



HAL
open science

Impact du PLUm sur le champ des possibles en matière de mise en œuvre de dispositifs améliorant la gestion hydrothermique des espaces urbains

Saray Chavez

► **To cite this version:**

Saray Chavez. Impact du PLUm sur le champ des possibles en matière de mise en œuvre de dispositifs améliorant la gestion hydrothermique des espaces urbains. Géographie. 2020. hal-03130066

HAL Id: hal-03130066

<https://univ-fcomte.hal.science/hal-03130066v1>

Submitted on 3 Feb 2021

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

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



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

UNIVERSITÉ DE FRANCHE COMTÉ
FACULTÉ DE SCIENCES DU LANGAGE, DE L'HOMME ET DE LA SOCIÉTÉ
MASTER AIDE A LA DECISION EN AMENAGEMENT URBAIN ET REGIONAL

Mémoire du master 2

Impact du PLUm sur le champ des possibles en matière de mise en œuvre de dispositifs améliorant la gestion hydrothermique des espaces urbains : le cas nantais

Auteur : Chavez, Saray
Tuteur de recherche : Molines, Nathalie
Tuteur académique : Girardet, Xavier

Septembre 2020

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PARTIE I : MISE EN CONTEXTE	3
1. État de l'art, contexte thématique	3
1.2. Adaptation au changement climatique dans les documents d'urbanisme	3
1.3. Adaptation et gestion de l'eau au sein des zones urbaines dans le cadre réglementaire français.....	4
1.4. Incertitudes pour l'adaptation au changement climatique	5
1.5. Leviers et freins pour les documents d'urbanisme au regard de l'adaptation.....	7
1.6. Les villes comme éléments modificateurs du cycle de l'eau	8
1.7. Techniques alternatives de gestion de l'eau dans la ville. Préconisations pour une gestion intégrée de l'eau	10
1.8. Modernisation des documents d'urbanisme. Intégration des stratégies d'adaptation au changement climatique	11
1.9. Evaluation d'efficacité des dispositions	14
2. Contexte du projet de recherche	15
2.2. Description des structures de recherche	15
2.3. Projet MANIPUR (Méthodologie pour l'ANalyse d'ImPact des documents d'URbanisme)	15
3. Contexte territorial.....	18
3.1. Cadrage de la zone d'étude.....	18
3.2. Cadrage des règles du PLUm.....	20
PARTIE II.....	22
METHODOLOGIE	22
A. Représentation d'outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole	23
B. Analyse du Projet d'Aménagement et Développement Durable du Plan Local d'Urbanisme métropolitain de Nantes.....	24
C. Détermination des zones à enjeux et des leviers. Analyse multicritère	28
PARTIE III RESULTATS.....	41
A. Gouvernance de l'eau à Nantes Métropole. Outils et acteurs mobilisés.	41
B. Analyse de contenu du Plan d'Aménagement et Développement Durable	45

i) Résultats de l'analyse quantitative	45
ii) Approche qualitative. Résultats de l'analyse sémantique « manuelle ».....	49
iii) Analyse croisée	50
C. DETERMINATION DES ZONES A ENJEUX ET DES LEVIERS. ANALYSE MULTICRITERE	57
i) Détermination des zones à enjeux. Capacité actuelle du territoire à réguler les eaux de pluie (caractéristiques physiques)	57
ii) Détermination des freins et leviers	59
iii) Analyse multicritère des zones à enjeux et leviers. Agrégation finale des critères	64
Croisement de l'analyse multicritère avec les résultats du stage n° 2.....	65
DISCUSSIONS	68
CONCLUSION GENERALE	69
BIBLIOGRAPHIE	70
ANNEXES.....	75

INTRODUCTION

À Nantes, le record mensuel de 46,8 mm de précipitations par rapport au maximum de 24 heures atteint le 10 mars 1967 a été dépassé le 1er mars 2020 avec 47,4 mm de pluie tombés. Le Périphérique nantais a été fermé deux fois cette semaine-là après quatre jours sous l'eau.

Le changement climatique exerce une contrainte et divers effets sur les villes. Selon l'Agence européenne pour l'environnement, en Europe, l'un des effets les plus probables est l'augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les inondations, les tempêtes ou les vagues de chaleur, pouvant impacter les infrastructures urbaines et les conditions matérielles des villes (Agence européenne pour l'environnement 2016). Cela a conduit au débat sur la manière dont les villes s'adaptent au changement climatique tout en se préparant à accueillir davantage d'habitants sur leurs territoires. Ainsi, les actions de mitigation dans le processus d'urbanisation s'avèrent nécessaires.

Le cycle naturel de l'eau se fonde sur une dynamique dans laquelle l'eau de pluie ruisselle jusqu'aux cours d'eaux, s'infiltré dans le sol, s'évapore, ou est absorbée par les végétaux. Cependant, l'occupation de plus en plus importante des surfaces naturelles transformées en surfaces imperméabilisées entraîne une perturbation du fonctionnement hydrique naturel (dérèglement des vitesses de ruissellement, empêchement d'alimentation des nappes phréatiques, augmentation des pics d'écoulement). Le bouleversement apporté au cycle de l'eau par l'imperméabilisation des sols est donc un témoin des perturbations de la ville industrielle et moderne (Dournel 2014).

À ce phénomène s'est ajouté le dérèglement climatique qui a provoqué une altération des périodes de pluies. Selon l'ONERC, le nombre d'événements générant des cumuls de pluie supérieurs à 200 mm est en hausse depuis 2000. À l'échelle de la France, des études récentes des 900 séries pluviométriques, ressortent que la majorité des stations présentent une tendance à la hausse (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse 2016). Une tendance d'augmentation de la quantité de pluie tombant au cours des épisodes extrêmes est dessinée (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (France) 2019).

Dans les dernières décennies, les sociétés ont trouvé la nécessité de repenser les modes de gestion des eaux de pluie. Elles sont donc passées « d'une vision technique isolée à une approche multifonctionnelle plus intégrée dans les zones urbains » (Bertrand-Krajewski 2017). L'approche de gestion intégrée de ressources permet de coordonner la gestion de l'eau à différents niveaux et pour l'ensemble des parties prenantes (Partenariat mondial de l'eau 2009). Ainsi, la gestion des eaux pluviales à la source « vise d'une part à maîtriser localement le ruissellement plutôt que de reporter le problème à l'aval, et d'autre part à réduire les coûts de transport et d'évacuation des eaux pluviales » (Agence de l'eau Loire Bretagne 2016).

Les nouvelles conceptions urbaines consistent à limiter la collecte systématique via les réseaux d'assainissement, à réguler les débits de rejet des eaux en temps de pluie et, éventuellement à ne plus connecter les bâtiments au profit de la gestion de l'eau à la parcelle. Le but est donc de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau. Néanmoins, la territorialisation des enjeux de gestion de l'eau repose sur les outils de réglementation. Ils vont permettre aux collectivités,

acteurs, et aux usagers de développer certaines méthodes vis-à-vis la gestion de l'eau. Les documents d'urbanisme portent donc le conduit de ce possible changement de paradigme. Or, deux questions se posent alors ?

Quelles sont les interfaces entre gestion du cycle l'eau et documents d'urbanisme qui permettent de s'adapter au changement climatique ? En effet, pour évaluer l'efficacité de la réglementation, il faut connaître la façon dont le cadre réglementaire aborde telles questions.

Quelle efficacité des stratégies de gestion de l'eau au niveau opérationnel ? D'ailleurs, l'évaluation des documents d'urbanisme permet de mettre en avant leur compatibilité avec les conditions réelles du territoire pour l'implémentation des techniques de gestion de l'eau dans la ville.

Dans les pages suivantes, nous mettrons en exergue la gestion de l'eau conçue dans les documents d'urbanisme. Le territoire choisi pour développer cette étude a été l'agglomération nantaise, disposant d'une large historique dans la gestion de l'eau et qui vient d'approuver son nouveau Plan Local d'Urbanisme en avril 2019. À cet effet, nous avons un double objectif, i) Identifier les freins et les leviers des Plans Locaux d'Urbanisme pour faciliter ou limiter les modes de gestion de l'eau et ii) Déterminer de quelle manière nous pouvons optimiser et intégrer les outils de modélisation hydro climatique pour mesurer l'efficacité des documents d'urbanisme régissant la gestion de l'eau.

Le stage de fin d'études se déroule dans le cadre du MANIPUR (Méthodologie pour l'ANalyse d'ImPact des documents d'URbanisme). MANIPUR est issu d'une collaboration entre le Laboratoire Eau et Environnement de l'Université Gustave Eiffel (ancien IFSTTAR) et le Laboratoire AVENUES de l'Université Technologique de Compiègne. Le projet vise à traiter les questions de la gestion des eaux et du confort thermique en milieu urbain. La première phase du projet comprend la direction de deux stages développés en parallèle. D'une part, le stage en urbanisme règlementaire conduit par Nathalie Molines (AVENUES), a pour objectif d'analyser l'impact du Plan Local d'Urbanisme de la métropole nantaise. D'autre part, le stage en hydrologie conduit par Katia Chancibault (LEE) vise à développer la modélisation hydrique en milieu urbain. Les résultats des deux stages seront complémentaires et serviront de base à un projet de thèse dans le cadre de la recherche en urbanisme règlementaire et modélisation hydrique.

PARTIE I : MISE EN CONTEXTE

1. État de l'art, contexte thématique

La question de la gestion intégrée des ressources en eau dans les documents de planification urbaine comme réponse d'adaptation aux effets du changement climatique

1.2. Adaptation au changement climatique dans les documents d'urbanisme

Pour le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat « GEIC », l'adaptation consiste en un « ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques » (Ministère de l'écologie, du Développement durable, des Transport et du Logement 2011). Selon Stead (2014), un espace urbain résilient est défini comme un espace qui peut faire face à un événement sans altérer ses fonctionnalités urbaines, en tolérant le changement et en adaptant ses conditions et ses structures afin qu'elles prévalent au fil du temps (Richard 2014; Stead 2014). On parle d'adaptation urbaine au changement climatique lorsque des améliorations sont apportées à la dynamique fonctionnelle des villes, qui contribuent à la résilience de leurs territoires.

Conformément à l'Agence européenne pour l'environnement (2016), les plans d'adaptation identifient systématiquement les options d'adaptation basées sur une stratégie. Ainsi, la planification pour l'adaptation comprend l'identification, l'évaluation et la sélection des options d'adaptation, sur la base des évaluations de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation.

La figure 1 illustre le processus systémique de l'adaptation dans la planification en tant qu'une démarche itérative. Comment traduire les enjeux de l'adaptation dans la planification et l'aménagement ? En effet, l'adaptation doit être construite sur la connaissance des impacts du changement climatique, les alternatives d'adaptation existantes et leur possibilité de mise en œuvre.

Les stratégies d'adaptation sont traduites dans les documents de planification à l'échelle territoriale convenue par son application. Elles peuvent être traduites en lois, schémas, plans, stratégies, règles, dispositions, documents techniques, etc.



Figure 1 Orientations pour la planification et la mise en œuvre de l'adaptation urbaine. Source : EEA, 2016.

1.3. Adaptation et gestion de l'eau au sein des zones urbaines dans le cadre réglementaire français

En France, suite à la remise en cause de la satisfaction des systèmes d'assainissement traditionnels en matière de gestion des risques (Groux 2017), les exigences d'adaptation environnementales dans la gestion de l'eau ont été renforcées. A partir des années 1990, la promulgation de la loi sur l'eau 3 (1992) a réorienté les plans d'autorisation de déversement des eaux pluviales et, il a été confié aux communes la délimitation du zonage pluvial. En parallèle, la mobilisation des leviers d'actions s'est inscrite dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre européenne sur l'eau de 2000 (CEREMA 2014). Ainsi, la réglementation s'est penchée vers les mesures non structurelles pour mettre en œuvre des stratégies d'adaptation au changement climatique et d'appréhension des risques liés à la gestion de l'eau. Les mesures non structurelles sont de nature législative, elles désignent des actions qui ne relèvent pas des travaux de génie civil (Pottier Nathalie 1998). Elles consistent en des instruments de prévention comme la prise en compte du risque d'inondation, la modification des pratiques de l'occupation du sol, la modification des enjeux exposées (en volume et en fragilité), etc. (Scarwell et Laganier 2017).

Par la suite, un changement a été introduit par la loi Grenelle 2 (2010) qui a modifié la loi sur l'eau et de milieux aquatiques de 2006, couvrant, par exemple, l'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. En 2010, le premier Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a été lancé visant à intégrer l'adaptation dans toutes les politiques publiques, à travers 20 domaines, dont l'eau, les risques naturels, l'urbanisme et l'environnement bâti, la recherche, la gouvernance, etc. Le PNACC était destiné à être décliné dans les plans régionaux climat, air et énergie (SRCAE) et les plans territoriaux climat et énergie (PCAET). Un deuxième plan national d'adaptation au changement climatique a été lancé en 2018, qui comprend plusieurs recommandations mettant l'accent sur l'utilisation de solutions basées sur la nature. (Ministère de la Transition écologique 2019).

De même, la politique de trame verte et bleue, vise à contribuer à l'adaptation au changement climatique et à son atténuation en assurant la connectivité entre les milieux. Elle favorise la capacité aux écosystèmes à résister et à se restaurer face au changement tout en fournissant des services écosystémiques tels que l'atténuation de l'intensité des crues et des inondations (Ministère de la Transition écologique 2017).

Toutefois, selon Carré (2017) « le contexte des trente dernières années met ainsi en évidence le poids des solutions techniques héritées, des cultures professionnelles, la difficulté encore aujourd'hui de sortir du tout technique et du réseau d'assainissement pour gérer le temps de pluie ». Selon l'Agence Européenne pour l'Environnement, l'un des effets les plus probables est l'augmentation des événements météorologiques extrêmes tels que les inondations, les tempêtes et les vagues de chaleur. Le principal danger est le risque d'insuffisance des systèmes de drainage et d'égouts au regard de fortes pluies et d'inondations (Robrecht 2015). S'il y a eu un effort latent pour prendre en compte les questions liées à l'eau, il y a aussi des obstacles qui empêchent une inclusion totale ou partielle importante de ces questions dans le cadre juridique,

il serait intéressant de revoir les causes, en plus des causes évidentes, de cette difficulté d'engrenage.

1.4. Incertitudes pour l'adaptation au changement climatique

Malgré les efforts déployés pour aborder la question de l'adaptation dans les documents de planification, nous constatons que de multiples incertitudes représentent des obstacles à la mise en œuvre des stratégies d'adaptation. Selon Richard (2014) une triple incertitude peut être mise en évidence en ce qui concerne les mesures d'adaptation locales : premièrement, l'incertitude résultant de l'estimation des effets du changement climatique à l'aide de modèles parfois imprécis, surtout lorsqu'ils sont développés et appliqués à différentes échelles territoriales ; deuxièmement, au-delà des incertitudes techniques liées à la modélisation climatique, on constate des difficultés à évaluer les vulnérabilités des territoires aux effets climatiques attendus ; et troisièmement, on constate des lacunes en ce qui concerne l'efficacité des stratégies d'adaptation en raison de leur échelle de temps d'évaluation.

1.4.1. *Incertitudes cognitives*

Selon Robrecht (2015), le plus grand défi à relever par les villes en matière d'adaptation au changement climatique est de combler le manque des connaissances sur le changement climatique, d'autant plus que nombreuses autorités municipales ignorent la manière dont laquelle leur ville sera affectée par le changement climatique. Certaines villes ne savent pas quelles mesures prendre en compte ou comment organiser leur réponse aux différents niveaux administratifs (Robrecht 2015). Ils demeurent également des difficultés majeures dans la conception et l'évaluation des dispositions des documents de planification en ce qui concerne leur efficacité par les collectivités. Cela peut s'expliquer par le manque des moyens humains, intellectuelles ou financiers pour la mise en œuvre (Groux 2017; Prévost 2013). Ces situations incertaines entraînent une rupture du processus systémique d'adaptation pour la mise en œuvre des documents d'urbanisme (voir la figure 1 : Orientations pour la planification et la mise en œuvre de l'adaptation urbaine).

1.4.2. *Incertitudes de connaissance et de précision des effets du changement climatique*

Si le changement climatique est un fait indéniable, ses effets sur le régime hydrologique sont difficiles à évaluer. « Les modifications climatiques à venir sont marquées par l'incertitude sur l'ampleur et la vitesse de ces changements ; elles agiront en amplifiant ces événements déjà connus sur le territoire, liés aux extrêmes de chaleur et aux fortes précipitations » (Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise (ADEUS) 2012). En effet, les incertitudes portent sur l'ampleur des variations futures et des interactions complexes, et on se pose la question de la détection effective d'un changement du régime hydrologique des cours d'eau en France (Scarwell 2017). Une position critique peut aider les parties prenantes à mettre en perspective le défi à relever. Enfin, le développement de la connaissance peut être un moyen

de réduire les incertitudes (au moins dans la gestion du risque), mais l'incertitude peut être aussi un facteur mobilisateur en suscitant un débat (Gralepois 2012 cité par Scarwell 2017).

Cependant, pour surmonter cette faiblesse, il est demandé aux autorités d'être conscientes de ces incertitudes et d'utiliser, comme base de planification, les événements qui ont déjà eu lieu sur leur territoire. Une étude norvégienne a montré que si la prospection du risque d'inondation et des dommages causés sont des facteurs d'adaptation importants, l'expérience des impacts et des dommages des inondations est un prédicteur d'adaptation plus puissant que les impacts attendus (Reckien et al. 2018). Dans le cas des territoires, il s'avère nécessaire d'accroître la capacité d'adaptation actuelle afin de diminuer la sensibilité des questions en jeu, tout en réduisant leur vulnérabilité face aux changements futurs.

1.4.3. Incertitudes de territorialisation

Lioubimtseva et da Cunha (2020) expliquent que malgré l'augmentation des plans d'adaptation locaux au cours de la dernière décennie, les processus de suivi des plans d'adaptation climatique ont été limités. L'absence de cadres méthodologiques pour leur évaluation entrave le partage des connaissances et le transfert rapide des pratiques réussies. En l'absence d'un système complet de critères largement acceptés, les plans d'adaptation au climat risquent d'hériter des mêmes insuffisances que pour les lignes directrices qui ont servi à les créer.

Pour relever ce défi, les auteurs ont proposé un instrument d'évaluation indépendant intégré des documents d'adaptation. Un système de 24 indicateurs (illustrés dans le tableau ci-dessous) a été développé pour évaluer des plans climat aux Etats-Unis et en France (Plan Climat Air Energie et Territoires). Les résultats du groupe II sur les « qualités du contenu du plan et bases scientifiques pour l'adaptation » montrent des résultats intéressants sur les critères n° 7 « Information sur scénarios du changement climatique » à la fois lié au critère n° 14 « Flexibilité et reconnaissance des incertitudes ».

Les auteurs ont trouvé que les plans américains contiennent généralement plus d'informations sur les scénarios de changement climatique et leurs incertitudes. En revanche, la façon dont les plans français abordent les scénarios de changement climatique et leurs impacts est plus uniforme. La plupart d'entre eux fournissent une évaluation beaucoup moins détaillée (généralement entre 0,5 et 2 pages) et généralisée des tendances historiques des températures et des précipitations et, dans certains plans, une brève interprétation des scénarios de changement climatique des Modèles de Circulation Générale est fournie, basée sur les rapports du GIEC et de Météo France. Contrairement à de nombreux plans d'adaptation américains, les plans français n'incluent généralement pas de recherches spécifiques aux sites, de réduction d'échelle des scénarios de modélisation climatique ou d'analyse approfondie de la littérature scientifique. La plupart des plans extrapolent les impacts du changement climatique prévu sur leur zone géographique en se basant sur les scénarios de changement climatique régionaux ou nationaux.

D'après Groux (2017), à l'échelle locale, les incertitudes portent plutôt sur « l'excès » de confiance dans l'extrapolation contextuelle. Certains PLU relèvent par exemple, la question de la prévention des risques d'inondation aux réglementations et prescriptions édictées dans le Plan de Prévention de Risque par l'État tandis que d'autres la « traduisent » et retranscrivent (pièces graphiques, règlement,) sans pour autant aller vers des prescriptions plus contraignantes, qu'ils auraient à justifier. Alors que « ces outils réglementaires doivent être absolument adaptés aux circonstances précises en fonction de la localisation de la parcelle par rapport à son type de zonage, à la gravité du risque, à la hauteur des plus hautes eaux... » (Groux 2017). Les incertitudes liées aux connaissances passent donc par la production et la stabilisation des connaissances localisées (modélisations climatiques, observation des évolutions constatées, exercices de prospective...) (Richard 2014). Ainsi, engager des travaux qui prennent en compte les variables et caractéristiques locales semble pertinent pour minimiser les incertitudes cognitives associées à l'ignorance des effets du changement climatique.

L'étude de (Petrucci 2012) a fait ressortir des constats sur le niveau de connaissance des enjeux locaux par les collectivités qui est reproduit dans leurs documents de planification. Dans tous les cas étudiés, l'infiltration est la méthode de gestion de ruissellement préconisée. Toutefois, les contraintes sont que l'établissement de débits de fuite n'incite pas seulement l'infiltration et laisse aux développeurs le choix entre l'infiltration et le stockage. De plus, la revue de la littérature a montré que la valeur de la limitation de débit n'était pas territorialisée dans tous les cas. C'est-à-dire, que parfois les collectivités font un transfert de valeurs issues des plans d'autres communes ou communautés et les utilisent comme référence pour leurs propres collectivités. Pour Carré, « les mesures de limitation de débit ne sont pas les solutions définitives que la théorie voudrait en faire pour résoudre les problèmes d'imperméabilisation dans les opérations d'aménagement » (Carré 2017).

1.4.4. Incertitudes sur la prospective

Pour l'Agence Européenne pour l'environnement (2016), une perspective à long terme s'avère nécessaire pour faire face aux incertitudes. En effet, l'approche dominante consiste à privilégier les options faciles : mesures peu coûteuses et douces telles que le renforcement des infrastructures vertes. Toutefois, « les réactions des parties prenantes indiquent que les critères importants pour le choix des mesures sont l'efficacité avec laquelle elles réduisent la vulnérabilité ou renforcent la résilience » (Agence européenne pour l'environnement 2016).

1.5. Leviers et freins pour les documents d'urbanisme au regard de l'adaptation

En 2015, Reckien et al. ont révisé la littérature et sélectionné un certain nombre de facteurs spécifiques agissant comme leviers et freins à l'élaboration des plans d'adaptation en milieu urbain. Ils ont testé statistiquement leur relation avec les plans de mitigation et d'adaptation de 200 grandes et moyennes villes en Europe. Cette étude a trouvé des freins significatifs pour l'élaboration des plans d'adaptation par les villes. Par exemple, les villes se trouvant dans des

zones à haut risque (à proximité de la côte, présence des îlots de chaleur) ont développé moins plans d'adaptation que d'autres villes dans des contextes différents. La capacité d'adaptation étant le plus fortement associée au PIB par habitant est nettement plus faible dans ces villes. Elles possèdent donc une capacité d'adaptation nettement moindre - le facteur le plus important pour la planification de l'adaptation au changement climatique.

Les résultats ont prouvé que Le Royaume-Uni - où les plans locaux de lutte contre le changement climatique sont obligatoires - est un exemple de pays où les plans urbains de lutte contre le changement climatique sont presque universels. Une législation similaire dans d'autres pays européens n'existe qu'en France, qui a adopté un dispositif identique dans le cadre de la loi Grenelle, rendant les Plans Climat-Energie Territoriaux légalement obligatoires. Toutefois, Lioubimtseva et da Cunha (2020) ont trouvé que dans ces plans climatiques français, les stratégies d'adaptation fondées sur les écosystèmes par exemple, se limitent pour la plupart à la préservation des espaces verts dans les zones urbaines. Nous pouvons ainsi constater que même lorsqu'il existe une législation visant à l'adaptation au changement climatique, nous pouvons trouver des freins dans la réglementation en ne diversifiant pas l'exploitation des stratégies.

Richard et al. (2019) reconnaissent l'existence d'une littérature importante sur les freins à l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies d'adaptation au changement climatique. En revanche, la littérature des freins à l'introduction des enjeux énergie-climat est moins développée. Ils ont étudié les causes de l'intégration partielle de ces enjeux au sein des documents d'urbanisme et ont identifié des freins à ce sujet. Les freins contextuels (économiques, infrastructurels, temporels et environnementaux) ; les freins liés à la gouvernance, la politique, l'organisation des institutions ; les freins liés aux techniques et technologies disponibles et enfin les freins cognitifs et culturels liés à la perception des individus et des professionnels.

Si l'objectif de cette étude n'est pas d'étudier les causes (freins) à l'introduction des enjeux sur l'eau dans les documents d'urbanisme mais les freins une fois ceux-ci introduits, les éléments détectés comme des obstacles pour leur élaboration peuvent contribuer à constater s'ils ont été dépassés ou pris en compte par les plans à analyser. D'autre part, les leviers dans le contexte de la politique de lutte contre le changement climatique, « sont des activités, des processus ou des modèles qui produisent des incitations positives à l'action climatique » (adapté de l'OCDE par Reckien et al. 2015). Ainsi, lorsque les freins sont identifiés, il est possible de détecter des champs de possibilités ou des leviers.

1.6. Les villes comme éléments modificateurs du cycle de l'eau

A priori, nous pouvons supposer que l'urbanisation peut avoir un impact sur le cycle naturel de l'eau et sur les processus de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration, mais pour comprendre les défis de la gestion du cycle de l'eau, il est nécessaire de comprendre quelques notions de base.

1.6.1. Cycle de l'eau

Le grand cycle de l'eau correspond au circuit naturel des échanges entre les masses d'eau (évaporation) et l'atmosphère (formation des nuages, précipitations) et qui ruisselle à la surface ou s'infiltrer dans les sols en fonction de sa nature (France Nature Environnement 2015). En revanche, le petit cycle de l'eau correspond au cycle « domestique » qui permet de satisfaire les besoins des zones urbaines. Il comporte le prélèvement d'eau, la potabilisation, la collecte des eaux usées, la gestion des eaux pluviales urbaines, l'assainissement et le rejet dans le milieu naturel (CEREMA 2020a). Les responsabilités des instances de l'eau agissent au cœur du petit cycle de l'eau au regard du rétablissement des proportions naturelles entre ruissellement, infiltration, évaporation et précipitations.

1.6.2. Eaux de pluie, eaux pluviales et eaux de ruissellement

Tout d'abord, une distinction est faite entre les eaux selon leur participation au cycle de l'eau, qu'elle soit naturelle ou artificielle. L'eau de pluie est celle qui provient des précipitations atmosphériques qui peuvent ou non s'infiltrer dans le sol. Les eaux de ruissellement correspondent à la partie de la pluie qui ne s'infiltrer pas naturellement, s'écoulant sur le sol de manière diffuse ou concentrée, et qui sont généralement rattachées aux réseaux d'eaux pluviales (CEREMA 2020b; Commission Locale de l'Eau du SAGE des Deux Morin 2016). Par conséquent, les eaux de pluie sont des eaux de ruissellement qui sont gérées par des réseaux séparés ou unitaires pour être transportées vers des stations d'épuration ou rejetées dans l'environnement.

1.6.3. Enjeux liés à la gestion des eaux pluviales

De nombreux problèmes liés à la gestion des eaux de pluie peuvent être identifiés dans le cadre de l'aménagement du territoire contrôlé. Tout d'abord, parmi les enjeux socio-environnementaux, on trouve l'imperméabilisation résultant de l'urbanisation des territoires par le remplissage des zones humides, la canalisation des cours d'eau, la courbure des fossés, qui augmente le ruissellement en termes de débit et d'écoulement. (MDDEFP et MAMROT du Québec 2014). De même, les problèmes de contamination des masses d'eau sont liés au transfert des eaux de ruissellement résultant à la fois des déchets déversés sur la route et des hydrocarbures émis par la circulation, déversés dans le réseau d'eau de pluie. De plus, en cas de débordement dans la ville, il est possible de se décharger directement dans une rivière. (CEREMA 2020a ; Communauté d'Agglomération et de Val-de-Bièvre 2012 ; Département du Val de Marne 2014).

Dans les enjeux de cohérence territoriale, la gestion de l'eau induit à une réflexion à une échelle plus large, elle nécessite donc des actions qui aient au-delà des périmètres administratifs en intégrant des différentes échelles du cycle de l'eau (Atelier parisien d'urbanisme 2015). « Bien qu'il existe un principe de séparation des législations de l'urbanisme et de l'environnement, il est donc nécessaire d'assurer l'interaction entre les documents de planification de l'eau avec ceux de

l'urbanisme » (Agence de l'eau Adour-Garonne 2011). Ceci est d'autant plus vrai et nécessaire dans un contexte de changement climatique ainsi, la minimisation d'impacts potentiels associés à la modification du régime hydrologique issue de l'urbanisation s'avère nécessaire.

Ainsi, les activités d'adaptation nécessitent souvent une planification et une organisation préalables et peuvent par exemple impliquer un développement physique (par exemple, des barrières anti-tempête, des digues) (Stead, 2014). Néanmoins, elles peuvent inclure des actions qui renforcent la capacité d'adaptation ou qui établissent des systèmes de gestion et des mécanismes de soutien (mesures douces) ou des mesures basées sur la nature. (Agence européenne pour l'environnement 2016).

1.7. Techniques alternatives de gestion de l'eau dans la ville. Préconisations pour une gestion intégrée de l'eau

La gestion intégrée de l'eau s'appuie sur les techniques alternatives mises en œuvre à la parcelle par les particuliers ou sur l'espace public, elles visent favoriser l'infiltration et de réduire, voire supprimer les volumes et débits des eaux de ruissellement traditionnellement redirigés le plus loin possible de la ville. En effet, leur objectif c'est de sortir de la logique de « tout tuyau » et mettre en place des ouvrages de stockage et d'infiltration à la parcelle pour se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau (Joris 2011).

En fait, la gestion « in situ » des eaux pluviales relève le principe d'intégrer l'eau dans les espaces publics et privés en les aménageant pour améliorer le cadre de vie. En effet, dans cette approche, l'eau de pluie dans la ville est considérée comme une ressource précieuse pour le développement du paysage et de l'architecture. Ainsi, des techniques de différents types peuvent tirer parti de la présence de l'eau comme par exemple les stratégies d'adaptation fondées sur les écosystèmes. Celles-ci comprennent l'usage d'infrastructures vertes et bleues telles que : les mesures de reboisement urbain ; la restauration des vallées fluviales ; la gestion des écosystèmes des plaines d'inondation ; les toits verts, les murs verts, les jardins pluviaux et bien d'autres.

Les systèmes de gestion d'eaux des pluies seront appelés à satisfaire des conditions différentes en fonction du type de pluie pour répondre au besoin de retour à la nature. Dans cette approche, les dispositifs cherchent à utiliser des solutions fondées sur la nature tels que le maintien d'une surface perméable ou végétale en pleine terre maximale à la parcelle, les aménagements des abords du bâtiment, les toitures végétalisées, les bassins paysagés d'infiltration, les noues, les fossés plantés, les puits d'infiltration sont des exemples des techniques alternatives de gestion de l'eau (Communauté d'Agglomération et de Val-de-Bièvre 2012). D'ailleurs, la mise en place de ces solutions sont souvent flexibles et peuvent s'adapter aux incertitudes climatiques (UICN France 2018). Ainsi, les effets de l'imperméabilisation peuvent être compensés par des techniques alternatives aux réseaux et ces techniques alternatives peuvent être imposées aux promoteurs publics et privés dans le cadre réglementaire.

Dans le tableau ci-après, Carré (2017) présente un contraste entre approches traditionnelles et novatrices, par temps de pluie et en fonction de l'échelle territoriale. Les dispositifs à la parcelle

permettent de gérer les petits évènements de pluie alors que les ouvrages publics et plus grands sont appelés pour la gestion des évènements plus importantes à l'échelle des quartiers et même du bassin versant.

