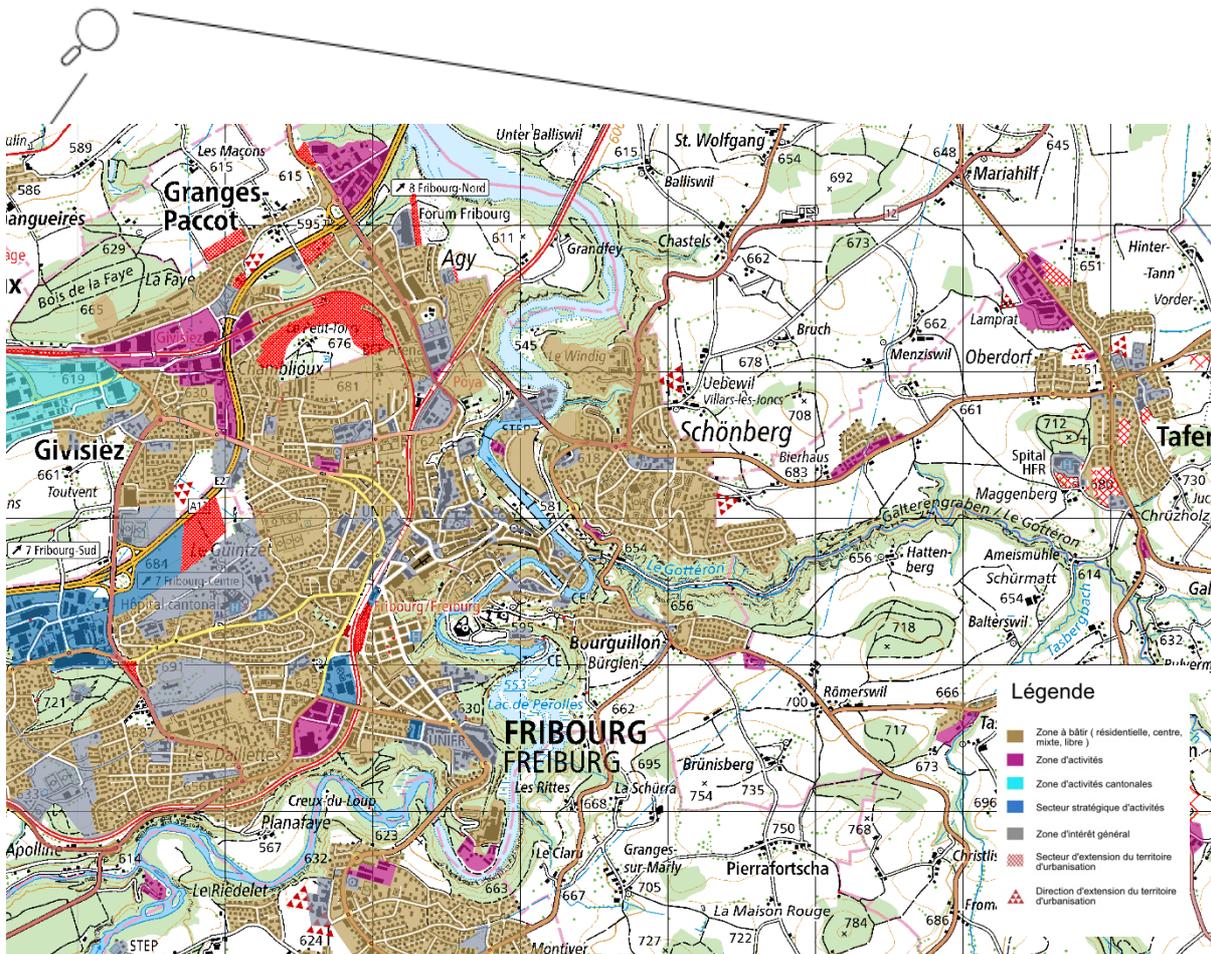


Figure 30 - Quatrième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Echelle : 1:25'000