Approche traditionnelle	Approche novatrice
À la parcelle 1 Diriger l'eau des gouttières vers le réseau d'égout	À la parcelle 1 Installer un toit végétalisé qui retient l'eau de pluie, permet l'évapotranspiration et réduit le ruissellement
2 Collecter l'eau de ruissellement du toit et la rejeter dans le réseau d'égout. Utiliser l'eau potable pour arroser le jardin	2 Récupération de l'eau de pluie pour des usages intérieurs ou extérieurs
3 Paver les voies d'accès pour automobiles et pour piétons	3 Minimiser les surfaces imperméables, utiliser les pavés perméables et laisser l'eau s'infiltrer dans les fossés, restaurer la porosité du sol après la construction
À l'échelle des quartiers 1 Paver toutes les routes et les trottoirs et diriger le ruissellement vers le réseau d'égout à l'aide d'un système de caniveaux	À l'échelle des quartiers 1 Minimiser la largeur des routes, éliminer tous les caniveaux, diriger le ruissellement vers des fossés végétalisés en bordure des routes et utiliser les pavés perméables
2 Construire un réseau d'égout et diriger le ruissellement vers les cours d'eau locaux.	2 Construire des bassins de rétention et des milieux humides pour retenir le ruissellement et réduire les polluants et les sédiments qui entrent dans le système.
3 Permettre aux contaminants de s'accumuler sur la surface des rues et d'être ramassés par les eaux de ruissellement pour aboutir dans le réseau d'égout.	3 Contrôler la pollution à la source en minimisant l'utilisation de produits chimiques, en balayant les rues, en retenant les contaminants et en les traitant localement et en réhabilitant les terrains contaminés
À l'échelle des bassins versants 1 Les eaux pluviales sont dirigées vers des conduites souterraines pour ensuite traverser des zones tampon riveraines et se déverser dans les cours d'eau locaux.	À l'échelle des bassins versants 1 Créer des zones tampon riveraines et construire des milieux humides à l'intérieur de ces zones pour entreposer les eaux de ruissellement, retenir les polluants et les sédiments et filtrer l'eau. Minimiser ou éliminer les rejets d'eaux pluviales directement dans les cours d'eau.
2 Canaliser les cours d'eau urbains pour augmenter le débit, minimiser l'érosion des berges et augmenter la vitesse du drainage.	2 Maintenir les cours d'eau à l'état naturel pour permettre l'écoulement latéral et la rétention des eaux pluviales à l'intérieur de la zone riveraine.
3 Tous les réseaux d'égout sont connectés et les sorties des tuyaux deviennent des sources de pollution qui se déchargent dans les cours d'eau locaux.	3 Éviter les effets cumulatifs (y compris de vidange de bassin de retenue) qui augmentent les débits et les charges de polluants en dirigeant tous les réseaux de drainage vers des systèmes de rétention et d'infiltration.

Figure 2 Les apports du contrôle à la source dans l'aménagement urbain selon les différentes échelles des dispositifs. Source : Carré 2017

Le règlement de la gestion des eaux pluviales à la source constitue un levier pour une forme de retour de la ville à sa géographie physique en termes d'infiltration, d'écoulements, de renaturation... (CEREMA 2014). Ces approches doivent inciter des « stratégies sur mesure » pour être efficaces. Elles ne peuvent être mises en place que dans un cadre réglementaire structuré.

- 1.8. Modernisation des documents d'urbanisme. Intégration des stratégies d'adaptation au changement climatique

Une « modernisation » des documents règlementaires a été mise en avant afin de soulever les obstacles des connaissances des techniques alternatives et répondre à une demande forte de

certaines acteurs de l'urbanisme et usagers. Désormais, une modification d'approches pour la gestion de l'eau est plus visible dans les documents de gestion des collectivités. Les gestionnaires mobilisent des ressources pour encourager une gestion de l'eau hors réseau et donner la place à l'eau dans la ville.

D'ailleurs, l'élaboration d'un document d'urbanisme comme le Schéma de Cohérence Territorial (SCoT) ou le Plan Local d'Urbanisme (PLU) constitue l'occasion d'aborder des questions liées à l'eau. Ces documents qui sont des outils de régulation de l'occupation de sol, permettent de concevoir des stratégies d'adaptation au regard de la gestion des eaux de pluies, par le biais des zonages, périmètres de protection, la rationalisation des linéaires de réseaux d'assainissement... (Agence de l'eau Adour-Garonne 2011).

Les guides et outils d'aide à l'intégration des enjeux de gestion de l'eau figurent par exemple, dans les documents d'urbanisme du type PLU(i), Schémas (SAGE, SDAGE) et d'autres publications destinées à soutenir la gestion. Plusieurs d'entre eux fournissent des schémas, des outils pédagogiques et des exemples concrets des méthodes, recommandations et bonnes pratiques pour réorienter la mise en place des techniques alternatives. Les illustrations suivantes montrent des exemples explicites et explicatifs contenus dans les plans locaux des diverses agglomérations pour permettre aux utilisateurs de mieux visualiser les dispositions proposées :

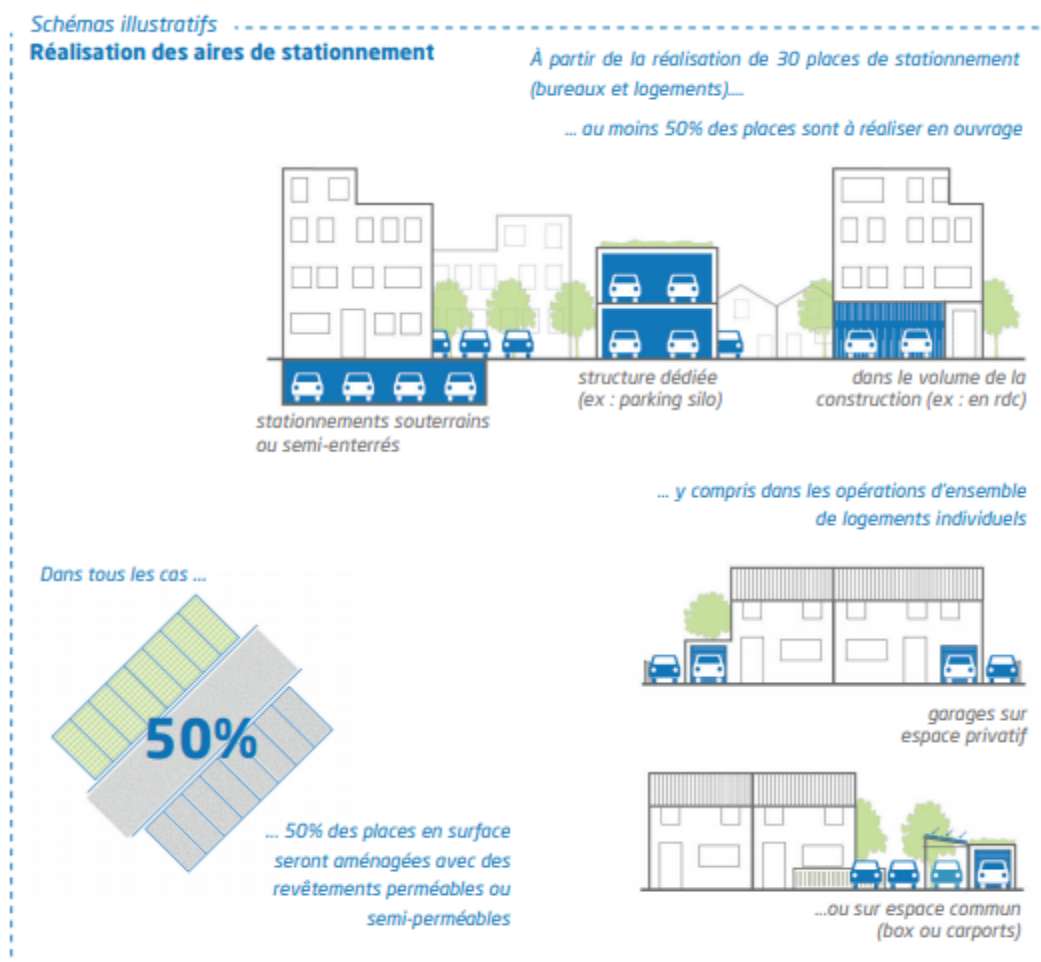


Figure 3 Schéma illustratif pour la réalisation des aires de stationnement dans les secteurs concernés par un aléa inondation ou remontée de nappe contenu dans le règlement du PLUi de Dijon

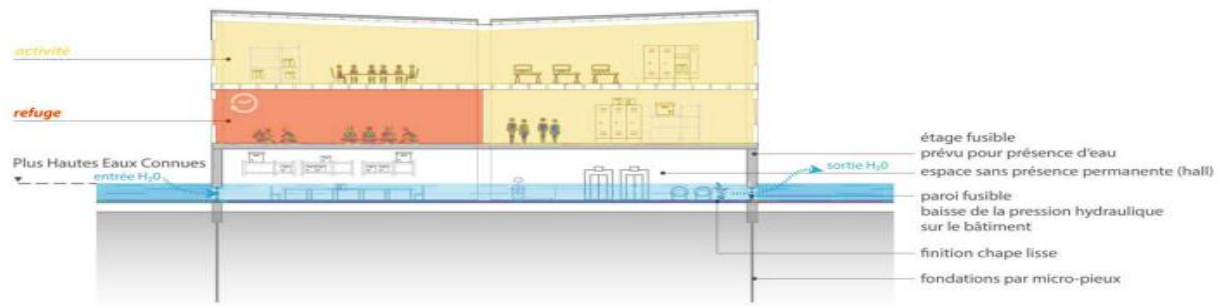


Figure 4 Exemple d'adaptation du bâti dans sa construction et ses fonctionnalités dans l'OAPde Risques du PLU de Grenoble

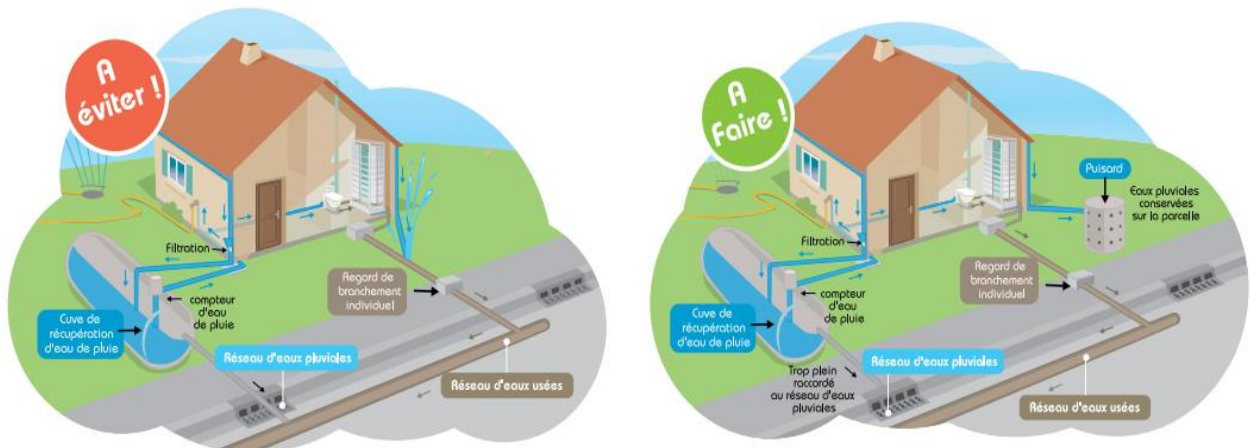


Figure 5 Extrait du règlement d'assainissement de l'agglomération de La Rochelle. Source : Règlement d'assainissement de l'agglomération de La Rochelle

Les directions régionales de l'environnement qui participent à la gestion des eaux au sein des villes peuvent prendre en charge la communication pour encourager la mise en place des techniques alternatives. Par exemple, les illustrations ci-dessous incluses dans la plaquette « Principes et pratiques en Île-de-France » élaborée par la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'Île-de-France pour le public (collectivités locales, aménageurs, entreprises, particuliers). Elles donnent des exemples des bonnes pratiques pour les aménagements :



Figure 6 Exemples des bonnes pratiques pour les aménagements. Source : DRIEE (2019)

Ainsi, les plus récents documents d'urbanisme réglementaire ont désormais une opportunité de communiquer de façon illustrative des pratiques préconisées. Ceci facilite la compréhension des éléments techniques et des exigences au sein des documents d'urbanisme.

1.9. Evaluation d'efficacité des dispositions

Si le cadre réglementaire a évolué ces dernières années pour inclure des mesures d'adaptation pour la gestion intégrée des ressources en eau, il subsiste de nombreuses incertitudes quant à la compatibilité des dispositions technique avec la réalité et, surtout, à la pertinence des dispositions proposées pour les zones territoriales auxquels les techniques sont destinées. Par exemple, les PLU qui utilisent des valeurs qui conditionnent l'emplacement des bâtiments par rapport à la voie et aux limites séparatives afin de maîtriser l'urbanisme, entraînant des difficultés de lecture des règlements et de compréhension de leurs impacts. Ce problème est aggravé par le changement constant des villes (Prévoist 2013).

Pour déterminer l'incidence des documents locaux d'urbanisme sur le changement climatique, une évaluation environnementale est réalisée en amont de l'approbation des documents afin de vérifier si les règles répondent bien aux enjeux fixés. Toutefois, lorsqu'il s'agit des règles de gestion des eaux pluviales faisant mention à la « compatibilité » entre les mesures de protection et prévention et l'aménagement du territoire, l'on peut trouver des avantages de souplesse mais cela se paie d'incertitudes sur le degré réel du risque (Groux 2017). Prévoist (2013) affirme que pour les documents d'urbanisme « l'évaluation ex-post est la seule qui permette d'apprécier réellement ce qu'il est advenu après l'entrée en vigueur du plan et de prendre des décisions de modification en conséquence ». Ainsi, un projet visant à évaluer la véritable efficacité de ces dispositions s'avère pertinent.

Afin de saisir les liens ou l'absence entre l'offre de ressources réglementaires et les demandes et besoins réels d'un territoire, nous pouvons faire appel au principe d'opposabilité utilisé pour évaluer le rapport entre les différentes règles. Il existe trois niveaux d'opposabilité, du plus contraignant au moins contraignant (AUDAB 2015) :

- la conformité impose le respect à la lettre ; elle représente le rapport normatif le plus exigeant
- la compatibilité implique de respecter l'esprit de la règle
- la prise en compte induit de ne pas s'écarter de la règle ; la notion de "prise en compte" renvoie au niveau le moins contraignant d'opposabilité

L'objectif d'une telle évaluation est de pouvoir saisir dans quelle mesure les ressources réglementaires (zonage, règles) sont suffisantes pour lever les freins à l'adaptation. L'objectif est de déterminer si ces mesures ont réellement le potentiel de changer et d'adapter la ville aux défis auxquels elle est confrontée. Cela nous permettra de retracer et de juger le niveau de satisfaction des règles en matière de gestion intégrée des ressources en eau.

2. Contexte du projet de recherche

2.2. Description des structures de recherche

Laboratoire AVENUES

Le laboratoire AVENUES est une unité de recherche (EA 7284) dont l'établissement de tutelle est l'Université de Technologie de Compiègne (UTC). La totalité des membres de l'équipe AVENUES sont des enseignants-chercheurs au département Génie Urbain (GU). L'unité de recherche interdisciplinaire a comme objet de recherche la ville, une approche basée sur les dynamiques urbaines et une méthode qui repose sur l'interdisciplinarité vue comme une intégration systémique des approches disciplinaires se co-transformant par leur mutuelle confrontation à l'objet. L'unité de recherche interdisciplinaire AVENUES constituée en une seule équipe, se propose d'appréhender les dynamiques urbaines par une démarche systémique et dynamique, et en mettant l'accent sur l'humain et les enjeux sociétaux. On note la diversité des appartenances disciplinaires des enseignants-chercheurs : urbanisme, architecture, hydrologie, transport, gestion de patrimoine immobilier, gestion des risques, matériaux, génie civil, génie mécanique, génie électrique.



Laboratoire Eau et Environnement (LEE)

Le laboratoire Eau et Environnement c'est une structure qui opère au sein de l'Université Gustave Eiffel (IFSTTAR). Le LEE développe des recherches sur différentes thématiques au sein du laboratoire, et leurs applications opérationnelles vont de la conception et de la vérification des performances des ouvrages de gestion décentralisées des eaux pluviales, à la simulation des impacts de scénarios climatiques et d'urbanisation, en passant par l'adaptation des pratiques de gestion à des aménagements distribués et multifonctions tout en assurant la maîtrise des risques de pollution. Le laboratoire articule son activité de recherche autour de trois axes thématiques :



- Gestion de l'eau urbaine et adaptation aux changements globaux
- Evaluation environnementale des sols urbains et matériaux recyclés
- Réseaux hydrographiques, crues soudaines et risque inondation

2.3. Projet MANIPUR (Méthodologie pour l'ANalyse d'ImPact des documents d'URbanisme)

Les villes, afin de répondre aux enjeux de l'augmentation des surfaces imperméabilisées et de l'accroissement des événements climatiques extrêmes, envisagent des solutions fondées sur la nature. Ces solutions (en particulier la végétation) ont de multiples objectifs : réduire le risque d'inondation, favoriser l'infiltration ou le stockage de l'eau, tout en limitant les phénomènes

d'îlots de chaleur urbaine grâce à l'évapotranspiration. Cependant, la mise en œuvre de ces solutions est étroitement liée aux réglementations urbaines locales (urbanisme local, zonage sanitaire et zonage des eaux de pluie...). La littérature de ces dernières années qui s'est développée autour de la frontière commune et parfois diffuse, entre urbanisme et hydrologie (Richard, 2017 ; Prévost, 2013 ; de Laburthe, 2014, Loubier, 2006), a montré que les services d'urbanisme des collectivités ont parfois des difficultés à estimer l'impact de leurs documents qui visent à résoudre les problèmes de confort thermique et d'eau dans la ville.

Le projet Manipur entend donc à développer une méthodologie pour évaluer la compatibilité du cadre réglementaire avec la possibilité de mettre en œuvre des solutions d'adaptation au changement climatique en ce qui concerne le confort thermique et la gestion de l'eau dans les villes. Un aperçu de la méthodologie du projet est illustré dans le schéma ci-après (figure 8).

L'échelle choisie pour l'analyse des documents dans le cadre des stages est le Plan local d'urbanisme métropolitain de la ville de Nantes (approuvé en 2019). Lors de la première phase, deux stages ont été lancés en parallèle entre février et septembre 2020. Les deux stagiaires ont été accompagnés par des spécialistes du domaine : Nathalie Molines, maitre de conférences en géographie qui apporte à ce projet la compétence en urbanisme règlementaire. Katia Chancibault qui coordonne le développement du modèle hydroclimatique TEB-Hydro et qui apporte à ce projet des compétences en hydrologie et en microclimatologie urbaines. Bernard de Gouvello intervient également dans le projet dans le cadre du partenariat avec le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU). Ses travaux relèvent d'une approche sociotechnique et portent sur les innovations en matière de gestion de l'eau dans le bâtiment et sa parcelle et à leurs impacts à l'échelle de la ville.

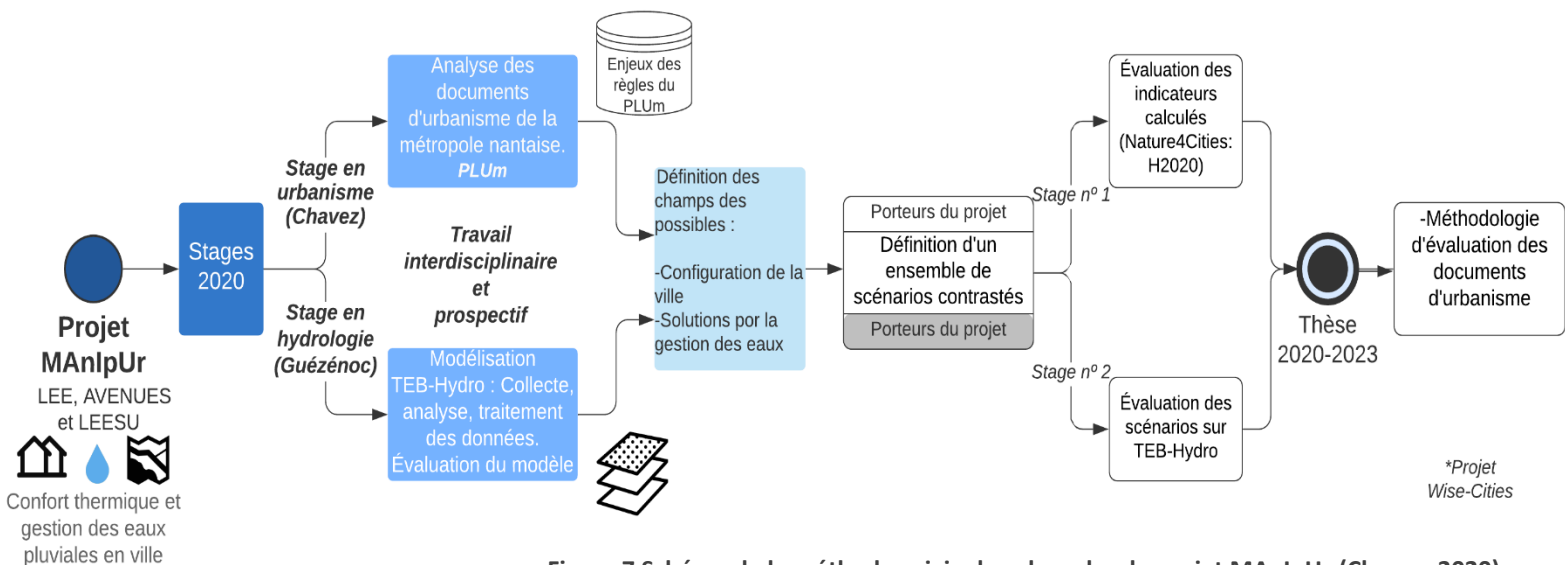


Figure 7 Schéma de la méthode suivie dans le cadre du projet MANIpUr (Chavez, 2020)

Le but du stage n°1 est de traduire les possibilités offertes par l'urbanisme réglementaire en données d'entrée pour la modélisation du climat. L'objectif de cette phase est d'extraire les éléments substantiels qui peuvent conditionner la mise en œuvre de solutions pour la gestion de l'eau et la régulation thermique.

D'autre part, le stage n°2, développé en parallèle par Guézénoc, Anna, sera davantage orientée vers la modélisation climatique par moyen de TEB-Hydro. Il s'agit d'un logiciel développé au sein du laboratoire LEE qui permet de créer des scénarios climatiques dans la ville par le biais d'un bilan énergétique et hydrique. Ce stage comportera les étapes préalables à la modélisation (préparation des données, ajustement des données, évaluation du modèle...).

Un travail en collaboration est envisagé pour la dernière étape des stages. Il consiste à définir les possibilités détectées dans le cadre réglementaire quant aux solutions cohérentes avec la configuration de la ville. Enfin, un ensemble de scénarios sera défini en fonction des constats des deux phases précédentes. Après la définition des scénarios, Guézénoc visera à évaluer les scénarios résultants. En parallèle, Chavez cherchera à évaluer les résultats d'indicateurs calculés à partir d'autres outils hydrologiques simplifiés (projet Nature4Cities). Ce travail s'inscrit dans un cadre transdisciplinaire. Le croisement entre la modélisation technique et l'analyse des documents permettra de donner une lecture contrastée de ce qui est possible au sein de la métropole. Le projet Manipur vise à poser les bases méthodologiques qui seront étendues dans le cadre d'un travail de thèse.

La thèse vise à développer une méthode d'évaluation de façon prospective. Cette méthode permettra de réduire l'écart entre les dispositions réglementaires et les réalités territoriales dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Pour évaluer la portée de la méthodologie développée, la réalisation des scénarios basés sur les réglementations spécifiques des différents territoires est prévue (le Grand Paris, l'Agglomération de la Région de Compiègne). En résumé, le résultat visera, d'une part, à fournir des informations sur les difficultés réglementaires des zones étudiées à l'aide des indicateurs calculés à partir du modèle TEB-Hydro et d'autre part, à diffuser des outils d'aide à la décision auprès des services d'urbanisme. Ceux-ci pourront affiner leurs règles et zonages pour les rendre plus efficaces en vertu de l'adaptation climatique.

Un lien potentiel de ce travail existe avec le projet de recherche Wise Cities qui vise à constituer une communauté de chercheurs de différentes disciplines autour du concept de nexus « eau-énergie-sol » en milieu urbain, en appréhendant son périmètre, en étudiant ses impacts sur la ville d'aujourd'hui et en analysant sa contribution à l'avènement de la ville durable de demain (aux horizons 2030 et 2050), en se focalisant en priorité sur le Grand Paris.

3. Contexte territorial

Simplification du sujet dans le cadre du stage

Regroupant les 24 communes, la métropole s'étend sur 523,36 km². Dans le cadre de la première phase du projet MANlpUr un réajustement d'échelle territoriale et des règles a été nécessaire pour limiter le temps de calcul et d'analyse.

3.1. Cadrage de la zone d'étude

Tout d'abord, dans le cadre du stage en hydrologie, il a fallu définir la zone d'étude où seront effectués les calculs hydrographiques sur le logiciel TEB-Hydro La délimitation du périmètre dans le cadre du travail de Guézénoc (2020) a été faite sur une grille créée lors d'applications précédentes grâce à un outil SIG (MapInfo). C'est une grille de mailles régulières de résolution de 200 mètres, couvrant l'agglomération nantaise. Elle a été redécoupée en fonction de l'aire drainée par la station d'épuration Petite Californie qui se trouve dans la commune de Rezé au sud de la Loire, du réseau hydrographique du territoire, des bassins versants de la région, des regards et des tronçons (sens d'écoulement) des eaux pluviales.

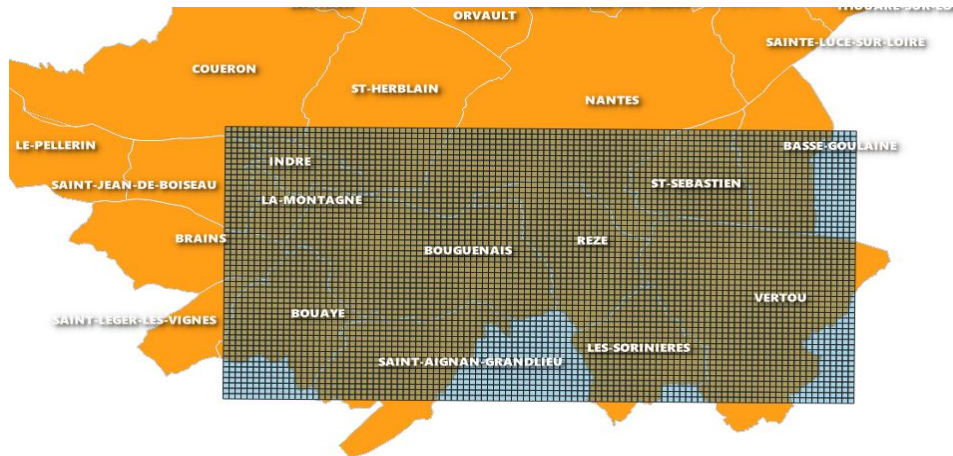


Figure 8 Localisation de la grille utilisée pour les calculs dans le cadre du stage n° 2. (Chavez, 2020)

Alors pour ce travail nous avons pris le périmètre retenu pour Guézénoc (2020). En revanche, la définition de la zone sur laquelle nous allons étudier le règlement à une échelle plus ou moins fine, nécessitait une délimitation plus précise et devait également prendre en compte des critères d'aménagement. Nous avons ainsi fait un calcul du pourcentage des surfaces concernées de chaque commune en fonction de la grille de mailles retenue. Nous avons décidé retenir les communes dont le territoire est 100% couvert, une exception a été faite pour la commune de Nantes en raison de son intérêt central de développement pour la métropole (cœur métropolitain), la commune La Montagne a été mise à examen aussi, en raison de sa faible

possibilité de densification. Ensuite, nous avons examiné les perspectives de développement des communes partiellement couvertes par la grille. Ceci a été fait à l'aide des cahiers communaux, des Orientations d'Aménagement et de programmation sectorielles et notamment de la spatialisation du Projet d'Aménagement et Développement Durable au niveau communal.

Communes dans la grille	Surface (km2)	Surface concernée (km2)	Surface concernée (%)
LA-MONTAGNE	3,63	3,63	100
REZE	15,61	15,61	100
BOUGUENAI	31,16	31,16	100
BOUAYE	14,05	13,94	99,22
LES-SORINIERES	13,19	12,52	94,92
ST-SEBASTIEN	11,72	11	93,86
VERTOU	38,12	35	91,82
SAINT-AIGNAN-GRANDLIEU	18,21	14,66	80,51
BASSE-GOULAIN	13,78	9,05	65,67
NANTES	65,73	19,93	30,32

⇒

Communes dans la grille	Surface (km2)	Surface concernée (km2)	Surface concernée (%)
LA-MONTAGNE	3,63	3,63	100
REZE	15,61	15,61	100
BOUGUENAI	31,16	31,16	100
BOUAYE	14,05	13,94	99,22
LES-SORINIERES	13,19	12,52	94,92
ST-SEBASTIEN	11,72	11	93,86
VERTOU	38,12	35	91,82
SAINT-AIGNAN-GRANDLIEU	18,21	14,66	80,51
BASSE-GOULAIN	13,78	9,05	65,67
NANTES	65,73	19,93	30,32

Tableau 1 Sélection des communes à inclure dans le périmètre de la zone d'étude (Chavez, 2020)

Nous avons choisi les communes qui ont les plus larges possibilités de développement à moyen et long terme, à l'instar de l'évolution de la population qui sera potentiellement accueillie d'ici 2030, des projets de renouvellement et de densification des quartiers, du nombre des zones d'extension, des projets de développement des axes routières ou de renforcement des centralités, de la mise en œuvre de projets économiques d'envergure....

Localisation de la zone d'étude dans Nantes métropole

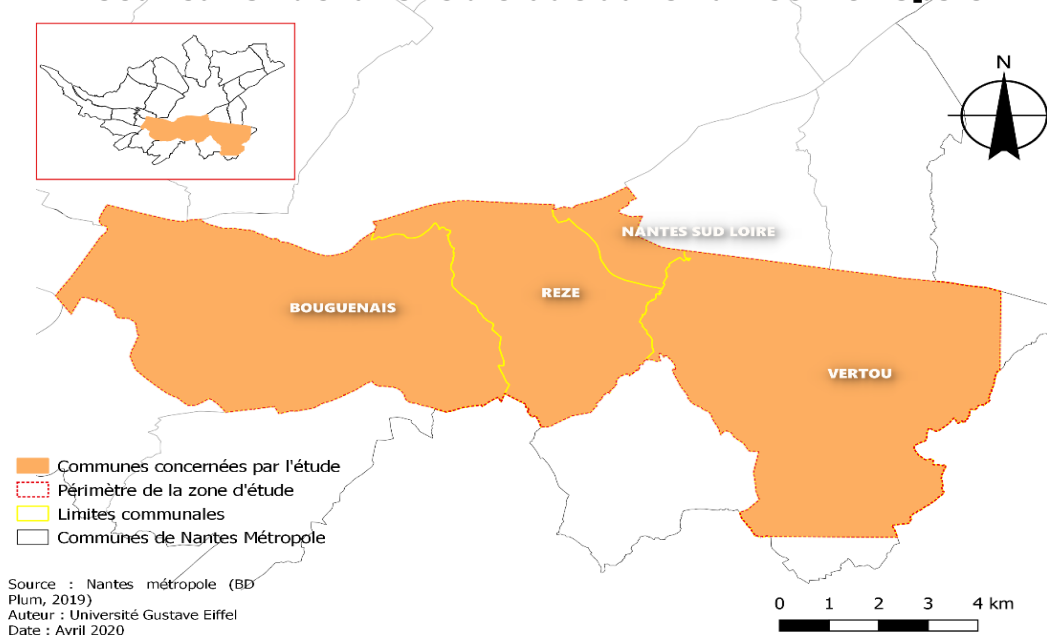


Figure 9 Localisation de la zone d'étude dans l'agglomération nantaise. (Chavez, 2020)

Les communes choisies pour la zone d'étude sont au nombre de quatre : Rezé, Bouguenais, Vertou et Nantes, pour cette dernière nous n'avons gardé que la portion du territoire se trouvant dans le sud de la Loire et desservie par la station d'épuration Petite Californie. La surface du périmètre retenu s'étend sur 84,51 km², ce qui représente 16% du territoire de l'intercommunalité.