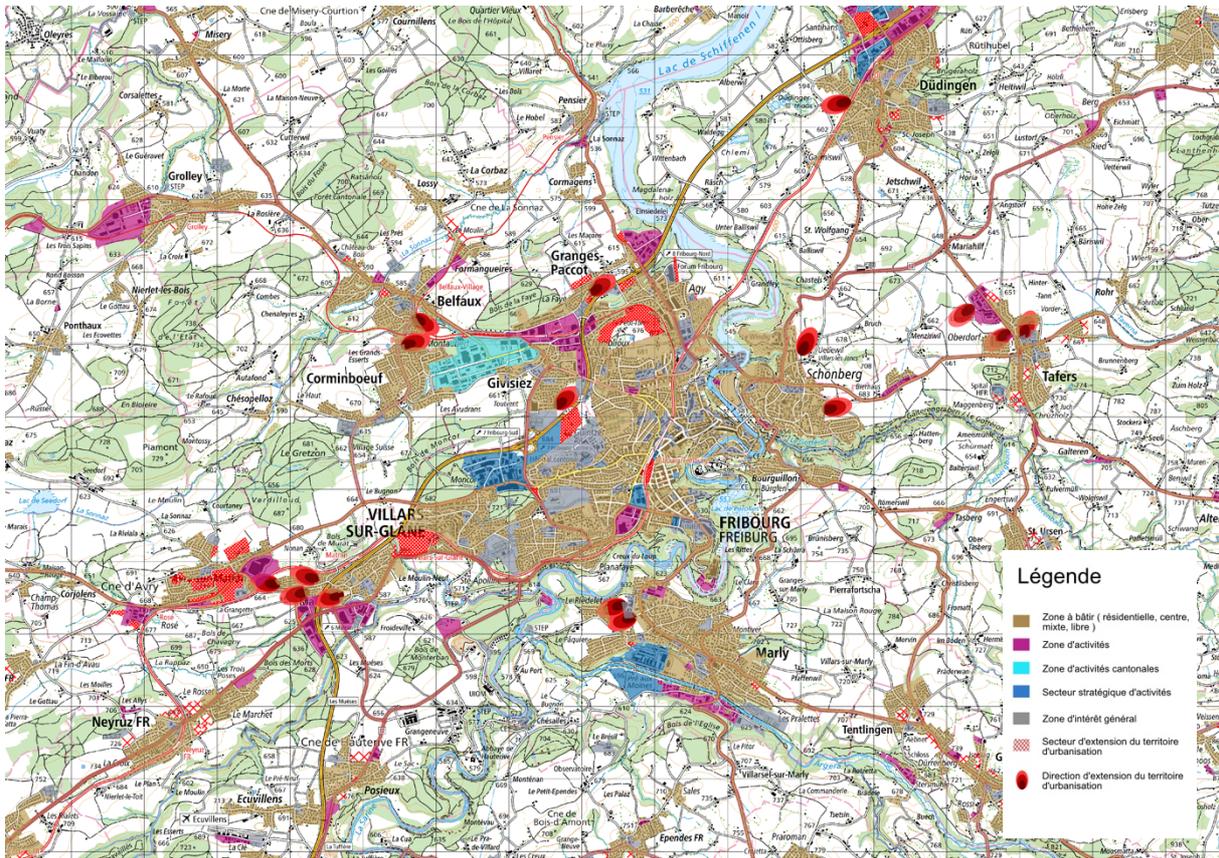


Figure 31 - Cinquième symbologie de directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Echelle : 1:50000

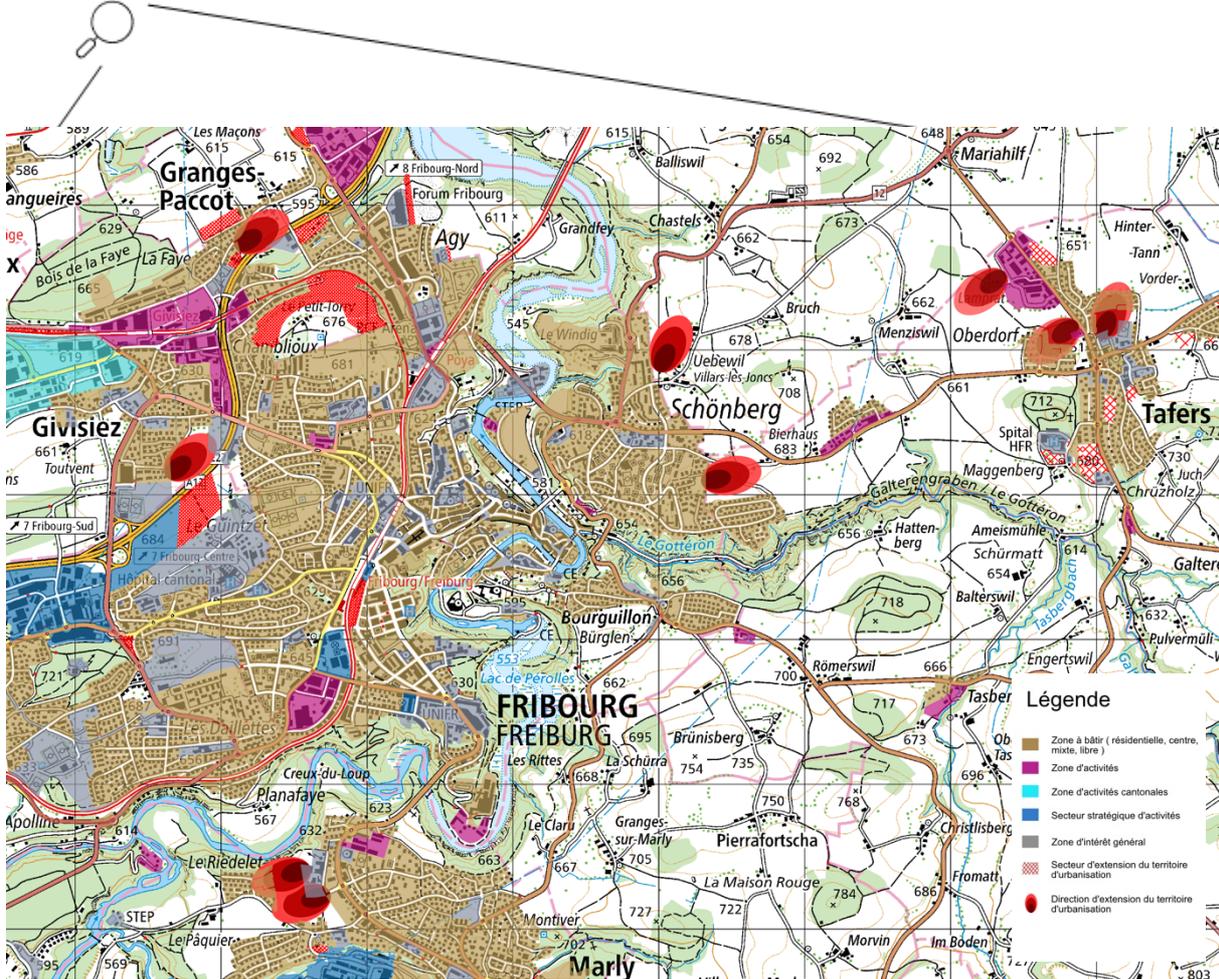


Figure 32 - Cinquième symbologie des directions d'extension - Agglomération de Fribourg - Echelle : 1:50000

La quatrième symbologie proposée pour les directions d'extension (figure 29, 30) ne subit pas les effets d'échelle et rend les flèches de directions plus prégnantes visuellement. Toutefois, c'est la dernière proposition d'une symbologie des directions d'extension (figure 31, 32) me semble être la plus pertinente de toutes. Bien qu'elle ne reprenne pas un motif de flèche, cette symbologie représente avec clarté la direction de l'extension et suggère un gradient à partir du point de référence de chaque flèche. De plus, l'ordre des couleurs (du rouge foncé au rouge clair), dont l'opacité varie encore selon le scoring final, suggère l'idée que la mise en zone doit commencer au centre du symbole pour être ajusté à sa périphérie. De plus, en fixant une taille de 400 mètres à l'échelle, ces symboles sont aussi autant lisibles à l'échelle 1 :25'000 que 1 :50'000.

7. Conclusion

L'objectif du présent travail était d'optimiser la représentation cartographique du territoire d'urbanisation, en la rendant moins obligeante et plus suggestive. Cette recherche d'une meilleure représentation devait tenir compte de deux contraintes principales, la lisibilité de la symbologie et l'échelle de la carte de synthèse. La principale leçon de ce travail de mémoire fut de réaliser en pratique ce que je savais en théorie, à savoir que l'échelle cartographique implique ce que certains géographes appellent une « politique des échelles » (Smith, 1992 ; Swyngedouw, 1997 ; Brenner, 2000), c'est-à-dire que plus l'échelle diminue, plus les négociations deviennent difficiles. En effet, contrairement à la variante A proposée par la Confédération où sont choisis précisément les propriétaires dont les parcelles seront mises en zones à bâtir, le Canton a choisi une variante dans laquelle l'échelle cartographique – 1 :50'000 – laisse une marge de manœuvre aux communes d'environ 20 à 30 mètres. Il a donc fallu trouver une symbologie simple avec des symboles à la fois suffisamment uniformes pour être reconnus à une grande échelle mais suffisamment distincts pour être distingués à une petite échelle.