3.2. Cadrage des règles à évaluer

Le niveau choisi pour ce travail est celui du territoire métropolitain, c'est pourquoi le cadre réglementaire sur lequel nous allons nous concentrer est le Plan Local d'Urbanisme de Nantes. Ce document est conforme au schéma de cohérence territoriale (SCoT) auquel il peut être opposé, ainsi qu'aux autres lois et dispositions avec lesquelles un document de ce type doit être compatible (Loi ALUR, Loi NOTRE, Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité de territoires, Schémas de cohérence écologique).

Plan Local d'Urbanisme de Nantes métropole

Le PLUm de Nantes est un document d'urbanisme unique pour les 24 communes de l'agglomération nantaise. C'est le « document de planification urbaine qui a pour objet de définir et d'organiser le développement du territoire et le cadre de vie futur des habitants de la métropole à l'horizon 2030 » (Nantes métropole 2019). En effet, le PLUm est un projet politique et un outil réglementaire à la fois. Ce plan définit les ambitions politiques de la métropole, et il précise également comment ce projet sera mis en œuvre à l'instar des règles d'occupation du sol. Il s'adresse à toutes les personnes capables de mener à bien des projets de construction et de développement.

Le Conseil métropolitain a approuvé le Plan Local d'Urbanisme métropolitain le 05 avril 2019 après quatre ans et demi de construction. Le projet du PLUm a été soumis à une consultation publique (communes, services de l'état, organismes publics...) en 2018. La commission d'enquête a émis un avis favorable à l'unanimité et ont rendu leur rapport, avis et conclusions à Nantes Métropole en février 2019. Ensuite, une analyse des avis des Personnes Publiques Associées, des observations déposées au cours de l'enquête publique et du rapport de la commission d'enquête publique, le dossier a été modifié et soumis à l'approbation du Conseil métropolitain du 05 d'avril 2019. Le PLUm et ses annexes ont devenu exécutoires le 23 avril 2019 (Nantes métropole 2019).

Le dossier du PLUm est constitué par cinq pièces clés définies par Nantes Métropole comme suit :

1 - Le rapport de présentation assure la cohérence de l'ensemble du document en s'appuyant sur un diagnostic territorial et ses perspectives d'évolution ainsi qu'en expliquant les choix retenus pour établir le PADD, les OAP et le règlement. Il comprend également une évaluation environnementale analysant les incidences du PLUm sur le territoire ;

- 2 - Le Projet d'Aménagement et de Développement Durables (PADD) définit les orientations générales du projet métropolitain à l'horizon 2030. C'est la pièce maîtresse du PLUm ;
- 3 - Les Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) définissent des dispositions spécifiques sur des thématiques ou dans des secteurs à enjeux du territoire métropolitain ;
- 4 - Le règlement écrit et le règlement graphique délimitent les différentes zones du territoire : zones urbaines (U), zones à urbaniser (AU), zones agricoles (A), zones naturelles et forestières (N) ; et fixe les règles d'urbanisme appliquées à celles-ci ;
- 5 - Les annexes comprennent un certain nombre de prescriptions, de servitudes ou d'informations complémentaires du PLUm.

L'objectif du projet MANIpUr est d'étudier les règles qui composent le Plan Local d'Urbanisme métropolitain à part entière afin d'analyser leur cohérence avec les objectifs en gestion de la ressource en eaux à l'échelle métropolitaine. Toutefois, il a été nécessaire de cibler les pièces clé à examiner pour établir une première approche du protocole d'analyse. En ce sens, nous nous sommes concentrés sur les documents qui pourraient avoir un impact direct ou plus visible sur la gestion de l'eau :

- Justification des choix et cahiers communaux
- Zonage pluvial
- Zonage d'assainissement
- Plan thématique du cycle de l'eau
- OAP thématiques
- OAP sectorielles
- Plan de zonage du PLUm : C'est le plan qui contient les possibilités d'occupation du sol (hors plan de sauvegarde et de mise en valeur).
- Règlement du PLUm
- Autres annexes informatives : fiches d'application aux professionnels et particuliers

Dans cette première phase du projet MANIpUr, Nous tenterons de proposer une classification de l'ensemble de règles à l'instar d'une typologie d'incidence sur la gestion de l'eau. Ceci nous permet à la fois d'appréhender la complexité des règles et leurs degrés de relations des documents et aussi d'évaluer la réelle efficacité de ce document.

Enfin, dans le cadre du stage, nous travaillerons sur une partie du territoire métropolitain nantais. De même, nous réaliserons une révision partielle de l'ensemble du cadre réglementaire. Cette méthode suppose une première approche pour le développement d'une méthodologie d'évaluation du PLUm de Nantes en termes d'adaptation au changement climatique. La méthode envisagée pourra être utilisée sur d'autres territoires.

PARTIE II

METHODOLOGIE

La méthode suivie dans le cadre du stage n° 1 est divisée en trois étapes. La première s'attarde à la représentation d'outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole ; la deuxième est dédiée à l'analyse du PADD de Nantes ; la troisième vise la détermination des zones à enjeux et des leviers mobilisables dans les règles vis-à-vis la gestion de l'eau dans la zone d'étude. La méthode est illustrée de manière synthétique dans le schéma ci-après (Figure 10). Une description de chacune des parties est ensuite présentée.

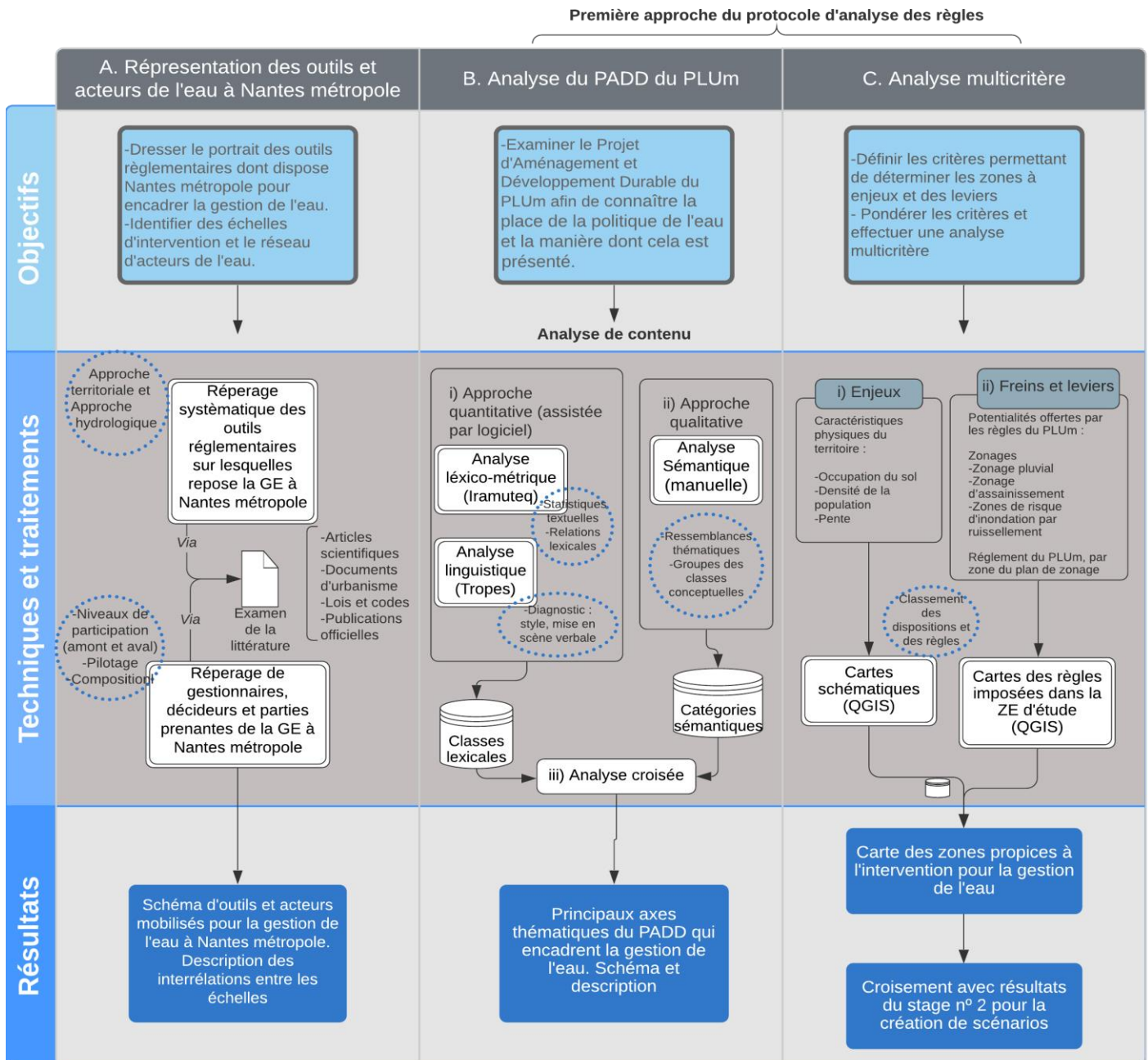


Figure 10 Méthodologie du stage (Chavez, 2020)

A. Représentation d'outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole

La ressource en eau de la métropole nantaise est gérée par plusieurs organisations qui travaillent en coopération. L'objectif de cette partie est d'identifier les documents réglementaires qui traitent des questions relatives à la politique de gestion de l'eau. Pour le repérage des outils réglementaires, une distinction de l'échelle territoriale sera nécessaire.

Objectifs

L'objectif consiste à voir comment les outils réglementaires s'articulent les uns avec les autres pour répondre à la question : quelle est la place de l'eau au sein des documents d'urbanisme dans la politique concrète de la métropole nantaise ? Nous tenterons de comprendre leurs approches pour la protection et de la gestion de l'eau. De même, nous viserons saisir de quelle manière ils interagissent entre eux : la prise en compte, l'obligation de conformité ou de compatibilité et les subordinations entre eux.

Techniques et traitements

Nous tenterons de restituer le portrait des interactions à l'échelle métropolitaine en examinant des articles scientifiques, documents d'urbanisme, lois et codes, publications officielles... Nous réviserons d'une part, sous une approche territoriale, les documents d'urbanisme tels que : le Code de l'urbanisme, les directives environnementales, les Schéma de cohérence territoriale (SCoT), le Plan Local d'Urbanisme. D'autre part, nous examinerons l'approche hydrographique, composé par des documents directement liés à la gestion de l'eau et de l'environnement : Code de l'environnement, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Plans de Prévention des risques d'inondation, Contrats de bassin hydrographique, règles et zonages spécifiques de la thématique issue du PLUm, etc.

Par ailleurs, en analysant ces documents, leur fonctionnalité, leur constitution et leurs principales caractéristiques, nous identifierons leurs structures porteuses, c'est-à-dire les acteurs clés du processus décisionnel pour leur promulgation. Le degré d'interaction juridique des documents, nous offrira une lecture du niveau de proximité opérationnelle et stratégique entre les acteurs clés et leurs rôles dans la gestion partagée (financement, proposition, action, approbation, exécution, transfert de compétences, etc.). Nous illustrerons à la fois la structure de la gouvernance de la ressource et le degré d'impact que leurs participations peuvent avoir en amont et en aval dans le développement des outils (SCoT ou PLUm par exemple).

Résultats

Nous souhaitons représenter les résultats dans un schéma illustratif qui facilite la compréhension du réseau d'outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole.

Protocole d'analyse de règles. Première approche

Les parties B et C de la méthode représentent une première approche pour établir le protocole d'analyse des règles du Plan Local d'Urbanisme de Nantes Métropole. Nous envisageons, à terme, de développer une automatisation de la méthode de vérification des règles pour faire ressortir les limites et les perspectives au regard la gestion de l'eau. Ce travail constitue une première catégorisation pour appréhender l'ensemble des éléments du PLUm et créer une typologie de règles.

B. Analyse du Projet d'Aménagement et Développement Durable du Plan Local d'Urbanisme métropolitain de Nantes

Objectifs

Le projet politique du Plan Local d'Urbanisme métropolitain de Nantes (PLUm) à l'horizon 2030 se concrétise dans le Projet d'Aménagement et Développement Durable « PADD ». Ce document manifeste les ambitions de développement territorial et d'aménagement de la métropole. Il édicte les grandes directrices à suivre pour l'élaboration des règlements, des zonages et de différentes orientations qu'y déclinent. C'est pourquoi nous souhaitons connaître la place de la politique de l'eau dans les grandes lignes qui y sont communiquées.

Dans les études de communication, un discours est composé des unités élémentaires formant un système qui contient des propositions, des périodes, des paragraphes, des séquences et des parties du plan du texte. Pourtant, un discours n'est pas qu'une simple suite d'énoncés posés côte à côte, le discours est une unité qui manifeste la réalité et vise à communiquer un sens (Charolles 1995; Rouet-Delarue 2015). À cette fin, le PADD mérite d'être considéré comme une manifestation discursive, l'application d'une analyse de contenu de discours semble appropriée.

Techniques et traitements

L'analyse de contenu applique des procédures pour décrire objectivement, systématiquement et quantitativement le contenu d'un texte afin d'évaluer ses idées et ses énoncés (Feller 1977; Jean de Bonville 2006). L'analyse de contenu quantitative d'un corpus, voire un texte, se base uniquement sur un traitement statistique des données. Elle se limitera donc à dénombrer la fréquence d'apparition des éléments d'un corpus (mots, phrases, types de verbes). L'analyse qualitative, en revanche, est une révision approfondie et systématique d'un texte au moyen de catégorisations détaillées, dans lequel le chercheur repère les éléments de son contenu afin de les retracer, les classer, les comparer et les évaluer (Leray 2008). Il est dès lors possible de concilier des approches qualitatives et quantitatives dans une analyse de contenu.

Nous prenons comme référence l'approche utilisée par Paindorge et al. (2016), cette méthode articule trois méthodologies d'analyse de contenu dans un texte commun. Elle implique d'une part, l'utilisation de l'analyse assistée par logiciel et d'autre part, l'analyse dite « manuelle ». Enfin, une analyse croisée permettra de ressortir les principales caractéristiques discursives.

Préparation du corpus du PADD

Plusieurs étapes de l'analyse de contenu ont été effectuées au préalable (choix des documents, lecture flottante...). Le document PADD est composé de 130 pages et de 45.000 mots environ, une préparation du corpus s'avère nécessaire. L'organisation systématique du matériel implique un « nettoyage » des caractères spéciaux, la suppression des symboles, des accents et des chiffres. Aussi, un codage spécial des sous-sections (thématiques), des titres et de sous-titres sera effectué en fonction des besoins des logiciels. L'objectif étant d'étudier l'intégralité du document du PADD, tous les indices contenus dans le texte seront pris en compte.

i) Approche quantitative

Pour cette partie, nous mettrons d'abord en œuvre une analyse quantitative de contenu assistée par logiciels d'analyse textuelle. Dans cette étape nous examineront le texte brut du document pour en extraire des données statistiques par une analyse linguistique et lexico-métrique. Ceci nous permettra de dégager les principales tendances du discours porté par le PADD.

-Analyse par l'approche linguistique

Une analyse linguistique prend en compte des aspects de la cohérence référentielle (« à quoi le texte se réfère-t-il ? ») et ceux relatifs aux contextes d'énonciation (« comment est-ce dit ? », à l'usage de quels verbes, adverbes, conjonctions ou connecteurs ?). En d'autres termes, l'approche linguistique nous aidera à traduire le rapport du locuteur- *la métropole nantaise* - à la situation, son point de vue et ses jugements lors de l'expression des ambitions politiques et du développement.

Le logiciel Tropes est largement utilisé dans l'analyse linguistique des discours. Il utilise le corpus (texte brut préparé au préalable) et le décompose en propositions grammaticales (sujet, verbe, prédicat), puis il les classe selon différents paramètres : ordre d'arrivée, rôle argumentatif, poids relatifs dans le texte. L'un des aspects intéressants de l'analyse linguistique c'est l'interprétation de la modalisation dans un texte, c'est-à-dire la racine du lien entre langage et la réalité (Fallery et Rodhain 2007). Ainsi, la modalisation du discours permettra d'insérer les intentions du texte dans les contextes sociaux. Il s'agit d'articuler deux prépositions grammaticales qui « permettent à celui qui parle de s'impliquer dans ce qu'il dit, ou de situer ce qu'il dit dans le temps et dans l'espace, par des notions de : temps, lieu, manière, affirmation, doute, négation ou intensité » (Documentation Tropes v.8.1, 2018).

En outre, le logiciel est capable d'effectuer un diagnostic du style général du texte et de sa mise en scène verbale. Les styles possibles correspondent à la répartition des fréquences d'apparition des catégories de mots observées dans le texte : style argumentatif, narratif, énonciatif ou descriptif. De plus, le logiciel est capable de construire des « univers de référence » qui représentent le contexte des mots du texte. Ceux derniers regroupent les principaux substantifs du texte qu'on analyse. À partir des recherches ciblées sur Tropes, nous tenterons de saisir les

notions générales des énoncés du PADD par rapport à la gestion de l'environnement, et la gestion de l'eau.

Analyse de contenu par l'approche lexico-métrique

L'analyse lexico-métrique est une analyse quantitative basée sur des statistiques de fréquence qui repose sur le calcul complet de tous les mots d'un texte et de leurs proximités d'emploi (jbazile 2017). Différents logiciels peuvent être utilisés pour effectuer cette analyse, le logiciel choisi doit avoir diverses fonctionnalités dont le triage du texte, le calcul des profils, la recherche de cooccurrences et des indices de spécificité, le regroupement des formes lexicales particulières, etc. ((Gavard-Perret et Moscarola 1998; jbazile 2017). Nous utiliserons le logiciel libre IRaMuTeQ développé par Pierre Ratinaud (2008), il s'agit d'un logiciel de traitement automatique de texte qui reproduit la méthode de classification décrite par Reinert (1983, 1991) sur la Classification Hiérarchique Descendante. Il peut créer également des statistiques textuelles classiques, des analyses de similitude sur les formes d'un corpus et d'autres spécificités (Documentation Iramuteq, 2008-2020).

ii) Approche qualitative : analyse inductive

D'après Wanlin (2007) l'analyse de contenu consiste à fouiller le contenu d'un corpus selon ses ressemblances « thématiques », de regrouper ces éléments dans des classes conceptuelles, puis de leur donner une description pertinente. La deuxième étape prolonge la démarche de l'analyse de contenu, cette fois-ci sous une forme qualifiée de « manuelle » car réalisée sans l'utilisation de logiciels. Cela implique un effort d'identification et de qualification des données en effectuant des processus intellectuels d'analyse sémantique. On parle d'approche sémantique lorsque, par l'extraction de termes clés, on essaie de comprendre le sens du texte pour identifier ce que l'auteur a voulu dire (Lafourcade 2011).

Pour mener l'analyse sémantique du PADD nous procédons à une analyse inductive. « Elle s'appuie sur différentes stratégies utilisant prioritairement la lecture détaillée des données brutes pour faire émerger des catégories à partir des interprétations du chercheur qui s'appuie sur ces données brutes » (Blais et Martineau 2006). Ainsi, la composante principale de cette approche repose sur la lecture analytique du texte à plusieurs reprises pour être objet d'interprétation. Elle ne porte donc pas sur le dénombrement des mots mais sur le sens et la valeur sémantique au regard de la thématique de recherche.

Par ailleurs, les procédures d'une analyse déductive sont fondamentalement orientées par les objectifs de recherche (Mucchielli 2007). À cet égard nous proposons des questions qui seront prise en considération lors de la lecture du corpus : Peut-on identifier des énoncés visant la gestion de ressources naturelles ? Quelles sont les positions adoptées pour la gestion de l'eau dans le PADD : concrètes, normatives, passives ? Quelles autres thématiques sont associées à la gestion de l'eau ?

Dans cette analyse de caractère exploratoire, nous ne procédons pas avec des catégories définies à l'avance à partir de la théorie, elles seront émergées a posteriori à partir du texte. Pourtant un

cadrage s'avère nécessaire, c'est-à-dire, la délimitation du champ d'observation à faire (Mucchielli 2007). Le cadrage sera fondé sur des descripteurs qui apporteront des éléments de réponse aux questions ou hypothèses de recherche (termes précises et synthétiques, mots clés). De même, la compréhension du texte par le chercheur permettra de sélectionner d'autres éléments descripteurs (Paindorge et al. 2016).

Les descripteurs que nous utiliserons ne correspondent pas à des mots ou expressions spécifiques mais aux concepts et méthodes autour de la gestion de l'eau. Des travaux de référence et listes de mots clés de peuvent nous rappellent des termes qui lui sont associés. Nous utiliserons comme référence le « thésaurus eau » issu de l'Office Internationale de l'Eau (Blais et Martineau 2006) ainsi que des travaux de référence, parmi eux : Critères d'évaluation de la gestion des eaux pluviales d'un aménagement (Ravel 2015); Urbanisme et inondation : outils de réconciliation et de valorisation (Scarwell 2017); Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of european urban climate adaptation plans (Geneletti et Zardo 2016).

Néanmoins, les descripteurs et les questions de recherche bien que ciblant les objets devant être étudiés, ne font que fournir une perspective pour conduire l'analyse ; les résultats proviennent des multiples interprétations du chercheur (Thomas 2006 cité par Blais et Martineau 2006). L'analyse via la lecture nous permettra donc de repérer des noyaux de sens en rapport avec la gestion de l'eau. Aussi, des allers-retours avec les descripteurs et la liste de catégories thématiques identifiés seront considérés.

Processus mise en œuvre

Nous mènerons donc une analyse inductive au moyen d'une révision qualitative scrutatrice du document afin d'évaluer les éléments de contenu. Nous essaierons d'identifier les points sensibles du point de vue de la gestion de l'eau, et en particulier la gestion des risques d'inondations. Une fois ces éléments identifiés, nous les repositionnerons dans les classes dégagées lors de l'analyse lexico-métrique pour établir une corrélation entre les résultats. La lecture analytique sera poursuivie de toutes les sections du PADD, à savoir :

- Sens du projet du territoire à l'horizon 2030
- 1. ORIENTATIONS STRATEGIQUES THEMATIQUES
 - Orientations en matière d'environnement
 - Orientations en matière de développement économique
 - Orientations en matière d'habitat
 - Orientations en matière de mobilité
- 2. ORIENTATIONS STRATEGIQUES SPATIALES
 - Dessiner la métropole nature
 - Développer l'attractivité et le rayonnement de la métropole
 - Organiser la métropole rapprochée
 - Les déclinaisons du PADD par territoire

Nous effectuerons un résumé par sections du PADD en relevant les sujets qui nous intéressent. Cette interprétation nous permettra d'identifier des unités de sens à partir desquelles nous

allons créer les premières « étiquettes ». En plus, des citations et extraits de texte jugés significatifs seront conservés pour étayer l'évaluation et apporter des éléments de preuve pour l'interprétation.

Les catégories seront systématisées dans une grille à partir des étiquettes communes et significatives dans les sections. Les étiquettes ayant un sens commun ou partagé seront regroupées dans la même catégorie et un nom représentatif lui sera attribué. C'est ainsi que nous obtiendrons a posteriori les catégories découlant du texte.

iii) Analyse croisée : approche quantitative et approche qualitative

L'analyse de contenu vise la réduction de la complexité du discours. Soit via logiciel (quantitatif) ou via lecture analytique (qualitatif), le but est de réduire les données à des unités élémentaires en cohérence avec les objectifs de recherche. Bien que les résultats des deux approches puissent présenter des similitudes, ils peuvent également présenter des différences substantielles.

La dernière partie sera consacrée à croiser les résultats des analyses automatique et manuelle afin de vérifier dans quelle mesure les thématiques apparues sont concomitantes. Nous tenterons d'insérer les catégories issues de l'analyse sémantique (mettant en relation des mots) au sein des classes lexicales (mettant en évidence la fréquence de certains vocables). La pertinence des certaines étiquettes sera validée à partir du relevé lexico métrique et du relevé linguistique. Nous devons enfin encadrer la signification ou la description du sens donné à la catégorie, incluant ses caractéristiques, sa portée et ses limites (Blais et Martineau 2006). Dans cette étape des nouveaux traitements pourront être envisagés afin de mieux identifier des corrélations et définir des éléments significatifs pour notre recherche.

Résultats

Nous souhaitons obtenir un repérage systématique des principaux axes thématiques du PADD qui encadrent la gestion de l'eau. Ces axes nous aideront a posteriori à classer les règles contenues dans le PLUm comme contraignantes et facilitantes de la gestion de l'eau.

C. Détermination des zones à enjeux et des leviers. Analyse multicritère

Objectifs

L'objectif de cette analyse est de localiser les zones potentiellement intéressantes pour intervenir vis-à-vis la gestion de l'eau. Nous visons identifier les zones à l'intérieur desquelles une intervention aura le plus d'impacts tant à l'échelle de la parcelle que sur l'ensemble du bassin versant dans le périmètre d'étude. Une analyse multicritère nous a semblé pertinent. Tout d'abord, nous avons proposé une méthode d'analyse dans laquelle nous avons inclus des critères tels que la densité de population, l'occupation du sol et différents types de règles dans le but de générer une grande carte qui représente les zones les plus sensibles à intervenir. Cependant, nous avons réalisé que cette méthodologie nécessite différents niveaux d'analyse et de regroupement de critères. Nous avons alors enrichi notre protocole pour effectuer l'analyse

multicritère. La différenciation des niveaux des critères est d'autant plus essentielle qu'ils peuvent nous aider à identifier les zones dans lesquelles il sera le plus nécessaire d'intervenir, et aussi ceux dans lesquels les règles nous permettent de le faire.

Techniques et traitements

Nous avons décidé d'aborder cette analyse via deux volets principaux. D'une part en termes d'enjeux via une analyse de la sensibilité des zones aux phénomènes pluvieux, d'autre part en termes de leviers où nous saisissons les possibilités conçues dans les règles retenues, c'est-à-dire, l'incidence potentielle des règles pour l'implémentation des techniques de gestion de l'eau. Ces deux grands groupes d'éléments pouvant influencer la gestion des eaux de pluie sont illustrés

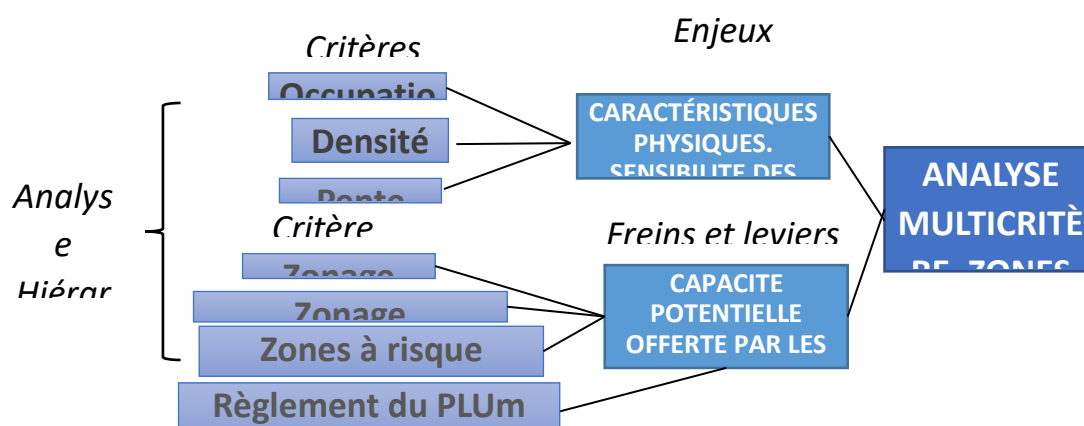


Figure 11. Processus mis en œuvre pour la partie C de la méthode. Chavez (2020) dans la figure ci-dessous (figure 11).

Dans un premier temps, nous déterminerons les zones à enjeux pour identifier la sensibilité des zones aux phénomènes pluvieux. Nous prendrons en compte des critères liés aux caractéristiques physiques de la zone d'étude telles que l'occupation du sol, la densité de population et la pente. Chacun des critères est défini par un certain nombre d'attributs, nous attribuerons donc des poids en fonction des enjeux qui représentent chacun de leurs attributs pour gérer les eaux dans la zone d'étude.

Le deuxième groupe nous fournira une analyse de la capacité potentielle offerte par les règles du PLUm pour la mise en place des dispositifs de gestion de l'eau. Pour ce faire, les différents zonages du PLUm seront évalués, à savoir : le zonage pluvial, les zones inondables par ruissellement et le zonage d'Assainissement. Dans un premier temps une analyse des éléments du PLUm sera effectuée visant la création d'une typologie des règles mises en place. Ce classement entend une identification du caractère des dispositions. Par exemple : les règles contraignantes, les règles incitatives, les facilitants.... Cette observation nous permettra d'attribuer des poids relatifs en fonction des niveaux de contraintes c'est-à-dire, de la capacité et exigences de ces dispositions selon la zone. Cette évaluation sera représentée en cartographie.

D’ailleurs, une analyse hiérarchique par paires (méthode AHP de Saaty) sera effectuée à l’aide des experts, pour pondérer les poids relatifs aux critères décrits précédemment (à exception du règlement du PLUm que sera évalué d’une façon différenciée).

Enfin, le règlement du PLUm qui fait partie du groupe des potentialités offertes par les règles, mérite une différenciation en raison des dispositions spécifiques au niveau des zones du Plan de Zonage (Zones Urbanisées « Zones U » et ses sous-secteurs et les Zones à Urbaniser « Zones AU »). Pour l’évaluation du règlement, nous attribuerons également des niveaux des contraintes relatives aux différentes zones du plan de zonage en fonction des dispositions qui puissent impacter la gestion de l’eau dans leurs périmètres.

Choix de l’échelle commune et attribution des valeurs de sensibilité aux critères retenus

L’attribution de poids aux critères selon une échelle générale nous permettra de les normaliser et de les représenter ensuite de façon cartographique. Nous utiliserons l’échelle de valorisation proposée par Zarghami et Szidarovszky (2011)

Goodness:						
Very bad	Bad	Fairly bad	Medium	Fair, fairly good	Good	Very good, excellent
Difficulty:						
Very difficult	Difficult	Fairly difficult	Medium	Fairly easy	Easy	Very easy
Sensitivity:						
Not sensitive	Low sensitive	Fairly low sensitive	Medium	Fairly sensitive	Sensitive	Very sensitive
Numeric value:						
0.05	0.2	0.35	0.5	0.65	0.8	1

Figure 12 valeurs numériques équivalentes pour les évaluations linguistiques. Zarghami et Szidarovszky (2011) « Multicriteria analysis. Applications to water and environment management »

i) Détermination des zones à enjeux. Sensibilité des zones aux phénomènes pluvieux (caractéristiques physiques)

-Occupation du sol. Niveau de perturbation du cycle naturel de l’eau de pluie. Capacité d’infiltration.

La base de données géographique CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l’occupation du sol (CORINE Land Cover - Occupation des sols en France - data.gouv.fr, 2019). Nous avons attribué des pondérations aux types d’occupation du sol présents dans la zone selon sa capacité du milieu à offrir le service de régulation des inondations. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur l’étude de Burkhard et al. (2012) qui cherche à cartographier la demande et l’offre des services écosystémiques dans les territoires. Dans ce travail, nous trouvons une matrice d’évaluation illustrant les capacités des différents types d’occupation du sol à soutenir l’intégrité écologique et à fournir des services écosystémiques. Les valeurs indiquent les capacités suivantes : 0 = aucune capacité significative ; 1 = faible capacité significative ; 2 = significative 3 = capacité significative moyenne ; 4 = capacité significative élevée ; et 5 = capacité significative très élevée.

A cet effet, nous avons extrapolé les pondérations attribuées aux types d'occupation du sol à offrir les services de régulation, spécifiquement le service « protection des inondations » afin d'attribuer leurs valeurs aux types d'occupation du sol présents dans la zone d'étude. Les valeurs en rouge ont été modifiées en accord avec les spécialistes porteurs du projet après discussion.

Ensuite, ces valeurs ont été repositionnées dans l'échelle de valeur commune utilisée pour l'analyse multicritère. C'est ainsi que l'échelle de la capacité des types d'occupation de sol à rendre les services écosystémiques a été retraduite à l'échelle commune de sensibilité. Ainsi, moins la capacité de régulation des inondations est importante pour les différents types d'occupation des sols, plus il faudra intervenir dans cette catégorie pour gérer les eaux de pluie. Par conséquent, la catégorie d'occupation de sol sera plus sensible.

I Niveau d'occupation du sol Corine Land Cover	Capacité du type d'occupation du sol pour offrir le SE « régulation des inondations »	Sensibilité à la gestion de l'eau
Arboriculture, pépinières	1	0,05
Bois et forêts	3	0,05
Camping, caravaning	0	0,35
Carrières, sablières	0	0,20
Centre bourg, centre-ville	0	1
Chantier, terrains en mutation	0	1
Cultures annuelles et terres labourées	1	0,35
Décharges	0	1
Emprises aéroportuaires	0	1
Emprises ferroviaires	0	1
Emprises routières	0	1
Équipements sportifs et de loisirs	0	1
Friche	1	0,8
Grands services urbains : eau, assainissement, électricité, écoles, santé	0	1
Habitat collectif	0	1
Habitat mixte (individuel et collectif)	0	1
Habitat pavillonnaire	0	1
Hameau rural	0	0,35
Lande et broussailles	2	0,05
Maraîchage, horticulture	1	0,35
Marais, marécages, tourbières	4	0,2
Parcs et jardins urbains	3	0,35
Peuplements d'arbres en alignement	3	0,35
Plage, sable et dunes	5	0,05
Plans d'eau et étangs	1	0,05
Prairies naturelles	1	0,20
Rivières et cours d'eau divers	2	0,20
Roselières	4	0,2
Surfaces commerciales	0	1
Terrains vacants et friches urbaines	1	0,65
Vignoble	0	0,20
Zones d'activités	0	1
Zones portuaires	3	0,35

-Densité de population

Pour calculer la densité de population sur la zone d'étude nous avons utilisé les données de l'INSEE dans une maille des carreaux de 200m de côté couvrant l'ensemble de la zone. La grille de densité caractérise les communes en fonction de la répartition de la population sur leur territoire (INSEE, 2019). La sensibilité est calculée en termes d'enjeux. Alors, plus la population est concentrée, plus le carreau est considéré comme dense et présentant donc plus d'enjeux méritant l'intervention pour gérer les eaux pluviales.

Densité par carreau 200m de côté	Sensibilité à la gestion de l'eau	Valeur
1-33	Pas sensible	0.05
3-82	Peu sensible	0.2
82-146	Assez peu sensible	0.35
146-230	Moyen	0.5
230-374	Assez sensible	0.65
374-720	Sensible	0.8
720-1396	Très sensible	1

Tableau 3 Attribution des valeurs de sensibilité par densité de la population

-Pente

L'infiltration de l'eau dans le sol dépend de différents éléments tels que la porosité, la texture, la réserve en eau utile, le mode de circulation de l'eau et la pente. En raison de l'absence d'accès aux données de ce type, nous avons décidé de conserver le critère de la pente qui est une donnée essentielle pour le phénomène du ruissellement. La fraction d'eau ne percolant pas dans le sol va alors s'écouler en surface suivant la ligne de plus grande pente. « Lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie cinétique des pluies reste constante mais le transport s'accélère vers le bas car l'énergie cinétique du ruissellement augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies dès que les pentes dépassent 15 % » (Roose 1994). Les pentes qui sont souvent prises en compte pour l'infiltration du ruissellement correspondent aux pentes supérieures au 20% (Roose et Smolikowski 1999).

Nous avons obtenu des données d'élévation grâce à la création d'un modèle numérique de terrain « MNT » avec la base de données de Nantes métropole. Puis, à partir du MNT, une carte des pentes a été créée. Les valeurs obtenues correspondent aux pentes plutôt faibles, rappelons-nous que dans le cadre de ce projet la zone d'étude a été restreinte à une partie de la métropole et les pentes plus fortes peuvent ne pas être présentes. Les valeurs de la pente ont été ensuite reclassifiées dans l'échelle de sensibilité à la gestion de l'eau. Les valeurs sont positionnées aux classes plus basses de l'échelle de sensibilité en raison de l'absence des fortes pentes.

Pente (%)	Sensibilité à la gestion de l'eau	Valeur
>20	Moyen	0,5
15-20	Assez peu sensible	0,35
10-15	Peu sensible	0,2
0-10	Pas sensible	0,05

Tableau 4 Attribution des valeurs de sensibilité par pourcentage de pente

Le résumé des critères liés aux caractéristiques physiques du territoire est décrit dans le tableau suivant :

Critères	Description
Occupation du sol	Plus le score est élevé, moins la capacité du type d'occupation du sol à
Densité de la population (hab)	Plus le score est élevé, plus d'habitants dans la zone.
Pente	Plus la pente est élevée, plus accroît le phénomène de ruissellement.

Tableau 5 Résumé de la description de la sensibilité attribuée aux critères physiques

ii) Détermination des freins et leviers.

Analyse de la capacité potentielle offerte par les zonages du PLUm

-Zonage pluvial

Le zonage pluvial définit les règles particulières imposées sur le territoire de Nantes Métropole en matière de rejet d'eaux pluviales dans le milieu naturel. L'article 26.1 du règlement vise à limiter le débit de rejet des projets d'urbanisation et contraint tout aménageur à réaliser des dispositifs destinés à limiter ou étaler dans le temps les apports pluviaux. Pour délimiter les zones de prescription des eaux pluviales adaptées au territoire, une délimitation du territoire en zones de production pouvant générer du ruissellement (si elles sont imperméabilisées) est faite, celles-ci sont délimitées par *sous bassins versant hydrographiques* sur la base d'une approche topographique et puis priorisées suivant la vulnérabilité des secteurs urbanisés en aval. Ainsi, le plan de zonage pluvial considère 4 types de zones (tableau 6). Les prescriptions sur chacune des zones établissent des objectifs de gestion des eaux pluviales. Nous avons évalué sur l'échelle de niveau de contrainte chacune des zones de production des eaux pluviales en fonction de l'admissibilité de leurs dispositions :

Zones du zonage pluvial	Description	Niveau de contrainte	Valeur
Zones de production « prioritaires principales »	Sont les bassins versants pouvant générer des ruissellements vers des secteurs à forts enjeux où des problèmes d'inondations et des sinistres ont été observés. - Un volume de 16 l/m ² imperméabilisé doit être retenu à la source - Limiter le débit de fuite à 3 l / s / ha aménagé - Stocker la pluie de période de retour 50 ans	Plus contraignant	1
Zones de production « prioritaires secondaires »	Sont les bassins versants pouvant générer des ruissellements vers des secteurs à forts enjeux -Un volume de 16 l/m ² imperméabilisé doit être retenu à la source - Limiter le débit de fuite à 3 l / s / ha aménagé -Stocker la pluie de période de retour 30 ans	Contraignant	0.8
Zones de production « non prioritaires »	Sont les bassins versants pouvant générer des apports d'eau vers des secteurs peu vulnérables -Un volume de 16 l/m ² imperméabilisé doit être retenu à la source - Limiter le débit de fuite à 3 l / s / ha aménagé -Stocker la pluie de période de retour 10 ans	Assez peu contraignant	0.35

Tableau 6 Attribution des valeurs de niveau de contrainte aux catégories du zonage pluvial

-Zones inondables par ruissellement

Le plan thématique « cycle de l'eau » du règlement graphique (pièce n°4.2.6) établit la cartographie des zones présentant un risque d'inondation par ruissellement et débordement de cours d'eau. Dans ces zones, le règlement (chapitre 5.1.1) fixe des règles d'occupation des sols, notamment en matière de construction. Ces règles sont modulées proportionnellement à l'intensité de l'aléa et à son potentiel impact sur la sécurité des personnes et des biens, selon quatre secteurs d'aléa : très fort, fort, moyen et faible.

En 2016 Nantes métropole a réalisé une étude afin de connaître les zones inondables par ruissellement et ainsi disposer d'une cartographie des secteurs potentiellement inondés en cas d'un événement pluvieux d'occurrence centennale (1 % de risque de se produire par an, c'est-à-dire un événement rare et intense). Cette occurrence fait office de référence nationale concernant la gestion du risque en urbanisme. Une modélisation hydraulique a permis d'identifier les secteurs de l'agglomération qui pourraient être touchés par des inondations lors d'un événement pluvieux d'occurrence centennale, soit une probabilité de 1/100 de se produire chaque année. Nantes métropole a fait le choix de les intégrer dans le PLUm, en modulant la traduction de façon différenciée et proportionnée selon l'intensité de l'aléa. Quatre niveaux d'aléas ont été déterminés en fonction des facteurs de dangerosité. Nous avons évalué sur l'échelle de niveau de contrainte chacun des types d'aléa en fonction de l'admissibilité de leurs dispositions :

Zones inondables par ruissellement	Description	Niveau de contrainte	Valeur
Aléa très fort	Sont autorisées : Les constructions relevant de la destination Équipements d'intérêt collectif et services publics contribuant à la lutte contre les inondations ; Toute extension, réhabilitation, changement de destination d'une construction existante s'ils répondent à l'objectif de réduction de la vulnérabilité	Plus contraignant	1
Aléa fort	Sont autorisées : Les constructions relevant de la destination Équipements d'intérêt collectif et services publics contribuant à la lutte contre les inondations ; Toute extension, réhabilitation, changement de destination d'une construction existante s'ils répondent à l'objectif de réduction de la vulnérabilité Toute construction nouvelle, sous réserve de la réalisation d'une étude hydraulique qui démontre que les modalités de construction et d'aménagement mises en œuvre assurent la non-aggravation du risque pour les personnes et les biens et la préservation des conditions d'écoulement.	Contraignant	0.8
Aléa moyen	Sont autorisées : -Toute construction nouvelle de moins de 1000m ² , toute extension, réhabilitation... à condition de situer la construction au-dessus de la ligne d'eau de référence (50 cm au-dessus du terrain naturel, mesuré au droit de la bordure externe de l'aléa). -Toute construction nouvelle de plus de 1000 m ² / autorisée dans le cadre d'une opération d'aménagement, sous réserve de la réalisation d'une étude hydraulique qui démontre que les modalités de construction et d'aménagement mises en œuvre assurent la non-aggravation du risque pour les personnes et les biens et la garantie de la préservation des conditions d'écoulement. -Les constructions agricoles (hors habitation) dès lors qu'elles ne peuvent être	Moyen	0.5

	localisées en dehors de la zone inondable et sous réserve qu'elles soient implantées dans le sens des écoulements -Les installations, ouvrages, équipements d'infrastructure d'intérêt collectif et de services publics ainsi que les constructions liées à leur exploitation sous réserve que leur localisation et leur conception garantissent les impératifs d'écoulement de l'eau, limitent leur impact sur les inondations à l'aval ou contribuent à les réduire. -Les espaces dédiés au stationnement hors voiries publiques situés au niveau du terrain naturel, doivent avoir un dispositif évitant l'emportement des véhicules en cas d'inondation.		
Aléa Faible	Zone de précaution. Des recommandations sont préconisées dans l'OAP Trame verte et bleue et paysage pour toute construction et tout ouvrage. P.ex. : mettre hors d'eau les installations électriques, utiliser des matériaux hydrofuges ; rehausser les constructions et extensions de 20 cm par rapport au niveau du terrain naturel ; Sceller ou lester les citernes, cuves et silos situés sous le niveau d'accumulation de l'eau.	Peu contraignant	0,2

Tableau 7 Attribution des valeurs de niveau de contrainte aux catégories des zones d'aléa d'inondation par ruissellement

-Zonage d'assainissement

L'élaboration du zonage des eaux usées est basée sur l'état existant du système d'assainissement et sur une analyse prospective en lien avec l'urbanisation future de l'ensemble du territoire métropolitain (PLUm). Pour attribuer les notes de sensibilité aux zones d'assainissement nous avons considéré les types distincts séparatif ou unitaire dans les systèmes collectifs. Ceux-ci possèdent des niveaux de contraintes différenciées vis-à-vis la gestion de l'eau :

Zones d'assainissement	Description	Niveau de contrainte	Valeur
Collectif unitaire	Mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales (Centre-Ville)	Plus contraignant	1
Collectif séparatif	Le réseau d'eaux usées et le réseau d'eaux pluviales sont distincts (le reste de l'agglomération)	Moyen	0,5
Non Collectif	Les systèmes d'assainissement non collectif équipent les immeubles générant des eaux usées et non desservis par un réseau collectif ou jugés difficilement raccordables au réseau collectif. Ces systèmes de collecte et de traitement individuel garantissent un bon niveau d'épuration pour le milieu naturel lorsqu'ils sont adaptés et bien entretenus.	Moins contraignant	0.05

Tableau 8 Attribution des valeurs de niveau de contrainte aux catégories du zonage d'assainissement

Le résumé des critères liés aux possibilités conçues dans le règlement du PLUm est décrit dans le tableau suivant :

Critères	Description
Zonage pluvial	<i>Plus le score est élevé, plus la zone est prioritaire en matière de gestion des eaux pluviales.</i>
Zones inondables par ruissellement	<i>Plus le score est élevé, plus il y a de chances que la zone soit inondée par ruissellement.</i>
Zonage d'Assainissement	<i>Plus le score est élevé plus des risques associés au type d'assainissement mis en place.</i>

Tableau 9 Résumé de la description du niveau de contrainte attribuée aux zonages du PLUm

Nous avons obtenu une carte raster pour chacun des critères présentés dans les deux groupes. Ces rasters représentent les valeurs de niveaux de contrainte attribuées séparément. Maintenant, on a besoin des deux rasters qui correspondent chacun aux résultats des groupes, d'une part, les caractéristiques physiques représentant les enjeux et d'autre part, les règlements évalués représentant les leviers potentiels mobilisables dans le règlement. Nous utiliserons une méthode de pondération des critères avec l'aide d'experts pour déterminer l'importance d'un critère par rapport à un autre dans chaque groupe respectivement. Ces résultats serviront de base au calcul de l'analyse multicritères finale.

Application de méthode Saaty pour établir les poids relatifs pour le groupe de critères de la capacité potentielle offerte par les règles du PLUm

L'Analyse Hiérarchique par Paires est une méthode populaire qui utilise des comparaisons par paires de critères basées sur une échelle verbale fondamentale (Saaty, 1980 ; Saaty, 1994). L'AHP est une théorie de mesure relative de critères matériels et immatériels. L'un de leurs principaux avantages est qu'elle est facile à comprendre en raison de sa structure hiérarchique/réseau (Kandakoglu, Frini, et Ben Amor 2019). L'AHP est donc une méthode conçue pour aider à hiérarchiser des alternatives de décision très complexes impliquant de plusieurs opinions et de plusieurs objectifs. Les comparaisons par paires sont les éléments fondamentaux de l'AHP où l'on compare l'importance relative des critères entre eux. L'objectif est de faire une comparaison par paires pour privilégier un critère par rapport à un autre.

Une enquête a été réalisée auprès des tuteurs spécialistes en hydrologie urbaine (annexe 1), ils ont donné leurs avis sur la pondération des critères pour l'analyse multicritère. Les experts ont évalué individuellement les hiérarchies données dans le tableau 10 en utilisant l'AHP au sein de chaque sous-groupe (Caractéristiques physiques et règlements). La synthèse de l'AHP a généré les pondérations finales des critères par rapport aux objectifs.

L'évaluation a consisté à classer par ordre d'importance les critères qui peuvent représenter le plus d'enjeux ou de leviers dans la gestion de l'eau de pluie. C'est-à-dire, la présence du critère classé en premier sera prioritaire par rapport aux autres dans les traitements cartographiques. Ainsi par exemple, dans le premier groupe, si l'occupation du sol est le plus importante parmi les trois critères, elle sera prioritaire pour le traitement SIG qui nous permettra de cartographier les zones à enjeux. De même, si dans le deuxième groupe, les experts considèrent que les dispositions du zonage pluvial ont plus d'importance que celles du zonage d'assainissement, les valeurs données aux attributs du zonage pluvial seront prioritaires dans les traitements SIG.

Matrice de comparaison par paires (Capacités physiques du territoire)			
	Occupation du Sol	Densité de la population	Pente
Occupation du Sol	1		
Densité de la population		1	
Pente			1
SOMME			

Matrice de comparaison par paires (Potentialités offertes par le règlement)			
	Zonage pluvial	Zones inondables par ruissellement	Zonage d'Assainissement
Zonage pluvial	1		
Zones inondables par ruissellement		1	
Zonage d'Assainissement			1
SOMME			

Tableau 10 Matrice utilisée par les experts pour effectuer l'évaluation de comparaison par paires

Chaque expert a dû remplir deux matrices de comparaison par paires avec les chiffres de l'échelle fondamentale à 9 points de Saaty. Les pondérations locales des critères par rapport aux autres critères sont calculées par la méthode des valeurs réciproques. Une discussion a été menée entre l'équipe et les spécialistes participants et les poids définitifs ont été établis après un accord (voir l'annexe 2 pour la fiche d'évaluation finale livrée). Enfin, deux cartes raster seront créées pour représenter les résultats de l'évaluation ci-dessus exposée sur le périmètre de la zone d'étude. Le traitement final consiste à faire la somme des rasters correspondant à chaque critère multiplié par son poids dans le cas des deux groupes séparément.

Analyse de la capacité potentielle offerte par le règlement du PLUm. Plan de zonage

Le règlement écrit du PLUm s'applique sur la totalité du territoire sauf le secteur du Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur (PSMV). Le règlement est l'un des cinq pièces obligatoires du PLUm, il est articulé avec le rapport de présentation, le Projet d'Aménagement et Développement Durable, les Orientations d'Aménagement et de Programmation et les annexes. Le règlement est composé d'une partie écrite et d'une partie graphique. Les règles d'occupation et d'utilisation des sols fixées par le règlement sont la traduction des orientations générales et des objectifs énoncés par le PADD. Elles sont définies en cohérence avec le contenu des OAP et justifiées, dans leur contenu et leurs effets attendus par le Rapport de Présentation du PLUm. Elles sont soumises, dans leur application, au respect des servitudes d'utilité publique applicables sur le territoire métropolitain et figurant dans les annexes du PLUm.

Les zones du plan de zonage du PLUm contiennent toutes les prescriptions en matière d'occupation du sol. Le règlement des zones comprenant les règles spécifiques applicables dans chacune des 6 zones du PLUm (UM, UE, US, AU, A et N). Selon Grafakos et al. (2020), la plus grande dépendance des zones urbaines à l'égard des systèmes d'infrastructures, nécessite une meilleure compréhension des mesures d'adaptation en réponse aux risques climatiques. Nous limitons donc l'étude aux seules zones urbaines et à urbaniser puisque, par rapport aux zones naturelles et agricoles, les zones urbaines ont souvent davantage besoin de mesures d'adaptation en raison de la concentration de la population et du taux important de surfaces imperméables.

- La zone urbaine dite « zone U » correspond aux secteurs déjà urbanisés ainsi qu'à ceux où les équipements publics existants ou en cours de réalisation ont une capacité suffisante pour desservir les constructions à implanter. Elles sont déclinées en :
 - Zone UM (a, b, c, d) : elle favorise la mixité des fonctions urbaines (logements, bureaux, équipements et services), la mixité sociale, la diversité des formes bâties et la qualité des paysages urbains le long des rues.
 - Zone UE : dédiée à l'accueil d'activités économiques de production, de fabrication ou de logistique pour favoriser le maintien et le développement du tissu économique
 - Zone US est dédiée aux grands équipements d'intérêt collectif et de services publics qui concourent au fonctionnement de la métropole (recherche, enseignement supérieur, sport, culture, loisirs, gestion des déchets, transports, énergie...) ainsi qu'aux pôles d'équipements communaux ou intercommunaux.
- La zone à urbaniser dite « zone AU » : correspond aux secteurs destinés à être ouverts à l'urbanisation.

Les dispositions générales comprennent aussi les dispositions communes applicables à toutes les zones, comprenant des règles graphiques d'une part et des règles écrites d'autre part. À cet effet, nous avons sélectionné des dispositions qui puissent potentiellement mobiliser l'implantation des techniques alternatives de l'eau, c'est-à-dire, des leviers aussi mais cette fois restreints au règlement du PLUm. Tout d'abord, un répertoire des techniques alternatives a été créé pour nous aider à déterminer quels critères du règlement prendre en compte et relever quelles dispositions sont susceptibles de permettre ou de limiter leur mise en place. Nous avons retenu les critères suivants :

Critère	Description
Coefficient de Biotope par Surface	Valeur définissant la proportion des surfaces éco-aménagées* exigée par rapport à la surface totale de l'unité foncière du projet de construction. Elle intègre une pondération selon la nature des surfaces éco-aménagées, en fonction de leur degré de perméabilité, de leur contribution à la biodiversité et à la présence de la nature en ville, de leur contribution à la régulation du microclimat. Le CBS permet ainsi d'évaluer la qualité environnementale de l'unité foncière considérée
Marge de recul sur rue	Distance séparant la construction de l'emprise publique ou voie* existante ou à créer. Il se mesure horizontalement et perpendiculairement à la limite d'emprise publique ou de voie, en tout point de la façade de la construction.
Implantation des constructions par rapport aux : -emprises publiques et voies. -limites séparatives latérales et de fond de parcelle -les unes par rapport aux autres	Ligne d'implantation obligatoire des constructions sur les parcelles concernées. Chaque règle d'implantation des constructions est fixée soit par le règlement écrit soit par le règlement graphique. L'implantation des constructions doit être conçue en cohérence avec l'espace public, en préservant une large place à la biodiversité et au cycle de l'eau
Volumétrie des constructions	La hauteur des constructions est une hauteur maximale hors tout (H). La hauteur maximale d'une construction est la différence entre le point haut et le point bas de la construction.
Clôtures	Les clôtures, murs et murets de clôture ainsi que les portails participent à la qualité du paysage urbain. Pour ces raisons ils doivent : dans leur aspect, leurs dimensions

	et les matériaux employés, participer à la qualité des espaces publics, préserver l'intimité des jardins et favoriser la biodiversité ainsi que le respect du cycle naturel de l'eau.
Stationnement	Le stationnement réalisé hors volume construit doit faire l'objet d'un traitement paysager d'ensemble prenant en compte le cycle de l'eau et doit être planté d'au moins 1 arbre pour 100 m ² de stationnement, le calcul de la surface à planter intégrant les surfaces dédiées aux accès.
Toitures	Hors façade. Elle peut être en Comble : Volume de toiture dont la base se situe au niveau du plafond du niveau inférieur. Ou terrasse/toiture végétalisée : toiture plate ou à faible pente recouverte d'un substrat végétalisé. Elle présente des avantages sur les plans énergétique, hydraulique, phonique et esthétique.

Tableau 11 Critères choisis pour évaluer les dispositions du règlement du PLUm vis-à-vis la gestion de l'eau

Une matrice relevant les dispositions concernant les critères ci-dessus par type de zonage a été construite. Les critères jouent un rôle d'indicateurs qui, ensemble, aideront à déterminer l'étendue ou la capacité d'une zone U, qu'il s'agisse d'une zone UM, US ou UE ou d'une zone AU pour accueillir les techniques alternatives. Cette évaluation consiste à attribuer une valeur aux critères retenus ci-dessus par zone en fonction de l'admissibilité ou les limitations des dispositions. En d'autres termes, plus les dispositions relatives aux critères ne favorisent l'infiltration de l'eau de pluie, mieux et plus facilement il sera possible d'installer les techniques de gestion de l'eau de pluie plus près de la source. Ainsi, nous déterminerons quelles dispositions des zones U constitueront un levier mobilisable pour la gestion de l'eau.

En raison de la complexité et de la multiplicité des critères et exceptions existants, et pour des raisons de temps d'évaluation, nous avons décidé de ne retenir, pour ce stage, que le critère du « Coefficient de Biotope par Surface » en raison de sa capacité directe à exiger des espaces favorables à l'infiltration aux projets de constructions neuves et d'extension en intégrant des surfaces éco-aménagées. Par conséquent, le CBS agira comme un « échantillon » parmi les dispositions pour évaluer le potentiel du règlement à gérer l'eau en fonction du zonage. A cet effet, nous avons évalué les dispositions par rapport au CBS par zonage et nous avons pondéré la zone en fonction de la marge de manœuvre permise par les dispositions au regard de ce critère. Le tableau ci-après présente les valeurs de niveau de contrainte au regard le CBS par zone. L'annexe 3 présente les dispositions détaillées du CBS par zonage ainsi que leur évaluation.

Zonage PLUm	Niveau de contrainte selon le CBS exigé dans les zones du plan de zonage	Valeur
Uma : Centralités actuelles et en devenir	Contraignant	0,8
Umb: quartiers de grands ensembles ou de projets urbains à morphologie spécifique.	Moyen	0,5
Umc : tissus agglomérés en élargissement des centralités ou situés aux abords des axes de mobilité structurants	Plus contraignant	1
Umd : Quartiers résidentiels principalement pavillonnaires.	Plus contraignant	1
Ume : Hameaux et un village	Plus contraignant	1
UE : Favorise la mixité des activités économiques.	Contraignant	0,8
US : zone dédiée aux grands équipements d'intérêt collectif,	Moyen	0,5

et services publics		
1AU : correspond aux espaces naturels ou aux friches urbaines destinés à être ouvertes à l'urbanisation.	Valeurs identiques à ceux des zones U	
2AU : zones potentiellement urbanisables à long terme, ni la vocation, ni les règles ne sont encore définies.	Non concernée	0

Tableau 12 Attribution des valeurs du niveau de contrainte aux zones du plan de zonage du PLUm en fonction des dispositions relatives au CBS

Nous disposons la base de données du plan de zonage dont nous utiliserons pour affecter chacune des zones avec le résultat de la pondération au critère de CBS et produire une carte raster.

Résultats

Une carte raster a été générée pour chaque groupe de critère à évaluer, à savoir : les enjeux selon les caractéristiques physiques du territoire (l'occupation du sol, la densité de la population et la pente), ce traitement a fait ressortir la sensibilité des zones aux phénomènes pluvieux ; et la potentialité offerte par le règlement (zonage pluvial, zones de risque d'inondation par ruissellement et zonage d'assainissement et les dispositions du règlement du PLUm dont nous avons retenu le critère du Coefficient de Biotope par Surface). Nous disposons de trois résultats sous format raster, le traitement d'agrégation finale consiste à faire une somme linéaire des rasters en considérant des poids égaux lors du traitement. Ces résultats seront croisés et partagés avec l'autre stagiaire pour construire les bases de la modélisation hydraulique dans le cadre du projet ManiPur.

PARTIE III RESULTATS

A. Gouvernance de l'eau à Nantes Métropole. Outils et acteurs mobilisés.

Dans le cadre réglementaire actuelle, nous trouvons divers outils réglementaires qui encadrent la politique de l'eau, ils sont déclinés depuis l'échelle européenne jusqu'à l'échelle locale, en passant par l'échelle des bassins hydrographiques. Or, bien que les lignes directrices de la gestion de l'eau soient conçues dans les outils spécifiques à l'eau (contrat de milieu, contrat de bassin versant), les outils d'urbanisme portent en parallèle les lignes directrices pour gérer les eaux (Schéma de cohérence territorial, Plan local d'Urbanisme). Dans le cadre du stage, une révision des règles, du PLUm et des documents de gestion de l'eau et d'urbanisme a été faite. Un schéma (figure 13) permet d'illustrer les outils de la gestion de l'eau à Nantes métropole en identifiant les acteurs clés pour leur mise en place.

Située dans le bassin Loire-Bretagne, la ressource en eau de la métropole nantaise est tout d'abord soumise aux grandes orientations du bassin. Les comités de bassin établissent les grandes orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs à atteindre. Ils sont composés par les élus (40%), les usagers (40%) et l'État (20%). Ils définissent également les actions à mettre en œuvre pour l'amélioration de la qualité de l'eau (CEREMA 2020b; France Nature Environnement 2015). Ensuite, ces grandes orientations prennent forme dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux « SDAGE ». Les SDAGE sont adoptés par des Comités de Bassins rassemblant les acteurs de l'eau (collectivités territoriales, usagers industriels, agricoles et non professionnels, État et experts). « Les collectivités territoriales et leurs groupements sont quant à eux soumis à une exigence de compatibilité avec le SDAGE pour un certain nombre de documents de planification » (Agence de l'eau Artois-Picardie 2018). Le SDAGE est donc le principal outil de mise en œuvre de la politique de l'eau de la directive cadre européenne sur l'eau.

Puis, le SDAGE est décliné plus concrètement à une échelle locale dans le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux « SAGE ». Le SAGE est préparé par la commission locale de l'eau « CLE », en rassemblant les partenaires qui utilisent la ressource du même bassin élus (50%), les usagers (25%) et l'État (25%). Ainsi, le SAGE fixe des objectifs généraux quantitatifs et qualitatifs pour la gestion de la ressource en eau et des écosystèmes associés en tenant compte des enjeux et des spécificités locales (Agence de l'eau Loire Bretagne 2016).

À Nantes métropole, la politique publique de l'eau est gérée par plusieurs organisations qui travaillent en coopération pour créer et appliquer les outils réglementaires. La gestion repose sur quatre axes stratégiques : 1) satisfaire l'utilisateur et mettre en œuvre une tarification équitable et solidaire ; 2) délivrer un service fiable et de qualité en eau potable et en assainissement ; 3) maîtriser l'impact du cycle de l'eau sur le territoire et valoriser des milieux aquatiques ; 4) optimiser le patrimoine réseaux et ouvrages (Rapport sur l'eau de Nantes Métropole, 2018). La gestion des eaux pluviales et de l'assainissement étant inclus dans les deux derniers axes.