La difficulté de ce travail résidait également dans la nécessité de représenter sur le même plan des parcelles qui étaient effectivement légalisées et celles qui étaient potentiellement légalisables. Afin de suggérer ce potentiel, il a fallu évaluer la pertinence des extensions ce que j'ai fait à l'aide d'une analyse multicritère et d'un scoring final. A ce niveau, la réflexion sur la synthèse des critères doit être poursuivie. Plus que de simples transformations linéaires, une véritable standardisation aurait été nécessaire. En effet, la quasi-totalité des analyses multicritères « exigent que tous les critères soient exprimés dans une échelle similaire. La normalisation des critères permet de rééchelonner toutes les dimensions d'évaluation entre 0 et 1, ce qui permet d'effectuer des comparaisons entre les critères et à l'intérieur d'un même critère » (Chakhar & Mousseau, 2008 : 4). Dans un deuxième temps, il aurait été possible de pondérer les critères selon leur importance relative.

Quant à l'analyse morphologique, un indice de densité a été créé à partir de l'outil « densité de noyau » mais il aurait été aussi pertinent de calculer un autre indice avec l'outil « densité de points ». En effet, contrairement à la méthode de la densité de noyau qui utilise des noyaux (ou des fonctions de pondération) pour distribuer les données ponctuelles, la densité de points utilise une grille de cellules régulières. En résumé, tandis que l'outil de densité de noyau utilise une approche plus continue en pondérant les points en fonction de leur distance par rapport à d'autres points, l'outil de densité de points utilise une approche basée sur une grille régulière pour calculer la densité de points par cellule dont les valeurs sont exprimées en termes de nombre de points par unité de surface.

Pour conclure sur les enjeux politiques et cartographiques de ce travail, si le territoire d'urbanisation permet d'indiquer aux communes où l'urbanisation s'arrête et où il est possible d'étudier de nouvelles mises en zone, sa cartographie reste contraignante. La délimitation du territoire d'urbanisation, délimitation que Raffestin nomme « regula », bien qu'elle ne soit pas définitive et soit soumise à des négociations entre les propriétaires, les communes et le canton, aura des conséquences bien réelles. A l'intérieur de cette délimitation, les parcelles auront *in fine* une valeur foncière bien plus importante que celles situées à l'extérieur. Dans la mesure où ce sont les communes qui ont le dernier mot dans le canton de Fribourg, les enjeux sociaux et économique de ce découpage sont tels qu'ils risquent toujours de mettre en contradiction les principes de la LAT avec des considérations plus politiques voire électorales.

Que l'aménagement du territoire oscille entre le juridique et le politique est normal et cartographier le territoire d'urbanisation vise non pas à dicter aux communes qu'elles parcelles vont être mise en zone mais à les guider dans le choix de ces parcelles. Toutefois, afin d'à la fois suggérer une marge d'interprétation aux communes et guider la mise en zone, la modification de la symbologie du territoire d'urbanisation ne saurait se substituer à une concertation en amont des différents acteurs agissant à différentes échelles de planification. D'autant que la délimitation du territoire d'urbanisation s'est effectuée principalement à partir d'une modélisation qui se basait sur les plans d'aménagement des communes et celles-ci n'étaient pas encore familiarisées aux principes de la LAT, surtout au principe-phare de la densification vers l'intérieur. Cette modélisation n'est donc pas sans jouer un rôle dans l'illusion que le territoire d'urbanisation est figé, en outre, dans une forme dont les principes structurants sont éloignés de ceux de la LAT.

Dans un travail qui se concentre davantage sur la construction d'une symbologie que sur l'analyse spatiale, le logiciel QGIS semble offrir un panel de fonctionnalité plus étendu. Le paradoxe est que les organismes étatiques de planification, donc les aménagistes les plus concernés par le souci de symboliser de manière claire et efficace l'information géographique, travaillent avec ArcGIS

Pro. En effet, cette représentation cartographique, si elle n'est pas opposable à des tiers, contraint les autorités politiques et doit donc être la plus claire possible. Ceci d'autant plus qu'elle représente ce qu'il y a de plus crucial en aménagement du territoire, la délimitation de la zone à bâtir. En politique certainement plus qu'ailleurs, les outils SIG, avec leur précision extrême et leur exactitude apparente, peuvent tromper quand ils font prendre la carte pour le territoire d'où la nécessité de réfléchir avec intelligence et prudence à la manière dont on représente l'information géographique mais surtout à la manière dont on construit collectivement une géodonnée.

8. Bibliographie

Bibliographie académique

Allain, Rémy. (2004) *Morphologie urbaine. Géographie, aménagement et architecture de la ville*, Paris, A. Colin, coll. U Géographie, 254 p.