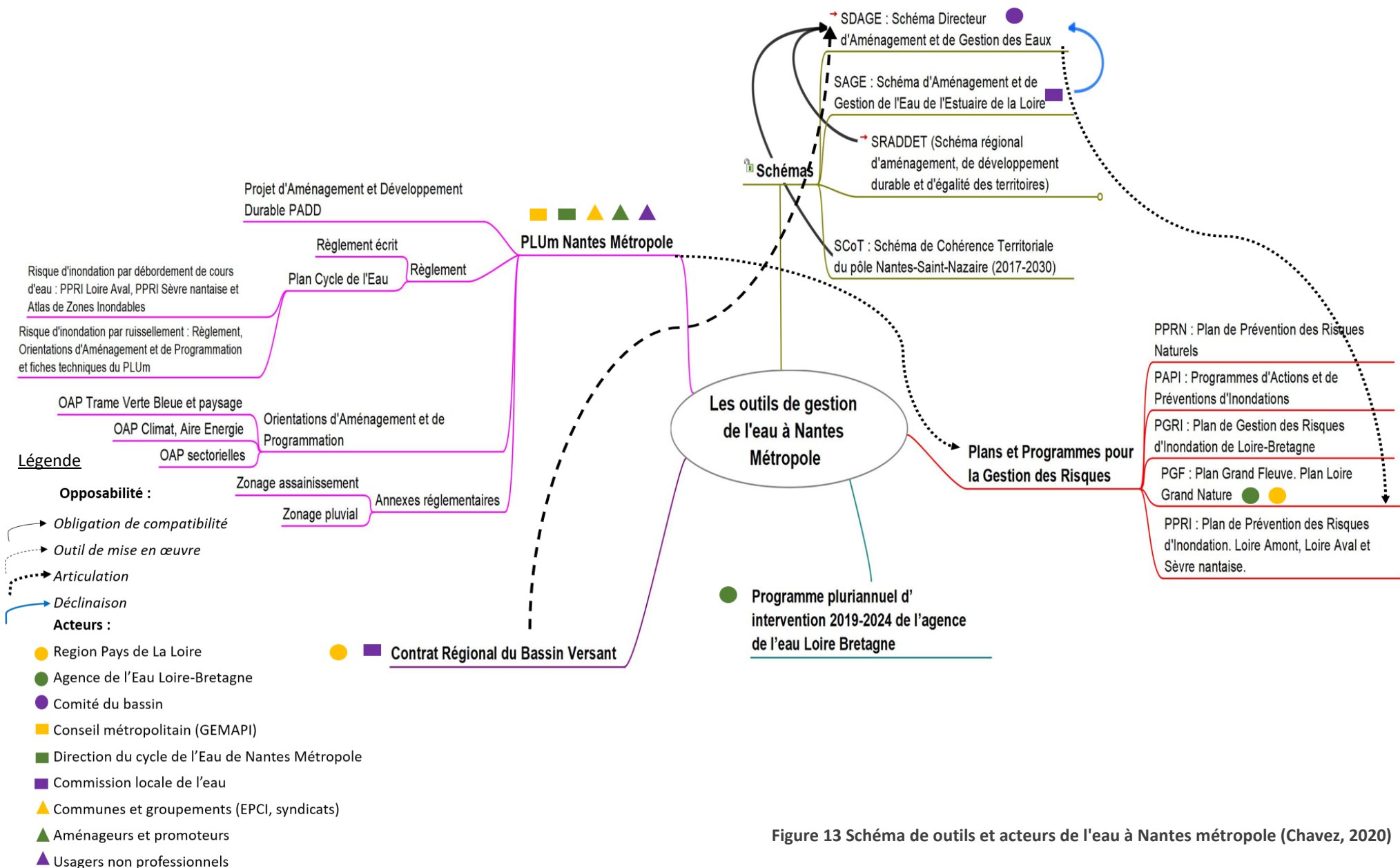


Figure 13 Schéma de outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole (Chavez, 2020)

En tant qu'établissement public du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, l'agence de l'eau Loire-Bretagne apporte une vue d'ensemble des enjeux de la gestion intégrée des eaux aux services de l'état et aux usagers de l'eau. Ces contributions sont traduites en programmes d'action permettant de relever les enjeux du bassin en termes d'amélioration de la qualité des eaux. Le dernier programme (le 11ème) est instauré pour la période 2019-2024 et définit ainsi les actions pour l'eau et la biodiversité éligibles aux aides de l'agence de l'eau ainsi que les taux des redevances qui permettent de les financer (Agence de l'eau Loire-bretagne 2018)

L'Agence de l'Eau Loire Bretagne mène le plan Loire Grandeur Nature qui est un plan d'aménagement du bassin de la Loire. Les principaux enjeux du plan Loire consistent à lutter contre les inondations, préserver les milieux naturels, mettre en avant le patrimoine naturel, culturel, touristique et paysager de la Loire et développer et partager la connaissance. Dans le cadre du 10e programme d'intervention, l'agence de l'eau Loire-Bretagne mobilise près de 40 millions d'euros pour le plan Loire IV 2014-2020. Elle finance des actions pour : réduire les conséquences négatives des inondations, préserver les zones humides, favoriser la circulation des poissons migrateurs, contrôler et gérer des espèces exotiques envahissantes, améliorer la connaissance (Agence de l'eau Loire-bretagne 2019).

En parallèle, la Région de Pays de la Loire contribue à la gestion intégrée de la ressource en eau en soutenant les SDAGE et les SAGE ainsi que les Contrat Régional du Bassin Versant « CRBV ». Le CRBV est l'outil permettant de mettre en œuvre les SAGE sous la forme d'un contrat de trois ans. Ils sont approuvés et validés par la CLE et financés par la Région et ils visent à mieux appréhender les spécificités du territoire des SAGES et comporter des actions et opérations pour y parvenir. Ainsi, parmi ses spécificités figurent les taux d'inversions de la région et la fixation des pourcentages d'autofinancement (Région pays de la Loire, 2016). Ceux-ci en font donc un outil d'investissement.

A l'échelle métropolitaine, nous trouvons la direction du cycle de l'eau qui pilote la politique de l'eau du territoire nantais. Elle couvre la totalité du cycle de l'eau : la production et la distribution de l'eau potable, l'assainissement des eaux usées et la gestion des eaux pluviales. Elle a également des compétences dans la gestion des milieux aquatiques et dans la prévention des inondations. Quant à la gestion de l'assainissement, la métropole dispose de 25 stations d'épuration collectives avec de dispositifs d'autosurveillance (Nantes métropole 2019). Les dispositions par rapport à l'assainissement sont incluses dans le Plan Local d'Urbanisme métropolitain.

Par ailleurs, ces dernières années, la question des eaux pluviales a pris une importance croissante dans la région, avec un risque accru d'inondation. La gestion des eaux pluviales consiste à « limiter les surfaces imperméables, qui empêchent l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol et de s'écouler naturellement » (Région pays de la Loire, 2016). À cet égard, le conseil métropolitain met en place des programmes dans le cadre de sa compétence GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations) sur les trois quarts

du territoire. Certaines compétences sont également transférées aux syndicats de bassin versant sur certains secteurs au sud de l'agglomération.

La gestion globale de l'eau inclut la gestion des risques d'inondation. Pour limiter les impacts des eaux de pluie sur les inondations, les acteurs d'eaux se mobilisent autour d'une gestion qui vise à réduire la vulnérabilité du territoire et l'exposition des habitants au risque. La prise en compte des dispositions des plans et programmes de gestion de risque d'inondation est imposée aux documents d'urbanisme. Ils doivent aborder la prévention des inondations au regard de la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau, en application de l'article L.211.1 du code de l'environnement (Agence de l'eau Adour-Garonne 2011). De ce fait, le SDAGE est articulé avec le Plan de Gestion des Risques d'Inondation « PGRI » qui est également défini au niveau du bassin. Le SDAGE comprend des dispositions relatives aux débordements de cours d'eau ainsi que celles sur la connaissance des risques d'inondation ; cependant, des orientations relatives à la réduction de risques n'y sont pas comprises (Services de l'état Loire Atlantique, 2016).

Néanmoins, la gestion des inondations est également intrinsèquement liée à la gestion du territoire, c'est pourquoi les documents d'aménagement en font partie. Ainsi, le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) en tant que document de planification régional et multithématique qui, à travers certains de ses champs d'actions thématiques (gestion économe de l'espace, équilibre et égalité des territoires, énergie, climat, biodiversité...), peut le cas échéant aborder certains enjeux liés à l'eau (CEREMA 2020a)

En outre, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) à travers ses orientations, peut notamment contribuer à l'intégration des enjeux de l'eau. Il est un document d'urbanisme de planification de l'aménagement et de l'organisation spatiale et développement du territoire à l'échelle intercommunale. À Nantes métropole, les eaux pluviales et leur gestion à l'échelle intercommunale sont donc inscrites dans le SCoT du pôle métropolitain Nantes-Saint Nazaire (2017-2030), celles-ci incluent l'identification et cartographie des principaux axes de ruissellement et des secteurs à enjeux, identification de la qualité des eaux superficielles et des aquifères, cartographie des points de pollutions récurrents, identification et cartographie de l'évolution et la localisation des surfaces imperméabilisées, identification de la capacité d'infiltration des sols et des zones de pente, etc.

Concernant les prescriptions opératives, le Plan Local d'Urbanisme permet d'assurer à une échelle pertinente, une meilleure cohérence des principes de gestion des eaux pluviales (CEREMA 2020c). Le PLUm de la métropole nantaise concilie les documents de planification pour la gestion des risques d'inondation tels que le PGRI et le SDAGE, il intègre les principes d'une gestion durable des eaux au sein du territoire. C'est dans le cadre d'une gestion partagée des eaux que le PLUm permet de réaffirmer la place de l'eau dans la planification du développement urbain des 24 communes qui composent la métropole.

Le zonage pluvial et le zonage d'assainissement ont pour objet d'identifier les zones d'assainissement collectif et non collectif, ainsi que les zones et mesures visant à assurer la

maîtrise du débit, de l'écoulement des eaux pluviales et du ruissellement au sein des communes (CEREMA 2019). Ils constituent des vrais leviers mobilisables comme outil de gestion intégrée des pluies. À Nantes métropole, le zonage pluvial définit des dispositions relatives à une approche préventive de gestion d'eaux pluviales pour les futurs projets d'aménagement. Un plan du cycle de l'eau est également disponible dans la documentation. Lors de leur construction.

Enfin, le PLUm approuvé en 2019, fournit une réglementation ambitieuse visant à limiter l'impact des projets urbains sur le régime des eaux. En plus des zonages relatifs à la gestion de l'eau, le PLUm intègre des Orientations d'Aménagement et Programmation sur ce sujet. C'est le cas des OAP Trame Verte Bleue et Paysage relatives à la gestion des zones humides, des milieux aquatiques et de l'eau en ville. Enfin, des fiches et des plaquettes méthodologiques ont été développées afin de faciliter la compréhension des techniques exposés dans les documents ci-dessus. Elles sont également publiées au service d'aménageurs et particuliers qui ont l'intention de construire.

B. Analyse de contenu du Plan d'Aménagement et Développement Durable

i) Résultats de l'analyse quantitative

Résultats de l'analyse linguistique

Mise en scène

Sur la base des catégories verbales du corpus, le discours du PADD est positionné comme « dynamique ». Le texte comprend principalement des verbes factifs (66%). Ceux-ci expriment des dynamiques et actions, p. ex : prendre en compte, se déplacer, couvrir, façonner, privilégier, qualifier, permettre, articuler, agir, décliner, mettre, organiser, maîtriser, etc. Les verbes statifs représentent 20% du contenu, ils expriment des états ou des notions de possession par exemple : être, avoir, reposer, entourer, devenir, bénéficier. Enfin, les verbes déclaratifs représentent 14% des verbes utilisés. Ils expriment une déclaration sur un état, une action, un être, un objet, un sentiment. On y trouve par exemple : pouvoir, falloir, connaître, définir, voir, devoir, considérer.

Dans le PADD, les verbes les plus fréquemment utilisés sont les suivants (classés par nombre d'occurrence) : être (353), devoir (152), permettre (129), agir (108), favoriser (89) pouvoir (79) constituer (63) préserver (58).

En ce qui concerne les substantifs, le logiciel permet d'obtenir une liste de 749 classés par nombre d'occurrences. La forme « territoire » est la plus fréquente (278 occurrences), suivie par développement (263 occurrences), « métropole » (244 occurrences), Loire (206 occurrences) et projet (185 occurrences).

Références

Cette fonction affiche les substantifs (références) utilisés dans le texte, regroupés par classes. Cela nous aide à répondre à la question : sur quoi porte ce texte ? Chaque ligne comporte une référence, précédée d'un compteur indiquant le nombre de mots (occurrences) qu'elle contient. Seules les références significatives sont affichées. Dans le PADD, nous trouvons en fréquences décroissantes les références suivantes : Loire-Atlantique, développement, territoire, métropole, Loire. Nous trouvons par exemple que la première référence « Loire-Atlantique » contient dans son sein les noms des communes, villes et quartiers de la métropole. En revanche, la référence « Loire » fait référence au fleuve, à l'estuaire ou à d'autres éléments géographiques associés à la Loire.

Univers de référence

Les « univers » représentent le contexte des mots utilisés. Dans le texte on a pu distinguer les suivants univers de référence principaux (triés en fréquences décroissantes) : « France », « ville », « lieu », « transport », « habitat », « voie », « eau », « éducation », « commerce ». Ainsi, nous dégagons notre premier résultat face au contexte « eau » qui signifie que dans le PADD, un nombre significatif de mots se trouvent dans ce contexte.

Les éléments de l'analyse linguistique ci-dessus nous confirment la présence d'un discours argumentatif dans le cadre des changements proposés pour les politiques d'aménagement. De même, le discours établit des comparaisons qui justifient certaines décisions au regard de la gestion du territoire. On peut le constater, par exemple, dans les extraits des énoncés qui abordent la décision de limiter l'artificialisation ou la justification de la préservation des espaces naturels.

D'ailleurs, deux tiers des verbes utilisés sont des verbes d'action, ce qui nous amène à déduire que proposition politique du PADD favorise la mise en œuvre, la gestion et l'action de manière transversale. Par conséquent, le discours s'avère dynamique incitant à mobiliser de ressources et d'actions en faveur des objectifs de développement. Enfin, en observant les *univers de référence* et les *références utilisées* dans le texte, la prise en compte de la thématique « eau » devient plus évidente. La présence de mots faisant référence à l'eau et à la Loire, nous montre que cette ressource est un élément majeur dans la dynamique discursive du PADD. On peut donc en déduire que le discours propose une mobilisation d'actions concernant les ressources en eau.

Résultats de l'analyse lexico métrique

Exploitation du matériel

Dans un premier temps, le logiciel exploite une fonction de lemmatisation, qui consiste à établir un lien entre les occurrences (mots) dans un texte et l'entrée correspondante dans un dictionnaire de référence (lemme) (Mellet 2002). Ce traitement regroupe les mots utilisés dans leur forme canonique, voire leur sens premier. La lemmatisation permet de réduire le contenu aux formes lexicales de base lorsqu'un verbe apparaît dans ses différentes

conjugaisons tout au long du texte. Par exemple, les formes « doit », « doivent », « devront », seront réduits à la forme « devoir ». Ainsi, des traitements interactifs peuvent être effectués sur ce lexique construit.

Une deuxième fonction consiste à diviser le texte en unités lexicales qui sont généralement définies par des expressions régulières. Pour ce faire, le logiciel reconnaît un lexème (unité minimale de signification) en tenant compte la ponctuation et aussi un nombre pertinent des mots analysables. Une unité lexicale peut donc être une phrase, un paragraphe, une proposition, etc. En Iramuteq ces unités sont appelées segments du texte. Après avoir mobilisé ces fonctions, le logiciel crée une description de base à partir des unités trouvées, à savoir : le nombre d'occurrences (mots), le nombre de formes (mots après lemmatisation), le nombre de segments de texte (unités), le nombre d'hapax (mots qui n'apparaissent qu'une fois), etc.

Iramuteq applique au résultat des fonctions décrites ci-dessus (lemmatisation, découpage en unités) les méthodes de l'analyse de données multidimensionnelles. Ces méthodes sont fondées sur la distance au sens du Chi2 (analyse factorielle de correspondances, classification hiérarchique) pour mettre en évidence les classes de discours (Fallery et Rodhain 2007). Puis le logiciel recense les mots dans les segments de texte en tenant compte de leurs cooccurrences pour construire les classes. Ensuite, des séparations sont effectuées lors de tests successifs afin de tester la stabilité des résultats. Il convient de noter que lors de ce traitement un certain nombre de segments de texte (et en conséquence de mots) peuvent être non classés. Enfin, la proximité entre les mots est calculée, de sorte que les mots qui sont proches les uns des autres dans le discours seront triés ensemble.

Dans un premier temps, nous avons choisi de procéder à une Classification Hiérarchique Descendante. Selon les fonctions expliquées ci-dessus, cette méthode effectue une analyse cluster qui permet de classer les mots utilisés en fonction de leur distance. En d'autres termes, pour définir les « classes lexicales », cette méthode regroupe les mots qui sont le plus souvent utilisés en proximité. Cette analyse livre un dendrogramme qui représente la partition et une indication de la taille des classes (exprimée en pourcentage du corpus classé) (figure 14).

Les mots contenus dans les segments de texte sont classés selon l'ordre décroissant de leur lien avec la classe. Du corpus du PADD, quatre classes principales ont émergé dans lesquelles on distingue deux groupes principaux, l'un composé des classes 1 et 3 et l'autre des classes 2 et 4. Chaque classe a un profil qui expose les formes (mots) caractéristiques des classes. Le pourcentage représente la taille de la classe, c'est-à-dire, l'effectif des segments de texte de la classe par rapport à l'effectif total de segments de texte.

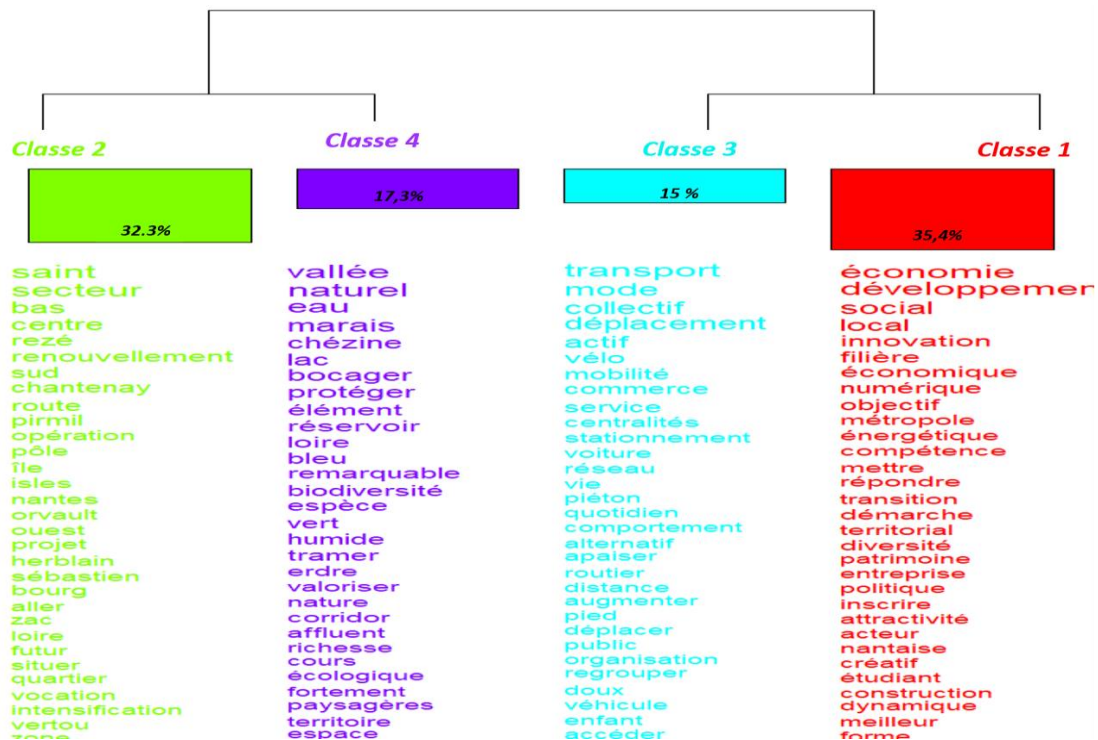


Figure 14 Dendrogramme des classes lexicales (Chavez, 2020)

La classe 1 représente 35.4% du corpus. Cette classe réunit les termes de développement social, développement territorial et en particulier économique. Elle repose autour du lexique économique et commercial, on y trouve par exemple les mots « filière », « innovation », « compétence » et « transition ». Ils n’y manquent pourtant pas, des mots associés à l’identité tels que « patrimoine » et « territorial ». Nous appellerons cette classe « développement ». La classe 3, représente 15% dans la totalité du corpus, elle traite du sujet des déplacements, du transport et des services. Elle sera nommée « mobilité ».

Ces deux classes sont réunies en un grand groupe. On peut donc en déduire qu’elles sont associées car le texte aborde des éléments liés au transport lorsqu’il présente des objectifs visant à relier les centralités urbaines. Le transport étant essentiel pour rapprocher les lieux habitat-travail.

D’autre côté, on trouve un deuxième grand groupe formé par les classes 2 et 4. La classe 2 concerne le 32.3% des segments de texte dans le corpus. Elle mobilise plus de vocabulaire en rapport avec l’espace et à la localisation, composé par des formes telles que : « secteur », « nord », « sud », « bourg », « bas », « centre », « pôle », et des noms propres. Elle évoque aussi des notions de « requalification », du « renouvellement » et « d’intensification ». Elle conforme la classe « spatiale ».

La classe 4 comporte le 17.3% de la totalité des unités analysées dans le corpus, elle implique davantage la « Nature ». Elle est particulièrement liée aux notions telles que « marais », « vallée », « lac », « Loire », « bleu », « cours », etc. Il s’agit essentiellement d’éléments de la

trame verte et bleu portant une grande valeur autour du concept « eau ». Cette classe est intéressante car particulière mais il est d'autant plus intéressant qu'elle renvoie aux notions telles que « fortement », « protéger », « valoriser » et « remarquable ». Nous pouvons donc confirmer que l'environnement lexical autour de l'eau est significativement lié au vocabulaire de la mise en valeur et de la sauvegarde.

ii) Approche qualitative. Résultats de l'analyse sémantique « manuelle »

La lecture de chacune des sections du PADD a donné lieu à une matrice (exemple dans le tableau 12) où nous avons identifié trois éléments : l'unité de signification en ce qui concerne la gestion de l'eau, les citations pour illustrer les unités et les étiquettes qui sont des noyaux de signification qui englobent une idée.

Unités de sens	Citations illustratrices	Étiquettes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conforter le lien « ville-eau » : construire des nouvelles formes d'urbanité autour l'eau ▪ Valorisation du patrimoine fluvial : La Loire et ses affluents comme armature essentiel de l'aménagement métropolitain ▪ Donner accès aux espaces de nature depuis les espaces urbanisés ▪ Intégration du cycle de l'eau et de la gestion alternative des eaux pluviales aux actions d'aménagement et de planification ▪ Prise en compte de la gestion de risques pour répondre aux enjeux de qualité de vie ▪ Limitation de la consommation foncière ☐ le développement urbain doit s'effectuer uniquement dans le tissu existant ▪ Mobilisation dans la recherche des possibilités constructibles ou à renouveler ; ▪ Maîtrise d'extensions urbaines ; ▪ Limitation le développement des hameaux 	<p>« ...conforter ce lien avec la présence de l'eau et des vallées... » p.68</p> <p>« L'objectif est de rendre davantage lisibles, complémentaires et cohérents les différents aspects du patrimoine de la métropole nantaise (patrimoine architectural et archéologique, patrimoine végétal et paysager, patrimoine industriel et portuaire, patrimoine fluvial et maritime) » p.69</p> <p>« Préserver les fonctions écologiques des espaces naturels dont celle de la vallée de la Loire et des vallées attenantes et organiser des accès respectueux de la sensibilité de ces espaces » p.71</p> <p>« Il s'agit de renouveler notre approche de l'urbanisme pour intégrer le climat, l'énergie, le cycle de l'eau et la gestion alternative des eaux pluviales... » p.18</p> <p>« Une attention particulière sera portée à la prévention du risque d'inondation dans les projets d'aménagement de construction. » p75</p>	<p>Relation ville-eau</p> <p>Patrimoine fluvial</p> <p>Loire</p> <p>Accès aux espaces de nature</p> <p>Cycle de l'eau</p> <p>Gestion des eaux pluviales</p> <p>Gestion de risques</p> <p>Qualité de vie</p> <p>Limitation de la consommation foncière</p> <p>Maîtrise d'extensions urbaines</p>

Tableau 12 Résultat de la révision manuelle de la section "Sens et valeurs du PADD" issue de l'analyse sémantique. (Chavez,2020)

Grille de catégories

La démarche inductive mène à une réduction des données en créant un nombre restreint de catégories afin que le chercheur puisse avoir une vue générale des aspects clés qui ont été identifiés dans les données brutes (Paindorge et al. 2016). C'est pourquoi nous avons regroupé les éléments sémantiques (étiquettes proches ou semblables) retenus lors de

l'analyse « manuelle », en catégories conceptuelles. La grille ci-dessous renseigne les catégories à partir des étiquettes issues de la réduction des unités de sens identifiés.

<i>Etiquettes ressemblées</i>	<i>Première catégorisation sémantique</i>
Maîtrise de l'étalement urbain ; Limitation de la consommation d'espaces ; Densification urbaine ; Rénovation du bâtiment ; desimpermeabilisation	<i>Densification urbaine</i>
Paysage ; Cadre de vie ; Qualité de vie ; Identité, patrimoine ; Vulnérabilité	<i>Cadre de vie</i>
Nature en ville ; Espaces naturels (préservation, accès) ; Parcs ; Jardins ; Végétalisation ; Agriculture / ferme urbaine ; Trame verte et bleue ; Préservation des fonctions écologiques	<i>Biodiversité</i>
Eau ; Loire ; Risque d'inondation (prévention, gestion) ; Qualité de l'eau ; Cours d'eau ; Milieux aquatiques ; Milieux humides ; Ruissellement ; Régulation hydrique ; Cycle de l'eau ; Infiltration ; Patrimoine fluvial ; Reconquête de cours d'eau ; Relation ville-eau ; Gestion des eaux pluviales	<i>Gestion de l'eau</i>
Politiques publiques ; Management environnemental	<i>Gouvernance</i>

Tableau 13 Grille de catégories sémantiques issues de l'analyse sémantique

iii) Analyse croisée

Après ces deux premières phases d'analyse de contenu (quantitative et qualitative) commence l'analyse croisée pour raffiner les catégories.

D'une part, nous avons effectué une analyse quantitative à l'aide des logiciels ce qui confère aux résultats un caractère plus « objectif », cependant la méthode est entièrement statistique et n'opère pas sur le sens des mots. D'autre part, nous avons également réalisé une analyse qualitative dans laquelle « l'objectif n'est pas seulement de rechercher certains contenus dans un corpus, mais aussi de trouver la signification que ces contenus ont dans le contexte » (Diaz Herrera, 2018). Toutefois, une analyse manuelle basée sur l'expertise du chercheur risque de présenter des points de vue contradictoires ou des omissions de certaines perspectives lors la création des catégories.

Du fait de diminuer ces disparités, les résultats obtenus précédemment peuvent être utilisés de manière complémentaire pour fournir une description de classes plus pertinente. Il s'agit d'un travail de mise en relation qui peut nous mener d'effectuer des changements, par exemple : créer des nouvelles catégories, élargir le sens d'une catégorie existante, réduire les catégories redondantes ou similaires, combiner catégories de signification similaire ou questionner la pertinence d'autres catégories proposées (Kivits et Houbre, 2010). De nouvelles opérations, combinant les informations issues des premiers traitements ont été envisagées.

Le tableau ci-après illustre une des récapitulations des traitements complémentaires faits dans l'observation de la classe lexicale 4 issue de l'analyse lexico métrique.

Traitement complémentaire Iramuteq	Traitement complémentaire Tropes	Traitement complémentaire Manuelle
-Graphe de similitudes pour dégager les relations les plus importantes entre les formes de la classe lexicale 3 « Nature » (Figure 15)	- Graphes d'aires pour évaluer la proportion et proximité autour les termes « eau » (Figure 16) -Graphes étoilés pour afficher l'environnement lexical de la forme « Risque » « et Inondation » » (Figure 17) -Graphe de répartition chronologique « d'inondation » et du « risque » (Figure 18)	- Repérage sur la liste d'étiquettes créée au cours de l'analyse individuelle tant que référence pour chercher des formes sur Tropes

Tableau 14 Récapitulations des traitements complémentaires lors de la révision croisée de la classe lexicale 4

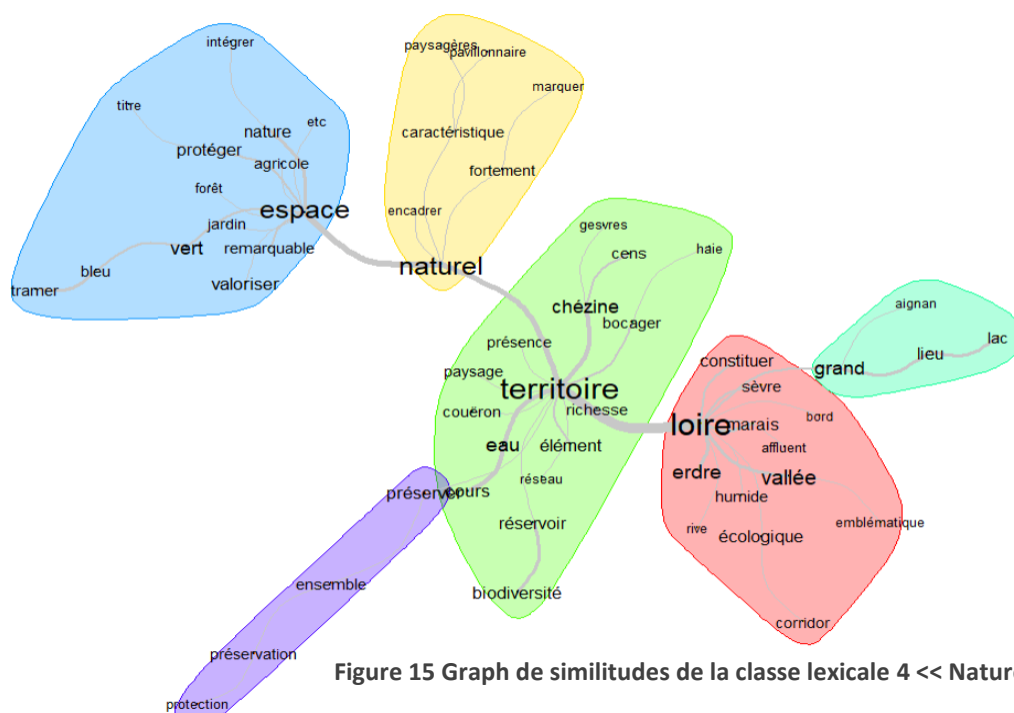


Figure 15 Graph de similitudes de la classe lexicale 4 « Nature »

L'analyse de similitudes fait ressortir quatre groupes principaux. D'un côté, nous voyons les nœuds « espace » et « naturel » qui sont interconnectés. Ils regroupent la plupart des étiquettes données à la catégorie « Biodiversité », on peut y voir : « trame verte et bleue », « Jardins », « forêt », « agriculture », y compris les principaux « espace » et « naturel ».

D'autant plus intéressant sont les verbes contenus dans ces regroupements : protéger, valoriser, encadrer, etc. de types factifs presque dans sa totalité. On trouve que des adjectifs tels que « caractéristique », « pavillonnaire » et adverbess comme « fortement » sont aussi présents. D'ailleurs, le terme de biodiversité s'écarte de ce regroupement.

Nous constatons un rassemblement des formes fortement liées à l'eau et à la biodiversité. Tout d'abord nous observons des verbes factifs : préserver, protéger et constituer. Concernant à l'eau, dans sa proximité ressortent les formes suivantes : cours, eau, réseau, bord, humide, marais, affluent, rive. Aussi les noms des milieux aquatiques emblématiques des territoires : Chézine, Loire, Erdre, Lac de Grandlieu, Ces, Sèvre, Gesvres. Concernant à la biodiversité : paysage, réservoir, écologique, corridor, richesse, biodiversité. Et d'autres noms concernant le patrimoine dont : territoire, richesse, présence, élément, emblématique, ensemble.

Nonobstant, nous remarquons une absence inattendue de mise en avant des termes autour du risque d'inondation alors que l'analyse sémantique en indiquait comme très importantes. Cela appelle à nouveaux traitements sur la forme « eau ».

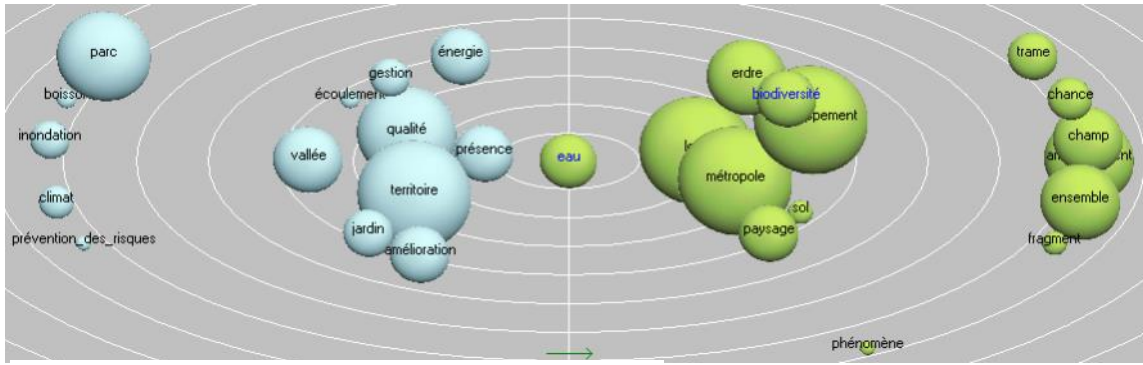


Figure 16 Graphes d'aires appliqué à la référence << Eau >>

Le graphe d'aires représente les mots par une sphère dont la surface est proportionnelle au nombre de mots qu'elle contient. La distance entre la référence centrale et les autres références est proportionnelle au nombre de relations qui les lient. Les références affichées à gauche de la classe centrale sont ses prédécesseurs, celles qui sont affichées à sa droite sont ses successeurs. On constate que l'environnement du mot « eau » est constitué par toute une série des références. D'abord, les formes utilisées le plus à proximité correspondent aux formes repérées par les logiciels avec un grand nombre d'occurrences, telles que : Loire, métropole, territoire et développement. Les termes utilisés en aval sont ceux liés à la gestion environnementale : biodiversité, trame, aménagement, paysage. Tandis que les termes en amont correspondent à ceux liés à la gestion particulière de l'eau, dont qualité, présence, amélioration, cycle (caché par la sphère territoire) et écoulement. Il est intéressant de noter que les formes « inondation », « prévention des risques », « parc », bien que présentes, sont assez écartées du terme.

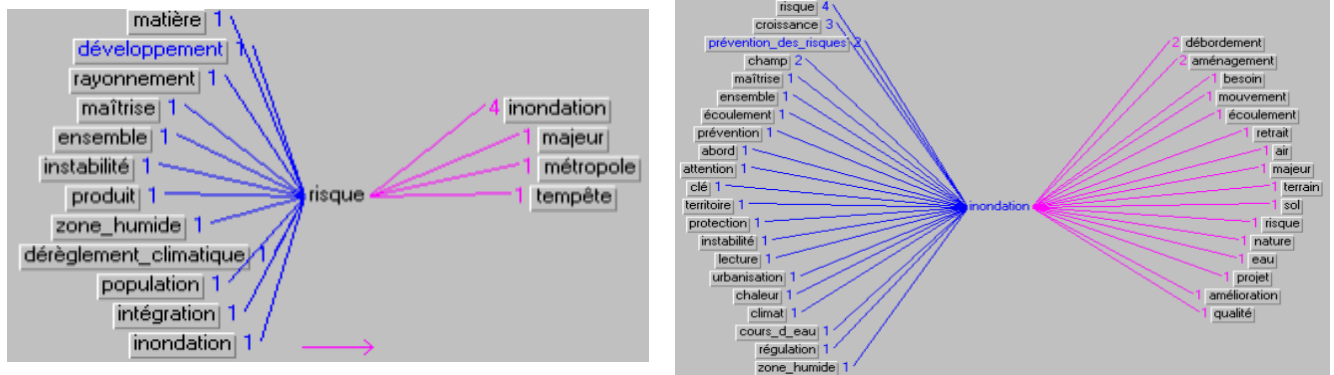


Figure 17 Graphs étoilés des relations lexicales des références « Risque » et « Inondation »

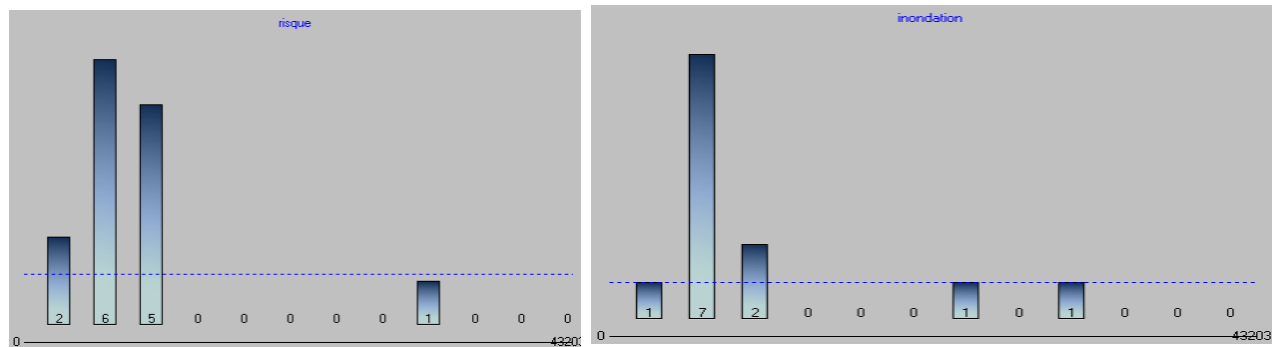


Figure 18 Graphe de répartition chronologique « d'inondation » et du « risque »

D'abord, on aperçoit que la référence « risque » est principalement associée aux inondations par rapport à d'autres risques. Quant à « Inondation » elle est reliée aux formes reflétant la maîtrise du risque. Néanmoins, ces deux formes sont absentes dans les références significatives. Cela s'explique par le principe de fonctionnement des logiciels : le calcul de la fréquence statistique est fait en fonction de l'apparition du mot tout au long le texte. De même l'interrelation avec toutes les autres références est prise en compte. Nous pouvons le confirmer avec l'apparition chronologique des formes. Les deux termes ont une forte présence dans les premières sections du texte. Ces sections correspondent aux sens et valeurs du projet et aux orientations en matière d'environnement. Ensuite, son apparition diminue considérablement.

Description des axes thématiques définitifs

Nous avons donc étudié le fond et la forme du PADD au regard de gestion de l'eau. Ainsi, nous avons obtenu un double résultat : le raffinement des catégories sémantiques fondé sur des statistiques textuelles et l'extraction des sujets de notre intérêt au sein des classes lexicales. Dans la figure 15 on peut illustrer la correspondance ressortissante entre catégories sémantiques et classes lexicales.

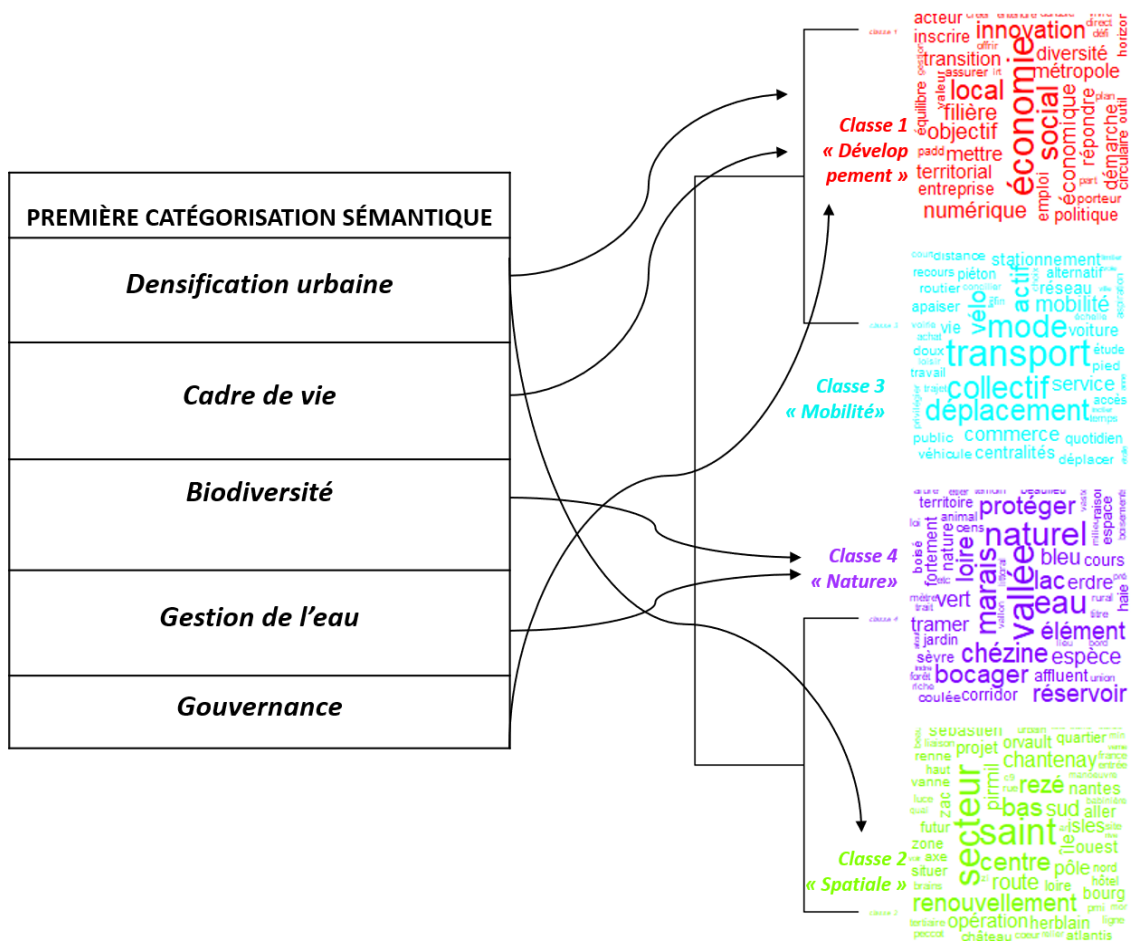


Figure 19 Résultat du recoupage de l'analyse sémantique et l'analyse lexico-métrique

Le contenu de l'analyse sémantique a été privilégié car c'est là que nous avons pu sélectionner directement les thèmes liés à la gestion de l'eau et lui donner une première interprétation du sens. Cependant, lorsque les catégories sémantiques se recourent avec les relevés lexicométrique et linguistique, nous constatons que certains ajustements sont possibles en termes de regroupement. Par exemple, certaines étiquettes doivent être déplacées/dupliquées entre les catégories, d'autres doivent être renommées car des synonymes sont souvent utilisés à la place. Alors que certaines devraient être supprimées parce qu'elles ne sont pas lexicalement significatives dans le texte. Il est également nécessaire de renommer certaines catégories en fonction de l'importance accordée par le PADD à certains sujets. Ainsi, plusieurs thématiques de gestion de l'eau ont été retenues et positionnées sur quatre axes (figure 20).

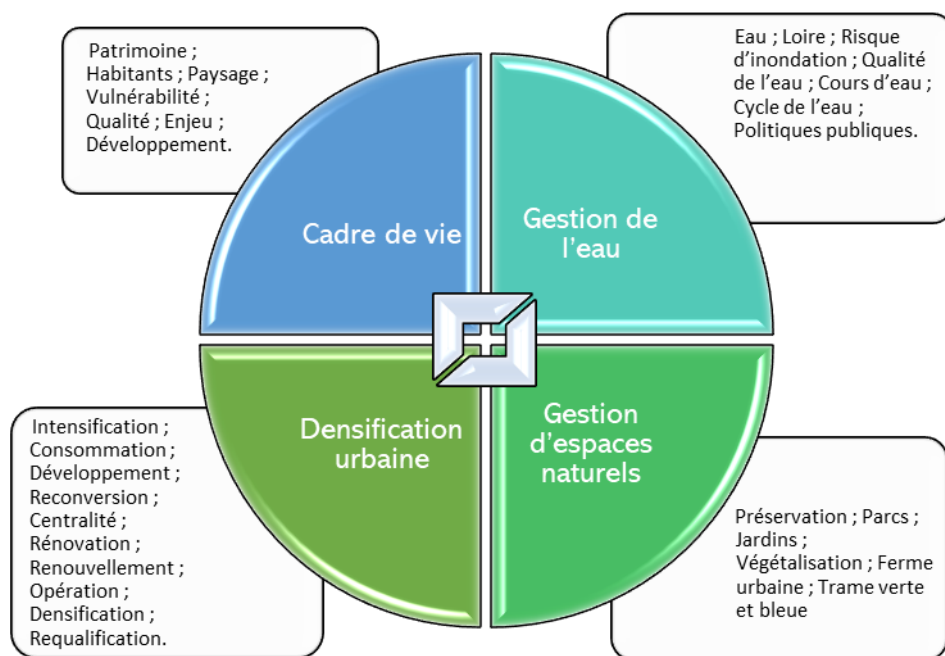


Figure 20 Axes thématiques vis-à-vis la gestion de l'eau ressortis de l'analyse de contenu du PADD (Chavez,2020)

Cadre de vie

Le projet rend explicite le besoin de valorisation du patrimoine fluvial. La Loire et ses affluents constituent une armature essentielle de l'aménagement métropolitain. En raison de la relation étroite du développement historique et l'eau, la ville reconnaît cette ressource comme un élément d'identité ; le PADD insiste sur le rapprochement de la relation ville-nature.

Pour le PADD, l'intention est de tirer profit de cette relation pour intégrer le cycle de l'eau dans les projets d'aménagement. Lorsque le patrimoine hydrologique est reconnu comme patrimoine culturel, social et paysager, une plus grande acceptation de la présence de l'eau dans les aménagements est envisageable. Le projet préconise la prise en compte de la

vulnérabilité des biens et d'habitants dans le processus de développement urbaine pour réduire l'exposition de la population aux risques. Cela fournira aux habitants à la fois un cadre de vie et paysager sûr et de qualité et une protection contre le risque naturel d'inondation.

Densification urbaine et Renouveaulement du bâtiment et d'habitat

La maîtrise de l'étalement urbain est l'un des principaux objectifs du projet national et régional. En cohérence avec le SCOT, le PADD incite le développement urbain à s'effectuer uniquement dans le tissu existant afin de réduire la consommation foncière. Pour atteindre les objectifs, l'imperméabilisation des sols sera fortement restreinte. Les collectivités devront donc mobiliser la recherche des possibilités constructibles au sein des espaces déjà construits. A cet égard, des opérations de reconversion de rénovation, requalification sont proposés pour parvenir à l'intensification d'occupation des centralités et centralités à devenir.

Or, la densification totale peut être contreproductive pour la gestion de l'eau en raison de l'artificialisation et l'imperméabilisation potentielle de zones d'infiltration ou de ruissellement. Ainsi, le développement urbain se trouve dans un contexte d'injonction à la densification tandis que les tentatives sont davantage orientées vers l'insertion de la trame verte et bleue dans les espaces urbains. Toutefois les projets de renouvellement et de densification de l'habitat peuvent devenir des facilitateurs de l'intégration du cycle de l'eau dans la ville.

Les solutions fondées sur la nature tels que les toits végétalisés, fermes urbaines, jardins d'eau, etc. sont des exemples clé pour une maîtrise réussie du risque d'inondations. Un examen approfondi des règles du PLUm nous donnera une lecture critique de la façon dont le processus de densification est considéré lors de la mise en œuvre de la gestion de l'eau.

Gestion de l'eau

Nantes métropole est un territoire en eau fortement marqué par la présence de la Loire et ses affluents, la volonté d'intégrer le cycle de l'eau aux actions d'aménagement est exprimée dans le projet métropolitain. Dans le PADD nous constatons des tentatives qui visent à limiter les impacts développement urbain sur le régime hydraulique des cours d'eau. L'urbanisation n'est pas comprise comme un élément exogène au cycle de l'eau, qui doit se protéger de ses effets parfois inattendus. A cet égard, les projets d'aménagement devront à la fois contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux superficielles et souterraines et à prévenir le risque d'inondation. L'espace urbain doit être donc concilié comme un participant actif qui doit s'adapter aux mécanismes naturels du cycle de l'eau pour répondre aux enjeux de qualité de vie.

Une attention particulière est portée à la gestion du risque d'inondation dans des parties clés du PADD : valeurs et sens du projet ; orientations thématiques en matière d'environnement ; orientations spatiales ainsi que dans les actions de développement résidentiel et économique. Les zonages pluvial et d'assainissement, d'ailleurs complémentaires, sont proposés dans le cadre gestion intégré du cycle de l'eau.

D'une part, le zonage pluvial priorise la gestion de l'eau à la source, souhaitant développer des techniques alternatives en sortant de la logique « tout tuyau ». La régulation hydraulique souhaitée est obtenue en favorisant la libre circulation de l'eau et l'infiltration de l'eau dans la parcelle. Dans cette logique, les actions de désimperméabilisation - rappelant l'axe « Densification urbaine » - joueront un rôle clé dans la réduction des effets du ruissellement. Pour sa part, le zonage d'assainissement vise à limiter les extensions de réseaux d'eaux usées.

Gestion d'espaces naturels

Il s'agit d'une des thématiques les plus transversales dans PADD. On y retrouve les propositions de préservation et développement d'espaces de nature en ville au profit des habitants. Les orientations proposent recentrer davantage la symbiose ville – nature. De ce fait, il faudra s'appuyer sur la trame verte et bleue afin de mieux valoriser sa diversité des fonctions écologiques. Le PADD exprime qu' « Il est donc essentiel de la protéger de toute artificialisation et de la valoriser en lui donnant toute sa place en ville ».

Cela conduira à la construction de nouvelles formes d'urbanité autour de l'eau qui doivent aborder des questions liées à la réduction de l'exposition aux risques d'inondation. Les éléments ci-dessus en font une proposition de gestion focalisée sur la maîtrise du risque d'inondation qui bénéficiera le cadre de vie des habitants. Ces éléments exposés nous renvoient vers les thématiques « Cadre de vie » et « Densification urbaine ». Ainsi, les espaces verts, les cours d'eau et les plans d'eau joueront un rôle fondamental dans le cadre de la gestion des eaux de pluie. Notamment dans la contribution à la mise œuvre des mesures d'infiltration d'eau à la parcelle, telles que des espaces végétalisés, des îlots de ressourcement, des jardins d'eau ou des fermes urbaines.

L'analyse du Plan d'Aménagement et Développement Durable constitue la première partie du protocole d'analyse de règles proposée dans le cadre de ce stage. Nous avons tenté de définir des grands axes thématiques au regard de la gestion de l'eau conçus dans le PADD. Les ambitions du PADD en matière de gestion de l'environnement et de l'eau sont traduites en règles dans les documents PLUm : le plan de zonage, le règlement, les orientations thématiques et sectorielles, le plan thématique sur le cycle de l'eau, le zonage pluvial et le zonage d'assainissement. À un stade ultérieur, nous pouvons essayer de déterminer si ces normes sont pertinentes pour réaliser les ambitions du PADD en matière de gestion de l'eau, qui sont incarnées dans les axes thématiques qui ont émergé de l'analyse.

Un autre type d'analyse fait partie du protocole proposé. L'analyse suivante implique une évaluation technique qui vise, d'une part, à intégrer les résultats de l'analyse réglementaire dans la phase de modélisation. D'autre part, il vise à identifier les dispositions qui peuvent être mobilisées pour la gestion de l'eau. Sur la base de cette méthodologie, nous pourrions proposer, à long terme, une méthode d'analyse des documents d'urbanisme au regard de la gestion de l'eau.

C. ANALYSE MULTICRITERE

- i) Détermination des zones à enjeux. Sensibilité du territoire aux phénomènes pluvieux (caractéristiques physiques)

La première phase de cette partie consistait à déterminer les zones à enjeux pour la gestion de l'eau en fonction des critères physiques choisis. A partir des cartes base créées pour la zone d'étude représentant chacun des critères, nous avons créé des cartes rasters représentant les valeurs de sensibilité attribuées aux critères lors de l'évaluation (méthodologie partie C. section 1).

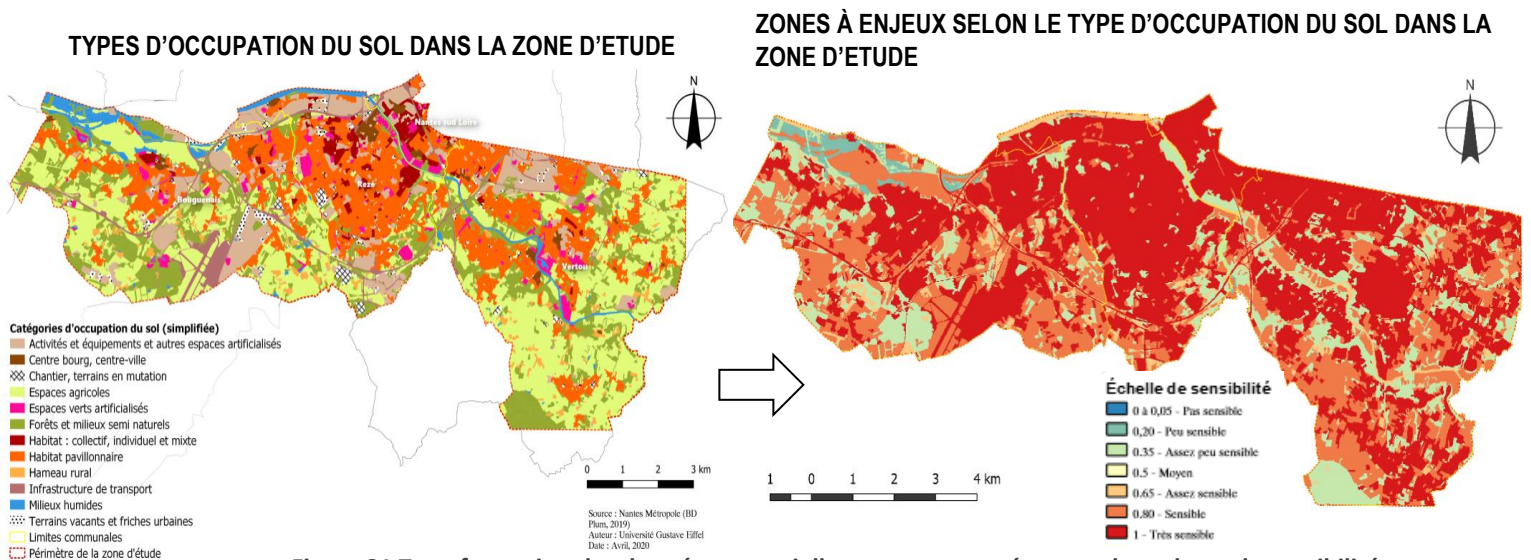


Figure 21 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de sensibilité aux phénomènes pluvieux des types d'occupation du sol dans la zone d'étude (Chavez, 2020)

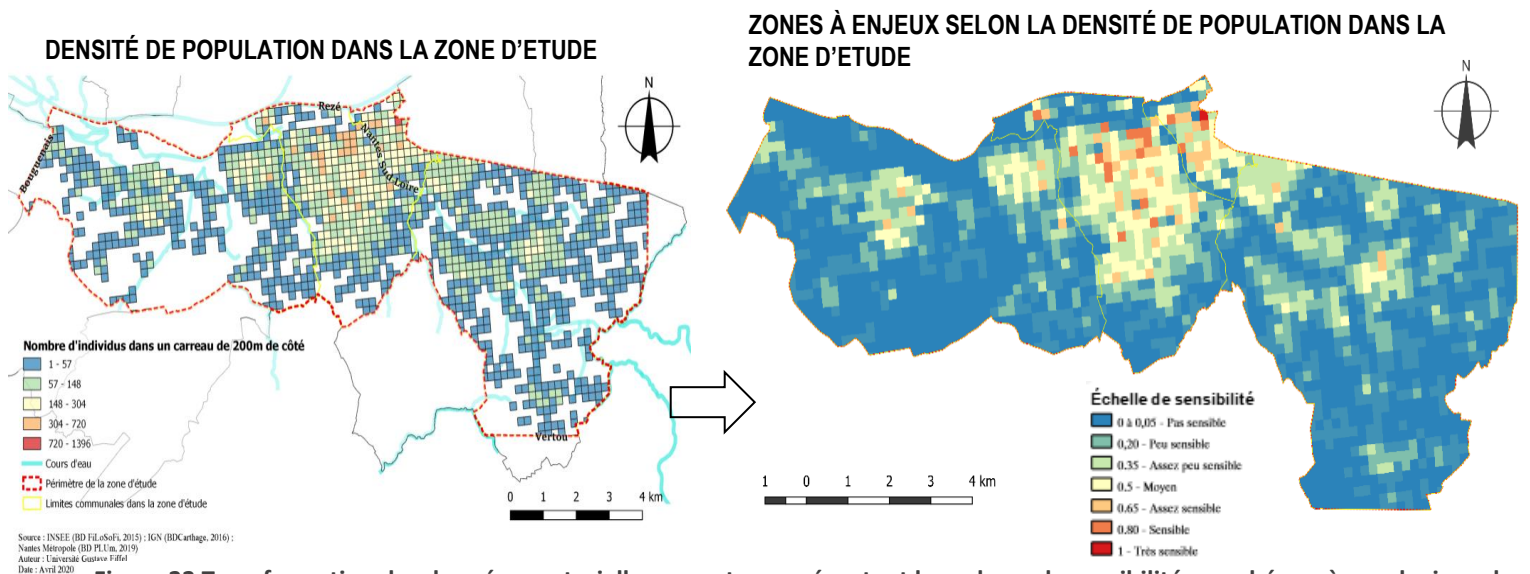
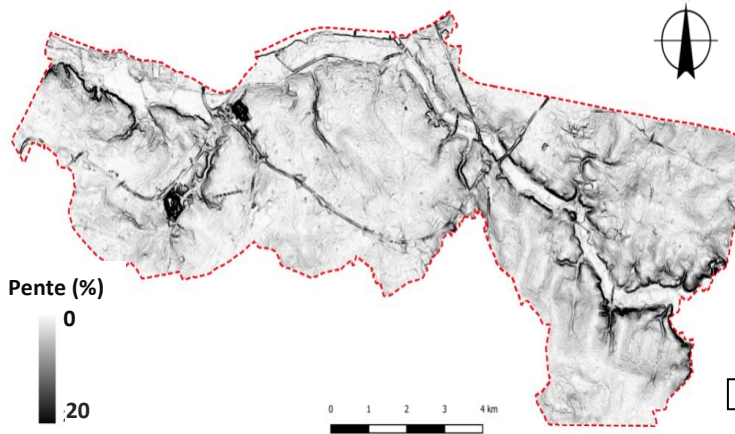


Figure 22 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de sensibilité aux phénomènes pluvieux de la zone d'étude en fonction de la densité de la population (Chavez, 2020)

REPRESENTATION DE LA PENTE DANS LA ZONE D'ETUDE



ZONES À ENJEUX SELON LA PENTE DANS LA ZONE D'ETUDE

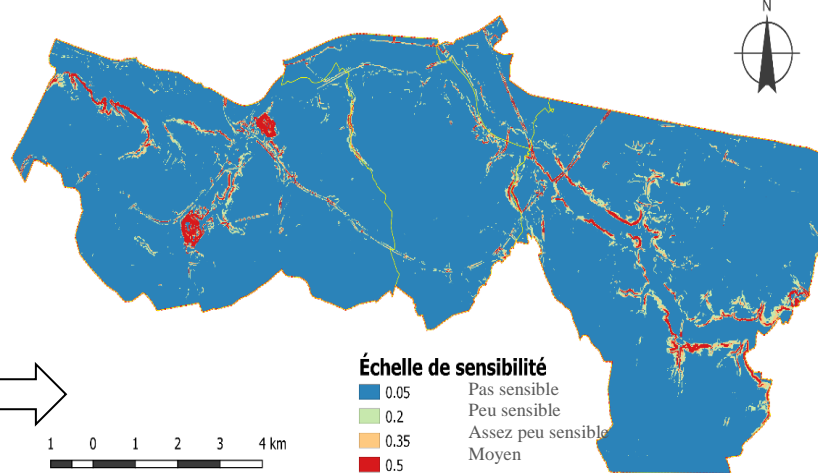


Figure 39 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de sensibilité aux phénomènes pluvieux de la zone d'étude en fonction de la pente (Chavez, 2020)

Nous avons obtenu trois cartes rasters qui représentent la sensibilité de la zone d'étude aux phénomènes pluvieux selon chacun des critères territoriaux choisis. Ainsi, plus la valeur est proche de 0 (bleu), moins il existe d'enjeux dans cette zone et une intervention pour la gestion des eaux de pluie sera moins nécessaire. Lorsque la valeur se rapproche de 1 (rouge), la zone présente davantage d'enjeux. Elle sera donc plus sensible et nécessitera la mise en place de techniques de gestion de l'eau appropriées.

Application de méthode Saaty pour établir les poids relatifs pour le groupe de critères sur la sensibilité du territoire aux phénomènes pluvieux

Les critères précédents ont été agrégés au moyen d'une somme raster à l'aide d'un SIG. Au cours du traitement, un poids leur a été attribué en fonction de l'importance pondérée évaluée par les spécialistes (méthode Saaty). Le résultat représente les zones à enjeux dans le territoire sur la base de ces trois critères agrégés (carte de la figure 24).

Sur cette carte, nous pouvons constater que, la fraction de la commune de Nantes incluse dans le périmètre d'étude et la commune de Rezé sont les communes davantage sensibles aux phénomènes pluvieux. Néanmoins, les communes de Bouguenais et Vertou présentent également des zones de sensibilité moyenne et basse.