Brenner, N. (2000). The urban question: reflections on Henri Lefebvre, urban theory and the politics of scale. *International journal of urban and regional research*, 24(2), 361-378.

Chakhar, S., & Mousseau, V. (2008). Spatial multicriteria decision making. *Encyclopedia of GIS*, 10, 978-0.

Galton A., Duckham M. (2006) What is the region occupied by a set of points? in: Raubal, M., Miller, H.J., Franck A.U., Goodchild M.F. (eds), *GISciences 2006 - Geographic Information Science*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 81-98.

Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the total environment*, 409(19), 3578-3594.

Ishizaka, A., & Siraj, S. (2018). Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2), 462-471.

Klaus, J. (2019). *Les défis de l'aménagement du territoire dans un système fédéral L'évolution du rôle des cantons et des communes suisses entre limitations quantitatives et enjeux qualitatifs de l'urbanisation* (Doctoral dissertation, Université de Lausanne, Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique).

Pattaroni, L. & al. (dir.), *Habitat en devenir. Enjeux territoriaux, politiques et sociaux du logement en Suisse*, Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2009, 331 p.

Prévil, C., Thériault, M. & Rouffignat, J. (2003). Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel? *Cahiers de géographie du Québec*, 47(130), 35–61. <https://doi.org/10.7202/007968ar>

Smith, N. (1992). Geography, difference and the politics of scale. In *Postmodernism and the social sciences* (pp. 57-79). London: Palgrave Macmillan UK.

Swyngedouw, E., (1997). "Glocalization" and the Politics of Scale!. *Globalization: Reasserting the Power of the Local* (New York: Guilford, 19

Tanquerel, T. (2015). La planification directrice en Suisse. *Cahiers du GRIDAUH*, (2), 343-351.

Base juridique et administrative

Complément du guide de la planification directrice, Office fédérale de l'aménagement du territoire.

Consulté pour la dernière fois 10.12.2023. URL :

[https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/recht/dokumente/bericht/ergaenzung_des_](https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/recht/dokumente/bericht/ergaenzung_des_leitfadensrichtplanunge-)

[leitfadensrichtplanunge-lrp.pdf.download.pdf/complement_au_guidedelaplanificationdirectrice.pdf](https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/recht/dokumente/bericht/ergaenzung_des_leitfadensrichtplanunge-lrp.pdf.download.pdf/complement_au_guidedelaplanificationdirectrice.pdf)

Loi sur l'aménagement du territoire et les constructions (LATeC) Consulté pour la dernière fois 09.11.2023. URL : https://bdlf.fr.ch/app/fr/texts_of_law/710.1

Loi sur l'aménagement du territoire (LAT) Consulté pour la dernière fois 28.11.2023 URL :

https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1573_1573_1573/fr

Ruffieux, Alexandre (2018), *Modèle de géodonnées pour le plan des affectations des zones*. Consulté pour la

dernière fois 12.10.2023 : [https://www.fr.ch/sites/default/files/2019-](https://www.fr.ch/sites/default/files/2019-04/modelededonnees_v1_1_1.pdf)

[04/modelededonnees_v1_1_1.pdf](https://www.fr.ch/sites/default/files/2019-04/modelededonnees_v1_1_1.pdf)

Confédération suisse « Surfaces d'assolement (SDA) ». Consulté la dernière fois le 30.12.2023.

URL : [https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-](https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-territoire/strategie-et-planification/conceptions-et-plans-sectoriels/plans-sectoriels-de-la-confederation/sda.html#:~:text=Les%20surfaces%20d%27assolement%20(SDA,le%20plan%20sectoriel%20SDA%20remani%C3%A9.)

[territoire/strategie-et-planification/conceptions-et-plans-sectoriels/plans-sectoriels-de-la-](https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-territoire/strategie-et-planification/conceptions-et-plans-sectoriels/plans-sectoriels-de-la-confederation/sda.html#:~:text=Les%20surfaces%20d%27assolement%20(SDA,le%20plan%20sectoriel%20SDA%20remani%C3%A9.)

[confederation/sda.html#:~:text=Les%20surfaces%20d%27assolement%20\(SDA,le%20plan%20sectoriel%20SDA%20remani%C3%A9.](https://www.are.admin.ch/are/fr/home/developpement-et-amenagement-du-territoire/strategie-et-planification/conceptions-et-plans-sectoriels/plans-sectoriels-de-la-confederation/sda.html#:~:text=Les%20surfaces%20d%27assolement%20(SDA,le%20plan%20sectoriel%20SDA%20remani%C3%A9.)