Pour sa part, la commune de Bouguenais contient le moins de zones sensibles à l'exception des deux zones dans le nord et dans le sud qui correspondent au type d'occupation de sol « carrières, sablières » et qu'en raison des caractéristiques de pente, sont ressorties comme des zones sensibles. Enfin, les zones de moyenne et haute sensibilité dans la commune de Vertou sont réparties dans le territoire, où les zones moins sensibles correspondent à l'occupation agricole et naturelle. En général, les zones plus sensibles dans la carte

correspondent aux secteurs d'habitat (centre-bourg, habitat pavillonnaire) et donc à territoires qui ont un taux d'imperméabilisation plus important par rapport aux autres

ZONES A ENJEUX (CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES). SENSIBILITE DES ZONES AUX PHENOMENES PLUVIEUX

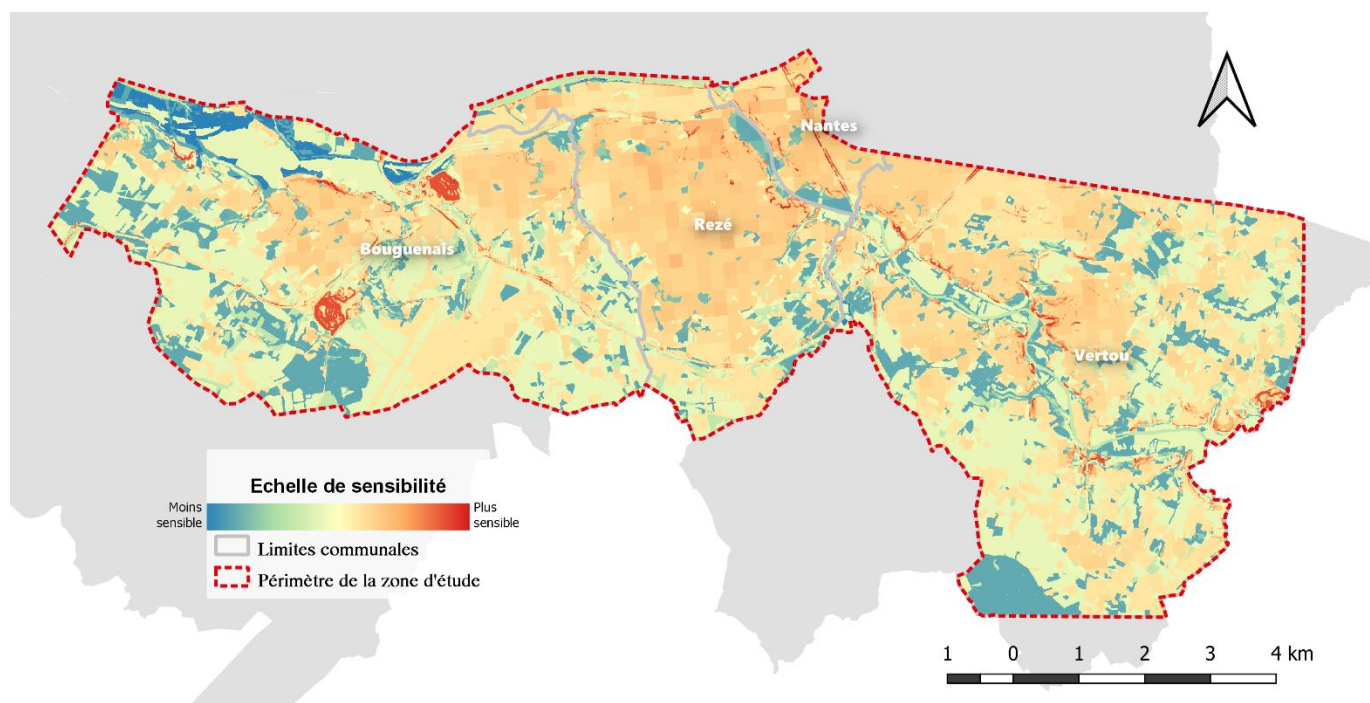


Figure 24 Carte de la représentation de la sensibilité de la zone d'étude aux phénomènes pluvieux en fonction des critères étudiés (Chavez, 2020)

communes de la zone. Ces paramètres accroissent la sensibilité dans la zone.

ii) Détermination des freins et leviers

Analyse de la potentialité offerte par les règles du PLUm. Zonage pluvial, zonage d'assainissement et zones à risque d'inondation par ruissellement.

La deuxième phase de cette partie consistait à déterminer les potentialités offertes par le règlement au regard la gestion de l'eau. A partir des données de la métropole, nous avons créé des cartes pour la zone d'étude représentant chacun des zonages. Ensuite nous avons créé des cartes rasters représentant les valeurs des niveaux de contraintes attribuées aux critères (zonages) lors de l'évaluation (méthodologie partie C. section 2.1)

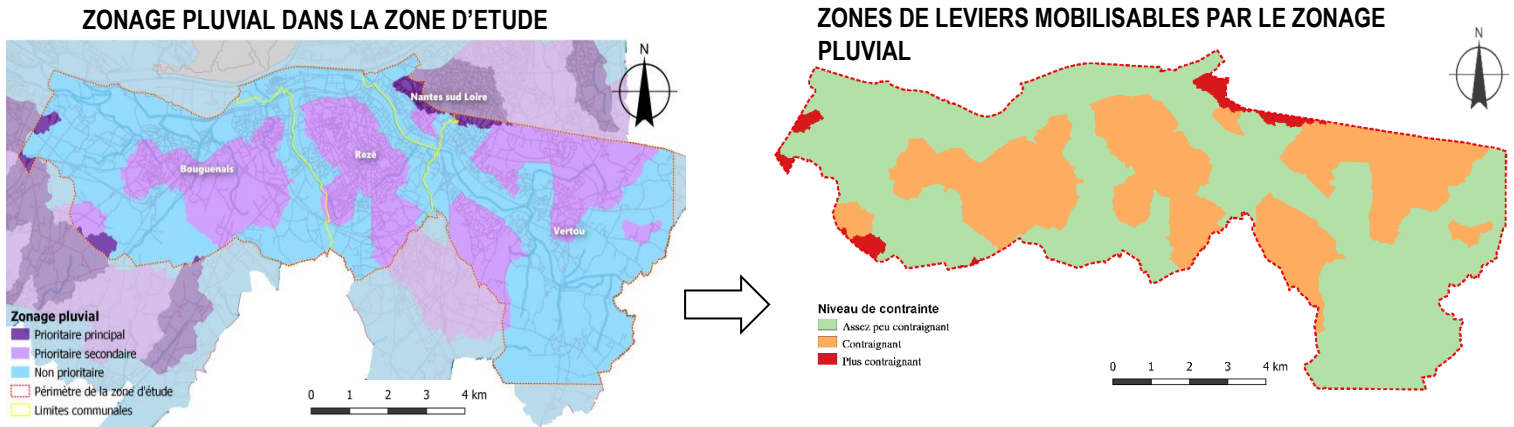


Figure 25 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de niveau de contrainte du zonage pluvial (Chavez, 2020)

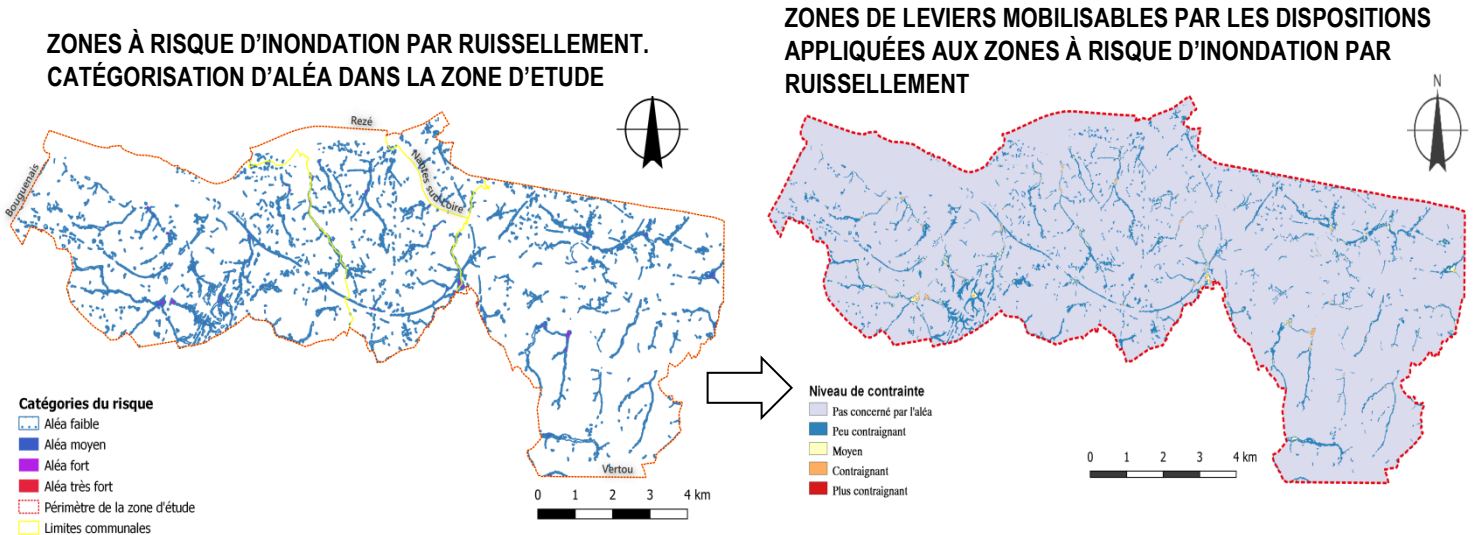


Figure 26 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de niveau de contrainte des dispositions appliquées aux zones soumises au risque d'inondation par ruissellement (Chavez, 2020)

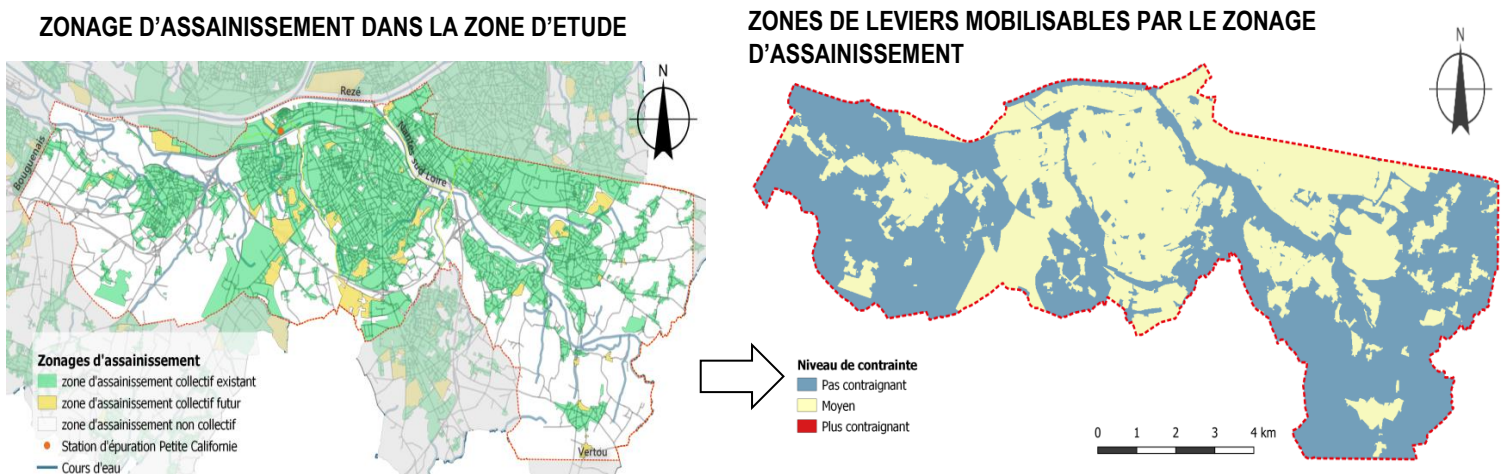


Figure 27 Transformation des données vectorielles en raster représentant les valeurs de niveau de contrainte du zonage d'assainissement (Chavez, 2020)

Dans ce groupe, les valeurs de sensibilité attribuées aux critères reflètent la possibilité offerte par chacune des réglementations retenues au regard de la gestion des eaux pluviales. Ainsi, lorsque les valeurs sont proches de 0 (bleu/gris), les dispositions établies par les zonages seront moins contraignantes en fonction enjeux abordés par les zonages (ruissellement, drainage, limite de débit). En revanche, lorsque les zones seront proches de 1 (rouge), nous nous retrouverons en présence de dispositions plus contraignantes visant une gestion plus efficace, comme par exemple l'exigence de l'infiltration de l'eau à la source.

Application de la méthode Saaty pour établir les poids relatifs pour le groupe de critères sur la capacité potentielle offerte par les règles du PLUM

Les critères précédents ont été agrégés en une seule carte raster afin de révéler les zones où existent des freins et des leviers réglementaires. Tout comme pour le groupe de caractéristiques physiques, le traitement consiste à faire une somme des rasters et à multiplier chacun d'entre eux par le poids attribué par les experts via l'AHP. Le résultat est présenté dans la carte ci-dessous.

ZONES QUI DISPOSENT DES LEVIERS MOBILISABLES PAR LES ZONAGES DU PLUM (ZONAGES PLUVIAL ; ZONAGE D'ASSAINISSEMENT ; DISPOSITIONS POUR LES ZONES À RISQUE D'INONDATION PAR RUISSellement)

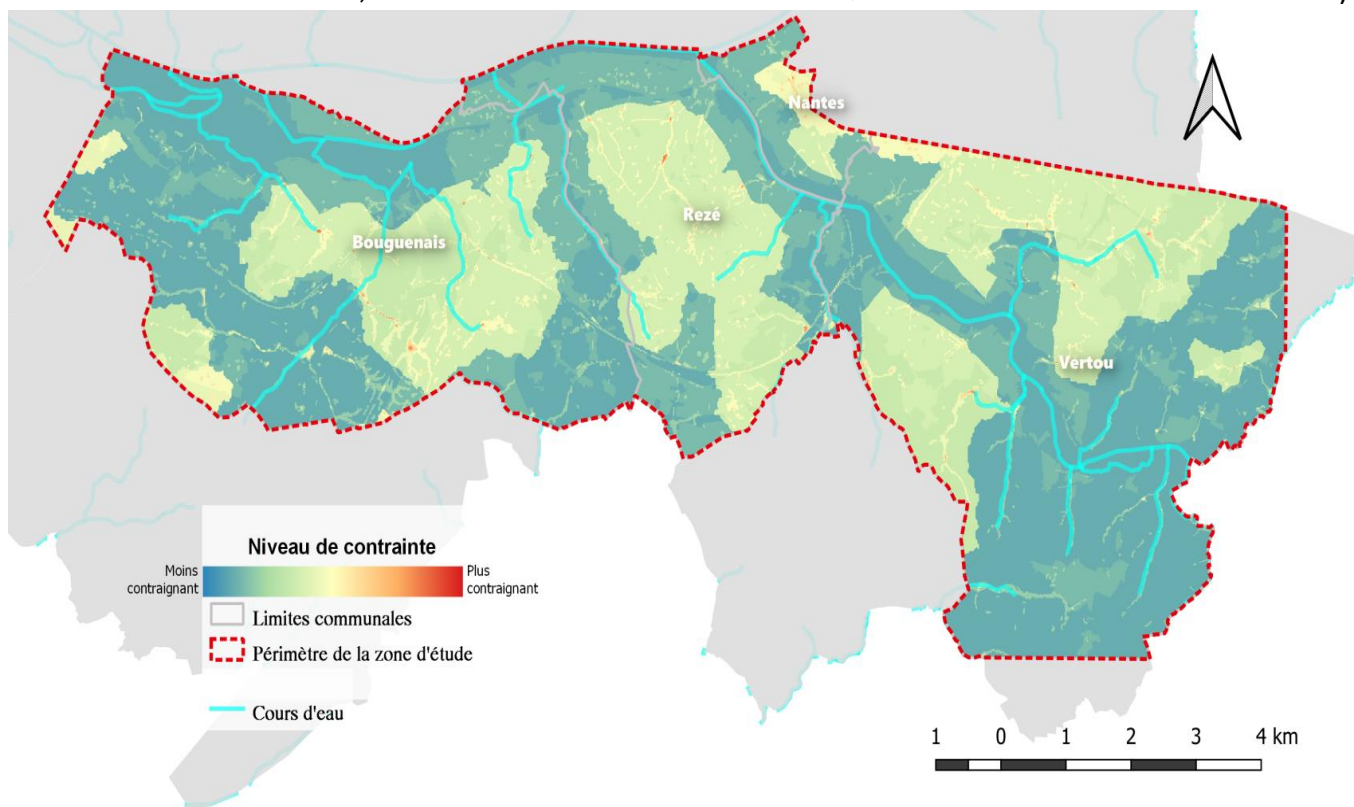


Figure 28 Carte de la représentation des freins et leviers dans la zon d'étude en fonction des zonages révisés (Chavez, 2020)

Cette carte représente les niveaux de contraintes pour la mise en œuvre des techniques alternatives de gestion de l'eau selon les dispositions des zonages du PLUm. Les valeurs proches de bleu représentent les zones où les dispositions sont moins restrictives tandis que les zones en jaune et rouge sont celles où les zonages portent des dispositions plus strictes. Nous constatons qu'en général, les dispositions moyennement et fortement restrictives (vert, jaune et rouge) visent leur application aux centres des communes. Le zonage pluvial identifie ces zones comme « prioritaires secondaires » (où les bassins versants pouvant générer des ruissellements vers des secteurs à forts enjeux). Ici, nous trouvons également des zones d'aléa moyen à fort identifiées par les zones soumises à risque d'inondation par ruissellement.

Le zonage d'assainissement a eu un impact mineur dans les résultats car nous sommes en présence seulement de « collectif séparatif » et « non collectif » qui ont les deux des poids plus faibles en raison d'un mineur risque pour la gestion de l'eau. Enfin, nous trouvons les zones auxquelles sont appliquées des dispositions qui nous permettront de mobiliser des techniques alternatives de gestion de l'eau. Ces zones identifiées comme leviers seront complémentées par les zones mises en exergue par l'analyse du règlement du PLUm expliqué dans la partie suivante.

*Analyse de la capacité potentielle offerte par les règles du PLUm. Règlement du PLUm.
Coefficient de Biotope par Surface par zones du plan du zonage du PLUm*

L'analyse de la capacité potentielle offerte par les règles du PLUm a été divisée en deux sous-parties. La première, qui a été présentée précédemment, concernait une évaluation des zonages du PLUm relatifs à la gestion de l'eau. En parallèle, nous avons réalisé une révision approfondie du règlement du PLUm où nous avons repéré les dispositions qui peuvent directement ou indirectement avoir un impact sur la mise en place des techniques de gestion de l'eau (tableau des dispositions et règles en annexes). En raison de la complexité des règles, nous avons restreint l'analyse et nous sommes concentrés sur le Coefficient de Biotope par Surface (partie C section 2.1 de la méthode). Nous avons choisi ce critère en raison de son importance dans le maintien de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables favorables à l'infiltration de l'eau de pluie à la source. Ce coefficient peut intégrer d'autres éléments liés à la gestion de l'eau de pluie.

Ainsi, nous avons affecté les zones urbanisées (U) ou les zones à urbaniser (AU) du le plan de zonage PLUm (carte de la figure 29) avec les valeurs attribuées lors d'évaluation des dispositions relatives au CBS.

Plan de zonage dans le périmètre de la zone d'étude - Plan Local d'Urbanisme de Nantes Métropole

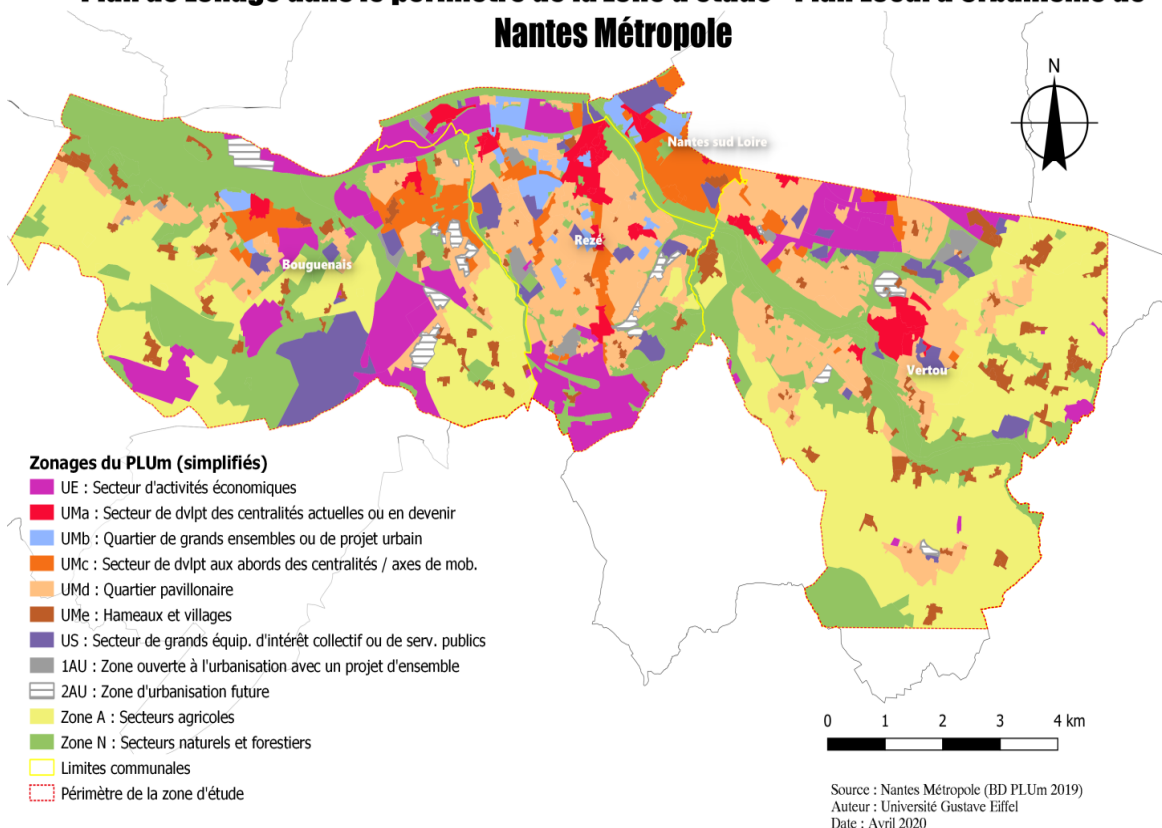


Figure 29 Carte des zonages du PLUm qui ont été affectés par l'évaluation du niveau de contrainte en fonction du Coefficient de Biotope par Surface exigé dans le règlement du PLUm (Chavez, 2020)

La carte de la figure 30 représente les niveaux de contraintes relatifs au CBS requis par zone étudiée. Les dispositions contraignantes et plus contraignantes concernant le Coefficient de Biotope par Surface correspondent, dans la plupart des cas, aux zones urbanisées (U) du zonage PLUm, notamment dans les abords de centralités et les axes de mobilité (UMc) et les secteurs de quartiers pavillonnaires (UMd). Nous trouvons également des leviers mobilisables (dispositions plus contraignantes) dans les secteurs de centralités actuelles (UMa), les secteurs d'activités économiques (UE). Les valeurs moyennes correspondent aux zones de quartiers des grands ensembles ou de projets urbains (UMb) et aux secteurs de grands équipements d'intérêt collectif ou des services publics (US).

LEVIERS MOBILISABLES PAR LE REGLEMENT DU PLUM SELON LE COEFFICIENT DE BIOTOPE PAR SURFACE EXIGÉ PAR ZONE DU PLAN DE ZONAGE

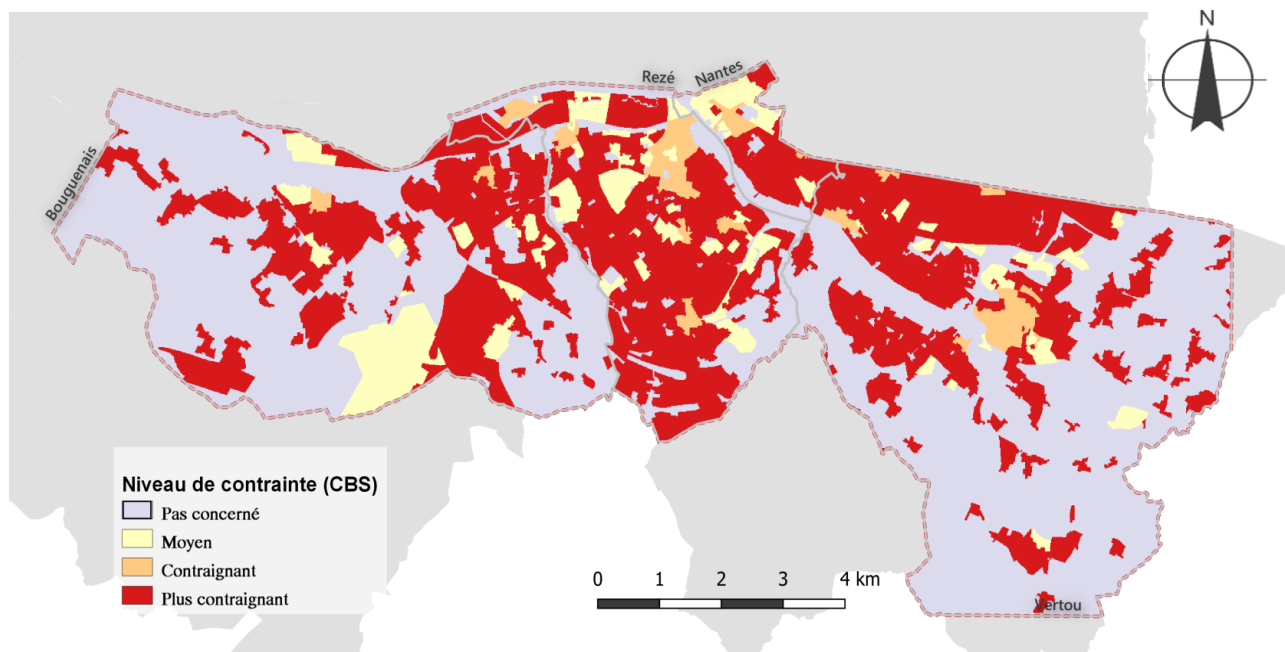


Figure 30 Carte de la représentation du niveau de contrainte en fonction du Coefficient de Biotope par Surface exigé par type de zone du zonage PLUm (Chavez, 2020)

- iii) Analyse multicritère des zones à enjeux et zones de freins et leviers. Agrégation finale des critères

L'agrégation des éléments des groupes présentés précédemment, nous permet de croiser à la fois la sensibilité de la zone d'étude aux phénomènes pluvieux eaux et les potentialités offertes par les éléments du PLUm pris en compte. La carte suivante représente les zones où nous identifions à la fois des priorités d'intervention et d'opportunités d'intervention offertes par les règles.

Les valeurs finales de sensibilité sont comprises entre 0.09 et 0.76. Le résultat a fait ressortir, d'une part, les zones qui ont moins d'enjeux et où les règles nous permettent de mobiliser moins de leviers pour la gestion de l'eau (en bleue et vert). Ce sont les zones moins propices pour l'intervention. D'autre part nous constatons qu'il n'y a pas des zones entièrement propices (valeur 1) à l'intervention, c'est-à-dire, qu'il n'existe pas de zones présentant à la fois un degré de sensibilité maximale et un zonage tout à fait propice pour la mise en œuvre de techniques de gestion de l'eau. Toutefois, nous pouvons observer en orange et rouge, les zones qui sont physiquement sensibles et où l'intervention serait plus efficace dans le cadre de la gestion des eaux de pluie. Ces les zones prioritaires, c'est-à-dire, les zones qui méritent actuellement une attention particulière pour la gestion des eaux de pluie et où la réglementation laisse une plus grande marge de manœuvre pour y parvenir. On pourrait donc

mettre en place des techniques alternatives et celles-ci pourraient une efficacité tant à l'échelle de la parcelle, du projet urbain, des OAP et à l'échelle du bassin versant.

ZONES PROPICES A L'INTERVENTION POUR LA GESTION DE L'EAU DANS LE PERIMETRE DE LA ZONE D'ETUDE

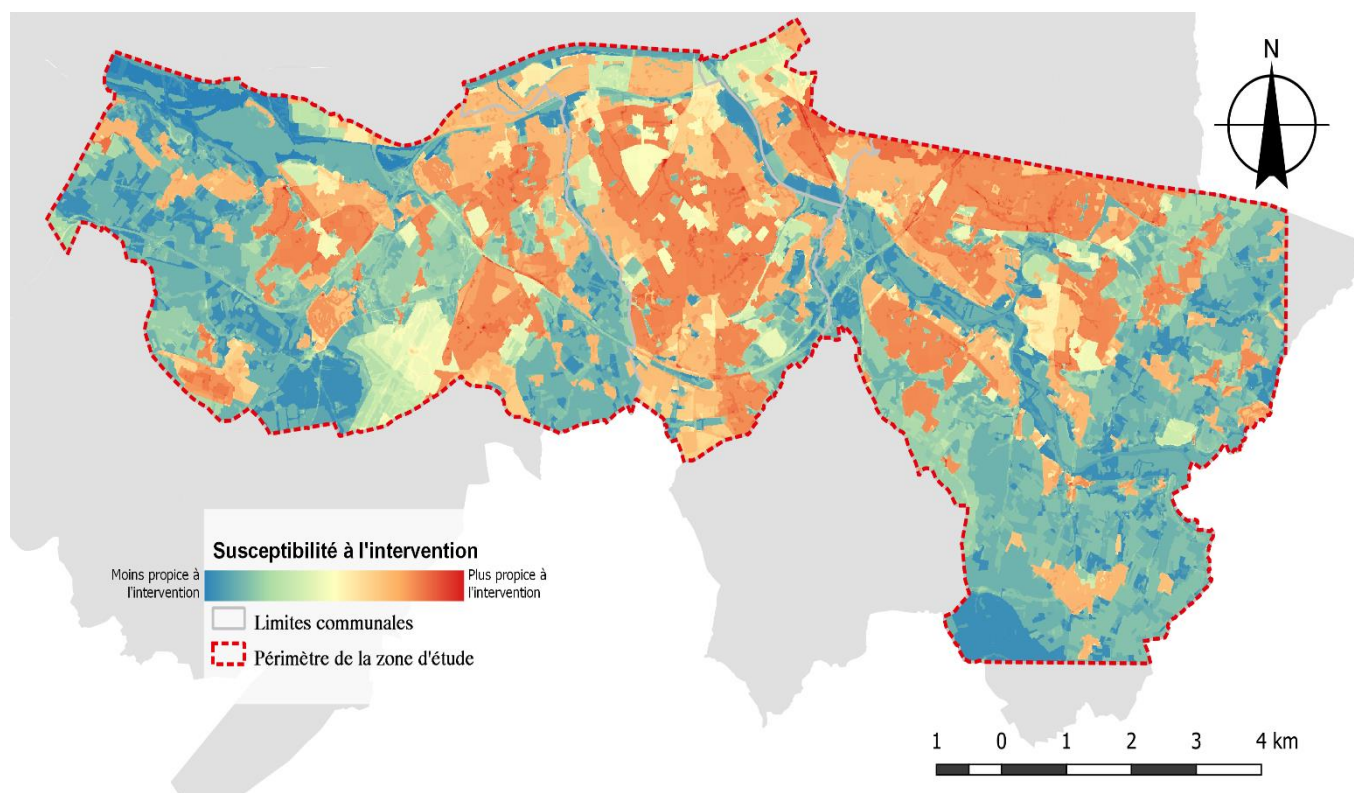


Figure 31 Carte finale du résultat de l'analyse multicritère. Représentation des zones propices à l'intervention pour la gestion de l'eau dans le périmètre de la zone d'étude

Croisement de l'analyse multicritère avec les résultats du stage n° 2

En parallèle, une partie du travail de l'autre stage (Guézénoc, 2020) est consacrée à la projection du réseau hydrographique composé des réseaux d'assainissement et du réseau naturel dans chacune des mailles qui composent la grille de base utilisée dans le modèle hydrologique TEB-Hydro. L'objectif de cette étape est double : i) fournir les données nécessaires au modèle pour transférer l'eau horizontalement depuis chaque maille jusqu'à un exutoire et ii) de délimiter et donc visualiser les aires drainées (les bassins versant) par chacun des exutoires sélectionnés sur le réseau d'assainissement et la Loire.

Notre objectif est de pouvoir insérer les résultats de l'analyse de règles dans la préparation des données pour la modélisation par TEB-Hydro. Nous disposons d'une part, des zones susceptibles à l'intervention issues de l'analyse multicritère et d'autre part nous avons besoin d'identifier, parmi les bassins versant simulés, ceux à étudier plus en détail. Les exutoires ont

donc été choisis selon le réalisme de la reconstruction du réseau d'assainissement d'une part, et selon les premières analyses du PLUm mises en évidence dans le cadre de ce travail, d'autre part. Nous nous sommes appuyés sur les périmètres délimités par les Orientations d'Aménagement et de Programmation sectorielles du PLUm.

Les OAP sectorielles peuvent « Définir les actions et opérations nécessaires pour mettre en valeur l'environnement, notamment les continuités écologiques, les paysages, les entrées de villes et le patrimoine, lutter contre l'insalubrité, permettre le renouvellement urbain et assurer le développement de la commune ». Les OAP en tant qu'outils complémentaires au règlement, contiennent donc des mesures dans des zones particulières en termes d'aménagement, ces dispositions peuvent éventuellement réorienter la mise en place de la gestion de l'eau dans des secteurs spécifiques. Sur la base de la représentation des OAP se trouvant dans une zone propice à l'intervention, Guézénoc (2020) a choisi les exutoires pour délimiter les bassins versants (voir carte de la figure 32).

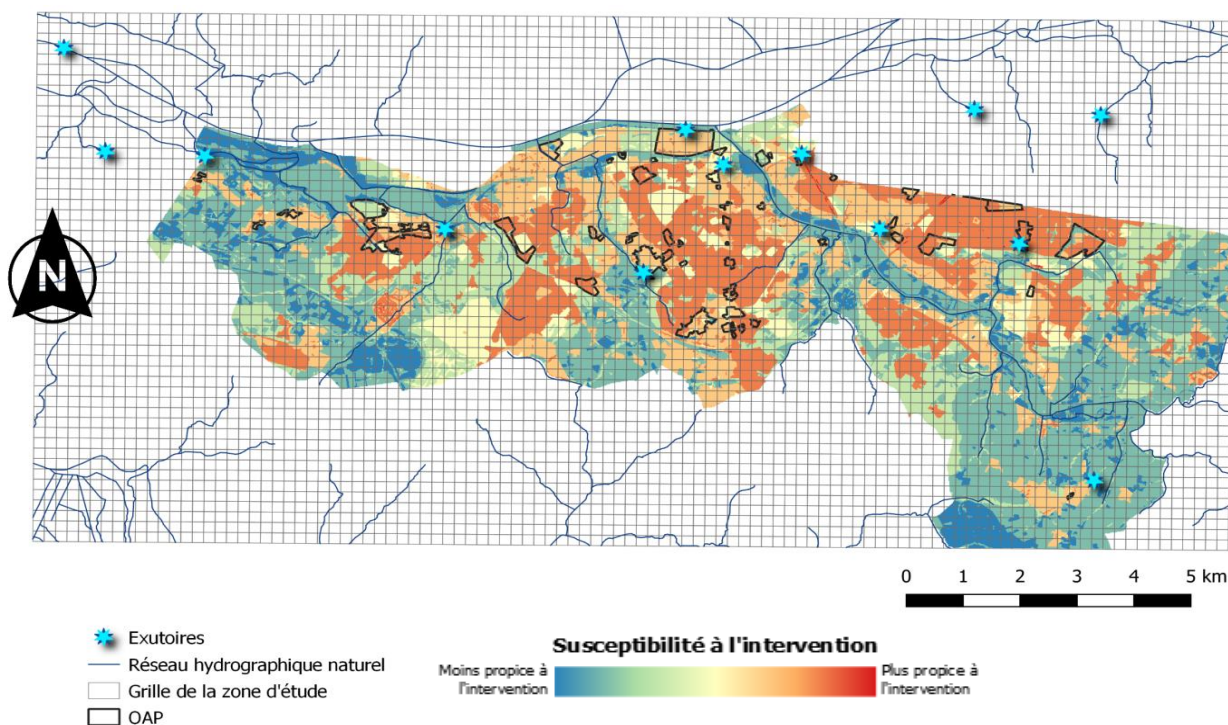


Figure 32 Choix des exutoires selon les OAP se trouvant dans des zones propices à l'intervention par Guézénoc (2020)

Les bassins versants délimités (carte de la figure 33), seront les bassins sur lesquelles nous travaillerons dans l'étape de modélisation et qui enfin seront redessinés. Nous pouvons observer qu'effectivement, les bassins versants dessinés se trouvent dans les zones propices à l'intervention.

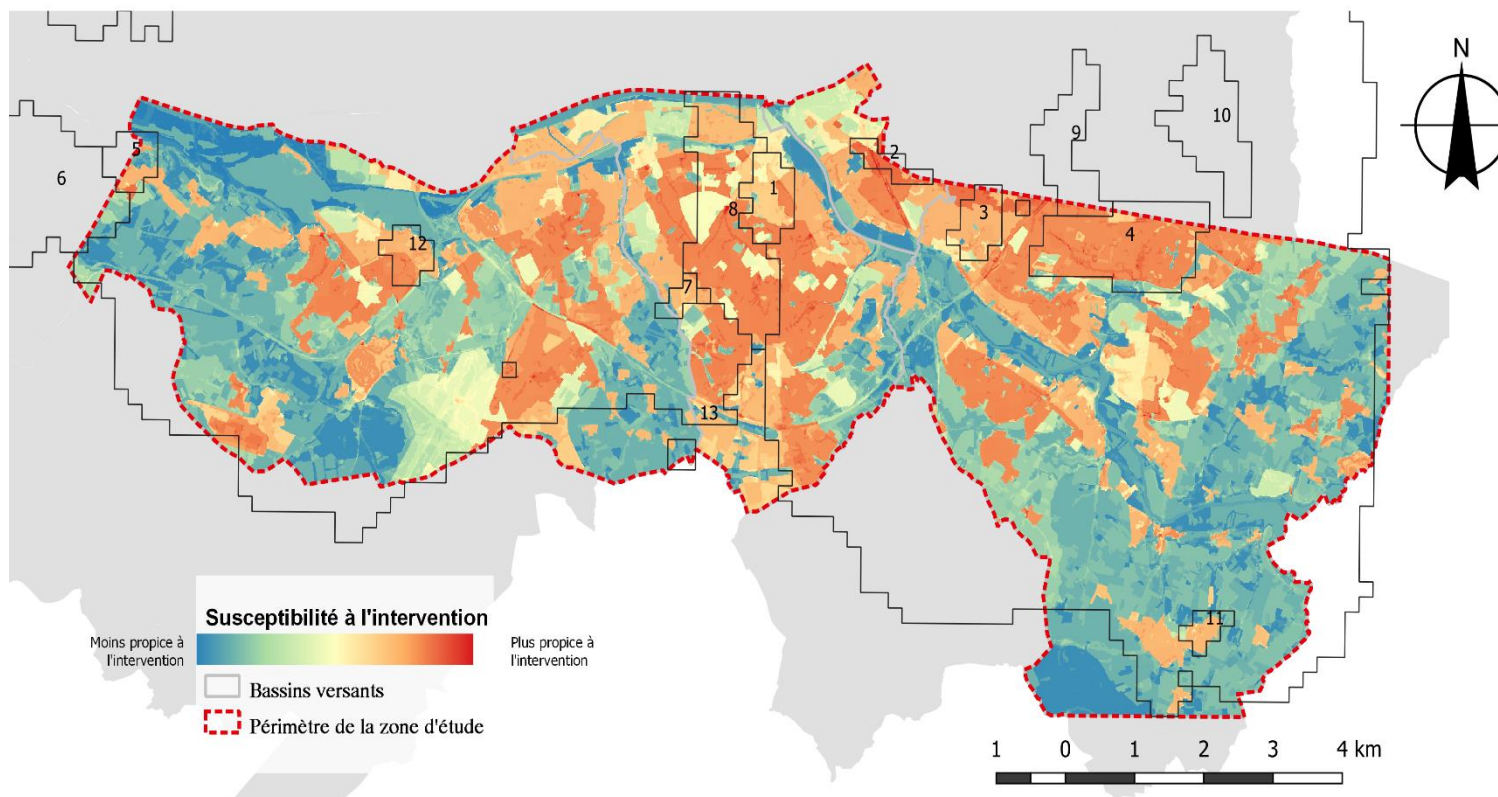


Figure 33 Bassins versants délimités par Guézénoc (2020)

Les zones à étudier ont été définies, en croisant deux approches complémentaires : l'une provenant de méthodes en lien avec l'hydrologie et l'autre issue de ce travail basée sur l'analyse des documents réglementaires. La mise en œuvre de la modélisation hydrologique, qui n'a malheureusement pu être produite dans le cadre du stage de Guézénoc (2020), permettra de caractériser les faiblesses éventuelles des bassins étudiés. L'analyse des solutions existantes (noues, toitures végétalisées, végétalisation (arbres, pelouses), ...) croisée avec les besoins et contraintes physiques des bassins ou plus localement des quartiers, permettra de produire un premier jeu de scénarios d'adaptation de la zone d'étude. La confrontation de ces scénarios avec les contraintes réglementaires, permettra d'affiner ou d'élargir ce jeu de scénarios. Enfin, la traduction de ces scénarios en paramètres compréhensibles pour le modèle hydrologique conduira à leur évaluation.

DISCUSSIONS

Ce stage a été effectué dans le cadre d'un projet transdisciplinaire abordant à la fois urbanisme réglementaire et modélisation hydraulique. Il était mené en parallèle d'un autre stage de master et avait pour objectif de poser les bases d'un travail de recherche doctoral. La méthode proposée représente une première approche pour un protocole d'analyse des règles, il s'agit d'une étape complexe où nous avons essayé de mettre en place la base de la méthode technique pour la création d'une typologie de règles. Nous avons tenté de créer les fondements d'un classement systématique des règles et ainsi simplifier la forme dont laquelle on visualise la gestion de l'eau dans le territoire. En effet, une évolution de la méthode a eu lieu au cours du déroulement du stage et celle-ci peut encore être améliorée. Nous avons quelques précisions critiques à faire.

Concernant les outils et acteurs de l'eau à Nantes métropole

Il existe une multiplicité d'outils qui facilitent et promeuvent une gestion intégrée de l'eau. Nous avons restitué la composition du système local de gestion où nous observons une palette d'acteurs qui représentent l'ancrage local pour aborder les questions liées à l'eau. Dresser un portrait des outils qui d'instrumentalisation de la gestion des eaux territoriales comprend une première approche de l'étude de l'efficacité des documents d'une collectivité. La validation de la cohérence des relations identifiées entre les outils et les acteurs avec les spécialistes ou acteurs de l'eau est mise en perspective. De cette manière, nous pouvons, par exemple, déterminer les documents prioritaires à évaluer sous la méthode proposée.

Concernant l'analyse de contenu du PADD

Dans un premier temps, cette analyse de contenu nous a donné les différents thèmes contenus dans le PADD, cette méthode d'analyse que nous pouvons utiliser pour analyser un autre type de règle comme par exemples les zonages. Quant à la méthode, elle pourra être modifiée, notamment par les multiples possibilités que nous offrent les logiciels d'analyse lexicométrique. Quant aux résultats, nous pouvons leur donner une utilité pratique en classant nos règles en fonction des axes résultants. Il sera également intéressant d'essayer de voir dans quelle mesure et de quelle manière les règles et les zonages mis en place permettent d'atteindre les objectifs fixés dans le PADD.

Concernant l'analyse multicritère

- La typologie des règles est faite que partiellement dans le cadre du stage. L'objectif de la thèse qui poursuit le travail commencé dans le cadre de stage vise à évaluer un PLU au niveau de contrainte vis-à-vis la gestion alternative de l'eau. Le but est de construire une typologie des règles pour pouvoir après éventuellement créer des compositions, et de déterminer le type des règles qui apportent effectivement à la gestion des eaux de pluies et d'îlots de chaleur dans la métropole.

- Il s'agit un résultat partiel où nous avons fait un recouvrement de critères et pris une partie de la méthode. Dans une analyse plus approfondie, nous pourrions par exemple, reclassifier les critères dans les groupes, créer d'autres groupes ou envisager de fusionner certains ou plusieurs critères entre eux. Nous pourrions également envisager de modifier l'échelle d'évaluation entre les enjeux et le règlement et d'utiliser des échelles différenciées. Nous envisagerons également un travail de concertation avec les acteurs impliqués et/ou des services concernés de Nantes Métropole.
- Le coefficient de biotope par surface ne suffit pas pour une évaluation des leviers dans le règlement, puisqu'il doit être complété par d'autres dispositifs afin de préserver les caractéristiques écologiques de la parcelle. Lors d'analyses futures il faudra prendre en compte d'autres critères et dispositions.
- En recoupant les enjeux et les leviers nous avons obtenu un résultat global. Nous pouvons envisager une deuxième échelle d'analyse plus spécifique où les leviers fonctionnent comme un palliatif aux limitations détectées dans le maillage physique du territoire. À cet effet, nous pourrions établir des conditions, par exemple, des zones avec peu d'enjeux mais avec une législation correcte ou vice versa.
- Nous pourrions utiliser les résultats des enjeux et leviers séparément en tant qu'outils d'aide à la décision.

CONCLUSION GENERALE

Quant au travail du stage, outre des applications techniques, c'est surtout la découverte d'une recherche transdisciplinaire qui commence. Nous avons été mis au défi de nous approprier le sujet en fonction de notre domaine, d'appréhender le fonctionnement du travail au sein des équipes et de comprendre la perspective et les besoins de chacun des groupes. Les objectifs fixés sur le travail en commun sur les modélisations n'ont pas pu être atteints en raison du manque de conditions de travail propices à un échange continu. Toutefois, les travaux réalisés pendant le stage ont servi de base à un important travail de thèse visera à mesurer l'efficacité que ces analyses peuvent apporter et à créer un protocole pour l'analyse des règles. En prenant du recul par rapport à la méthode, nous pouvons porter un regard critique sur la méthode proposée et la réadapter si nécessaire. Nous envisageons la création d'un outil d'aide à la décision. Il sera intéressant de faire une analyse concertée sur ces résultats avec les collectivités afin d'encadrer les aménagements sur le territoire.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise (ADEUS). 2012. « Adaptation au changement climatique par l'urbanisme ». http://www.adeus.org/productions/les-notes-de-ladeus-ndeg71-environnement/files/note-71_environnement_adaptation-climat_web-1.pdf (27 juillet 2020).
- Agence de l'eau Adour-Garonne. 2011. « L'eau dans les documents d'urbanisme ». : 64.
- Agence de l'eau Artois-Picardie. 2018. « Prise en compte de l'eau dans les documents d'urbanisme du bassin Artois-Picardie : PLU et PLUi ».
- Agence de l'eau Loire Bretagne. 2016. « Gestion intégrée des eaux pluviales. Pourquoi ? Comment ? » http://www.eau-loire-bretagne.fr/collectivites/guides_et_etudes/eaux_pluviales/DepliantEauxPluviales_2016.pdf (28 juillet 2020).
- Agence de l'eau Loire-bretagne. 2018. « 11 programme 2019-2024 d'intervention de l'Agence de l'eau Loire-bretagne ». <https://agence.eau-loire-bretagne.fr/home/agence-de-leau/11supesup-programme-2019-1.html> (15 août 2020).
- . 2019. « Le fonctionnement du Plan Loire ». <https://agence.eau-loire-bretagne.fr/home/bassin-loire-bretagne/plan-loire-grandeur-nature/le-fonctionnement-du-plan-loire.html> (15 août 2020).
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 2016. « IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DOMAINE DE L'EAU ». <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-30801-bilan-connaissances-changement-climat-eau-rmc.pdf> (24 juillet 2020).
- Agence européenne pour l'environnement. 2016. « Urban adaptation to climate change in Europe 2016 ». https://www.gppq.fct.pt/h2020/_docs/brochuras/env/urban-adaptation-report-2016.pdf (26 juillet 2020).
- Atelier parisien d'urbanisme. 2015. « Préservation et valorisation de la ressource en eau brute – Une gestion métropolitaine des eaux pluviales ». : 60.
- AUDAB. 2015. « Comprendre les relations entre les documents d'urbanisme ».
- Bertrand-Krajewski, Jean-Luc. 2017. « Gestion des eaux pluviales urbaines : d'un objet technique urbain autonome vers une approche urbaine intégrée ».
- Blais, Mireille, et Stéphane Martineau. 2006. « L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes ». : 19.
- Carré, Catherine. 2017. « Chapitre 2. Retour d'expérience d'une gestion urbaine de temps de pluie : quelle prise en compte du ruissellement dans l'urbanisme ? » In *Urbanisme et inondation : outils de réconciliation et de valorisation*, Environnement et société, éd. Pierre-Gil Salvador, Helga-

- Jane Scarwell, et Guillaume Schmitt. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, 149-80. <http://books.openedition.org/septentrion/17413> (27 mars 2020).
- CEREMA. 2014. « Principes généraux de gestion des eaux pluviales ». http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_principes_generaux_integral_decembre_2014.pdf (25 juillet 2020).
- . 2020a. « Intégrer les enjeux de l'eau dans la planification urbaine et multi-thématiques (documents d'urbanisme...) ». <http://outil2amenagement.cerema.fr/integrer-les-enjeux-de-l-eau-dans-la-planification-r871.html> (15 août 2020).
- . 2020b. « Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) ». <http://outil2amenagement.cerema.fr/le-schema-directeur-d-amenagement-et-de-gestion-r430.html> (15 août 2020).
- . 2020c. « PLUi et GEMAPI, Vers une approche intégrée de l'eau dans la planification ».
- CEREMA, Outil de. 2019. « Les zonages d'assainissement des eaux usées et pluviales ». <http://outil2amenagement.cerema.fr/les-zonages-d-assainissement-des-eaux-usees-et-r432.html> (16 août 2020).
- Charolles, Michel. 1995. « Cohésion, cohérence et pertinence du discours ». 29.
- Commission Locale de l'Eau du SAGE des Deux Morin. 2016. « Ruissellement de l'eau pluviale sur la voirie ». https://www.sage2morin.com/cms/Fiche_14_Gerer_les_eaux_pluviales.pdf (24 juillet 2020).
- Communauté d'Agglomération, et de Val-de-Bievre. 2012. « Comment mieux préserver l'eau en milieu urbain ? » http://www.environnement-valdebievre.fr/files/files/CRE/cahier_3_eau.pdf (24 juillet 2020).
- Département du Val de Marne. 2014. « Assainissement pluvial ou les limites du "tout au réseau" ». <https://www.valdemarne.fr/newsletters/lettre-dinformation-plan-bleu-du-val-de-marne/assainissement-pluvial-ou-les-limites-du-tout-au-reseau> (25 juillet 2020).
- Dournel, Sylvain. 2014. « L'eau, miroir de la ville: contribution à l'étude de la requalification urbaine des milieux fluviaux et humides (Bassin parisien, Amiens, Orléans) ». : 681.
- Fallery, Bernard, et Florence Rodhain. 2007. « Quatre approches pour l'analyse de données textuelles: lexicale, linguistique, cognitive, thématique. » In *XVI ème Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique AIMS*, Montréal, Canada: AIMS, pp 1-16. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00821448> (3 juin 2020).
- Feller, Jean. 1977. « L'Analyse du contenu, de L. Bardin ». *Communication & Langages* 35(1): 123-24.
- France Nature Environnement. 2015. « Gouvernance de l'eau. Du petit au grand cycle, le rôle des élus ».
- Gavard-Perret, M.-L., et J. Moscarola. 1998. « Enonce Ou Enonciation? Deux Objets Différents de l'analyse Lexicale En Marketing ». *Recherche et Applications en Marketing* 13(2): 31-47.

- Geneletti, Davide, et Linda Zardo. 2016. « Ecosystem-Based Adaptation in Cities: An Analysis of European Urban Climate Adaptation Plans ». *Land Use Policy* 50: 38-47.
- Grafakos, S. et al. 2020. « Integration of Mitigation and Adaptation in Urban Climate Change Action Plans in Europe: A Systematic Assessment ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 121: 109623.
- Groux, Annette. 2017. « Chapitre 2. La prise en compte du risque inondation par les acteurs locaux dans les Plans locaux d'urbanisme : De la dépendance à la prise de responsabilité, de l'utilisation du prêt à l'emploi au sur-mesure ». In *Urbanisme et inondation : outils de réconciliation et de valorisation*, Environnement et société, éd. Pierre-Gil Salvador, Helga-Jane Scarwell, et Guillaume Schmitt. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, 243-300.
<http://books.openedition.org/septentrion/17420> (27 mars 2020).
- Guézénoc, Anna. 2020. « Impact des documents réglementaires vis-à-vis des problématiques hydro-climatiques à l'échelle d'une métropole. Mémoire de stage de fin d'études à l'Ecole École Supérieure des Géomètres et Topographes.
- jbazile. 2017. « La lexicométrie : un outil efficient pour l'analyse du discours ». *Carnet des jeunes chercheurs du Crem*. <https://ajccrem.hypotheses.org/370> (3 juin 2020).
- Jean de Bonville. 2006. « L'analyse de contenu des médias ». <http://bibliotheque.bordeaux.fr/in/details.xhtml?id=mgroup%3A9782804153014> (14 juin 2020).
- Joëlle Kivits, et Barbara Houbre. 2010. « Investigation en santé publique : méthodes qualitatives - Principes et outils - L'analyse thématique de contenu ». https://fad.univ-lorraine.fr/pluginfile.php/23858/mod_resource/content/1/co/Analyse_them.html (5 juin 2020).
- Joris, ROBILLARD. 2011. « Les techniques alternatives d'assainissement : quelle efficacité en termes de lutte contre les inondations ? » : 48.
- Kandakoglu, Ahmet, Anissa Frini, et Sarah Ben Amor. 2019. « Multicriteria Decision Making for Sustainable Development: A Systematic Review ». *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 26(5-6): 202-51.
- Lafourcade, Mathieu. 2011. « Lexique et analyse sémantique de textes - structures, acquisitions, calculs, et jeux de mots » : 298.
- Leray, Christian. 2008. *L'Analyse de Contenu: De la Théorie à la Pratique, la Méthode Morin-Chartier*. PUQ.
- Lioubimtseva, Elena, et Charlotte da Cunha. 2020. « Local Climate Change Adaptation Plans in the US and France: Comparison and Lessons Learned in 2007-2017 ». *Urban Climate* 31: 100577.
- MDDEFP et MAMROT du Québec. 2014. « Guide de gestion des eaux pluviales. » <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf> (25 juillet 2020).
- Ministère de la Transition écologique. 2017. « Trame verte et bleue ». <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/trame-verte-et-bleue> (24 juillet 2020).

- — —. 2019. « Adaptation de la France au changement climatique ». <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique> (23 juillet 2020).
- Ministère de l'écologie, du Développement durable, des Transport et du Logement. 2011. « Plan national d'adaptation au cahngement climatique ». : 188.
- Mucchielli, Alex. 2007. « Les processus intellectuels fondamentaux sous-jacents aux techniques et méthodes qualitatives ». : 27.
- Nantes métropole. 2019. « PLUM : Approbation du PLUm ». <https://plum.nantesmetropole.fr/home/le-plum/actualites/2019/approbation-du-plum.html> (30 juillet 2020).
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (France). 2019. « Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique: rapport au Premier ministre et au Parlement ».
- Paindorge, Martine, Jacques Kerneis, et Valérie Fontanieu. 2016. « Analyse de données textuelles informatisée : l'articulation de trois méthodologies, avantages et limites ». *Nouvelles perspectives en sciences sociales* 11(1): 65-92.
- Partenariat mondial de l'eau. 2009. « Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en Eau par Bassin ». : 112.
- Petrucci, Guido. 2012. « La diffusion du contrôle à la source des eaux pluviales urbaines: confrontation des pratiques à la rationalité hydrologique ». : 391.
- Pottier Nathalie. 1998. « (PDF) L'utilisation Des Outils Juridiques de Prévention Du Risque d'inondation : Évaluation Des Effets Sur l'homme et l'occupation Du Sol Dans Les Plaines Alluviales (Application à La Saône et à La Marne) ». *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/313890698_L'utilisation_des_outils_juridiques_de_prevention_du_risque_d'inondation_evaluation_des_effets_sur_l'homme_et_l'occupation_du_sol_dans_les_plaines_alluviales_application_a_la_Saone_et_a_la_Marne (3 septembre 2020).
- Pays de la Loire* 2016 « Préservation de la ressource en eau ». *Site du Conseil régional des Pays de la Loire*. <https://www.paysdelaloire.fr/politiques-regionales/environnement-transition-energetique/eau/> (27 avril 2020).
- Prévost, Aurélie. 2013. « Inférence(s) des documents d'urbanisme sur le territoire: Modélisation multicritère et évaluation durable. Application à la ville de Toulouse ». : 399.
- Ravel, Sophie. 2015. « Critères d'évaluation de la gestion des eaux pluviales d'un aménagement ». : 26.
- Reckien, Diana et al. 2018. « How Are Cities Planning to Respond to Climate Change? Assessment of Local Climate Plans from 885 Cities in the EU-28 ». *Journal of Cleaner Production* 191: 207-19.
- Reckien, Diana, Johannes Flacke, Marta Olazabal, et Oliver Heidrich. 2015. « The Influence of Drivers and Barriers on Urban Adaptation and Mitigation Plans—An Empirical Analysis of European Cities ». *PLOS ONE* 10(8): e0135597.

- Richard, Elsa. 2014. « L'action publique territoriale face au défi de l'adaptation : déterminants et effets de la prise en compte des changements climatiques à l'échelle régionale ». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Hors-série 20). <http://journals.openedition.org/vertigo/15283> (23 juillet 2020).
- — —. 2019. « Documents d'urbanisme et enjeux énergie-climat: quelles possibilités d'intégration? » : 19.
- Robrecht. 2015. « Le changement climatique et les villes ». <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2015/interviews/le-changement-climatique-et-les-villes> (24 juillet 2020).
- Roose. 1994. « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) ». <http://www.fao.org/3/t1765f/t1765f00.htm#Contents> (14 août 2020).
- Roose, Eric, et B Smolikowski. 1999. « Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert ». : 15.
- Rouet-Delarue, Christelle. 2015. « Analyse Linguistique Du Discours Historien: Des Sources Au Genre Historique? » : 446.
- Scarwell, Helga-Jane. 2017. « Chapitre 1. Déconstruire les logiques de gestion du risque d'inondation : prévention des risques naturels et responsabilisation des administrés ». In *Urbanisme et inondation : outils de réconciliation et de valorisation*, Environnement et société, éd. Pierre-Gil Salvador et Guillaume Schmitt. Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, 213-42. <http://books.openedition.org/septentrion/17419> (27 mars 2020).
- Scarwell, Helga-Jane, et Richard Laganier. 2017. « Chapitre 1 : L'intégration stratégique du risque par le biais des mesures réglementaires et la planification : vers une réconciliation entre la gestion des territoires et la gestion du risque d'inondation ». In *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*, Environnement et société, Villeneuve d'Ascq: Presses universitaires du Septentrion, 75-116. <http://books.openedition.org/septentrion/15686> (27 mars 2020).
- Stead, Dominic. 2014. « Urban Planning, Water Management and Climate Change Strategies: Adaptation, Mitigation and Resilience Narratives in the Netherlands ». *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 21(1): 15-27.
- UICN France. 2018. « Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France ». <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2018/06/brochure-sfn-mai2018-web-ok.pdf> (28 juillet 2020).
- Wanlin, Philippe. 2007. « L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels ». : 30.
- Zarghami, Mahdi, et Ferenc Szidarovszky. 2011. « Introduction to Multicriteria Decision Analysis ». In *Multicriteria Analysis*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1-12. http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-17937-2_1 (3 septembre 2020).

ANNEXES

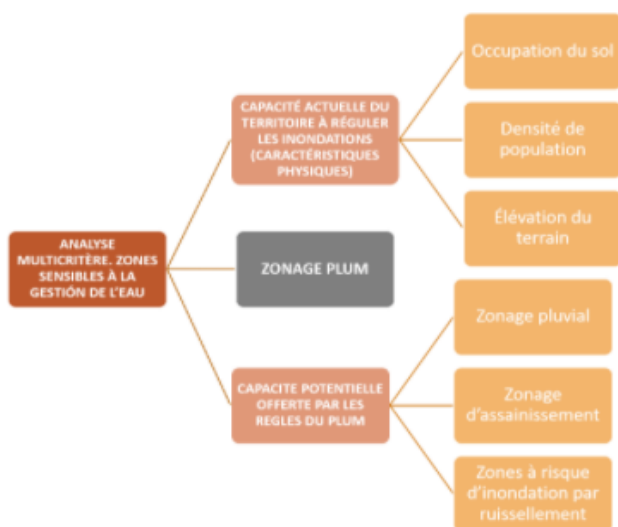
Annexe 1. Questionnaire pour l'Analyse Hiérarchique par Paires appliqué auprès des spécialistes.

AHP ANALYSE MULTICRITÈRE POUR DÉTERMINER LES ZONES SENSIBLES À LA GESTION DE L'EAU

Dans le cadre de l'exploration des zones d'intervention potentielles vis-à-vis la gestion de l'eau, nous effectuons une analyse multicritères.

Par le biais d'un questionnaire d'enquête, nous avons l'intention d'évaluer les critères retenus en recueillant l'opinion de différents spécialistes. Pour effectuer cette analyse multicritères, nous utilisons le processus de hiérarchie analytique (AHP). L'AHP est une méthode conçue pour aider à hiérarchiser des alternatives de décision très complexes impliquant de plusieurs opinions et de plusieurs objectifs.

Les comparaisons par paires sont les éléments fondamentaux de l'AHP. Les participants comparent l'importance relative des critères entre eux. L'objectif est de faire une comparaison par paires pour privilégier un critère par rapport à un autre. La liste des critères retenus est illustrée dans le schéma suivant :



**Le zonage PLUM ne sera pas évalué dans ce questionnaire.*

Dans les questions suivantes, nous souhaitons recueillir votre avis afin de choisir parmi la priorité des critères. L'échelle de comparaison par paires, illustré ci-dessous, est utilisée pour exprimer l'importance d'un critère par rapport à un autre.

Intensité de l'importance relative	Définition	Explication
1	Importance égale	Deux critères contribuent de manière égale à l'objectif
3	Importance modérée de l'un sur l'autre	Un critère est modérément favorisé par rapport à l'autre
5	Importance forte de l'un sur l'autre	Un critère est fortement favorisé par rapport à l'autre
7	Importance très forte de l'un sur l'autre	Un critère est très fortement favorisé par rapport à l'autre
9	Importance extrême de l'un sur l'autre	Un critère est extrêmement favorisé par rapport à l'autre
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements adjacents	Représenter une valeur moyenne entre les valeurs citées ci-dessus
Les valeurs inverses des valeurs non-nulles ci-dessus	Réciproque pour comparaison inverse	Si le critère i a une des valeurs non nulles ci-dessus qui lui est affectée par rapport au critère j , alors j a une valeur inverse par rapport à i

**Echelle de comparaison de Saaty*

Chaque spécialiste est invité à donner son avis et à apporter une contribution distincte et identifiable.

Il y a 3 questions dans ce questionnaire.

Identification

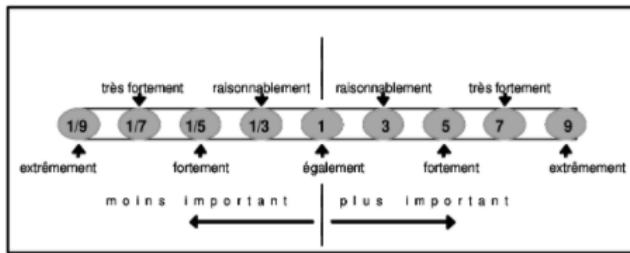
*

Indiquez votre nom

Indiquez votre principal domaine de compétence

ANALYSE DE CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU TERRITOIRE

*Sur une échelle de 1 à 9 (où 9 est extrêmement important et 1 est également important), veuillez indiquer l'importance relative selon vous de l'occupation du sol par rapport à la densité de population afin de déterminer les zones prioritaires dans la gestion des eaux. Pour ce faire vous pouvez vous référer à l'échelle de mesure illustrée dans la figure ci-dessous (Saaty, 1980) pour attribuer un poids aux critères :

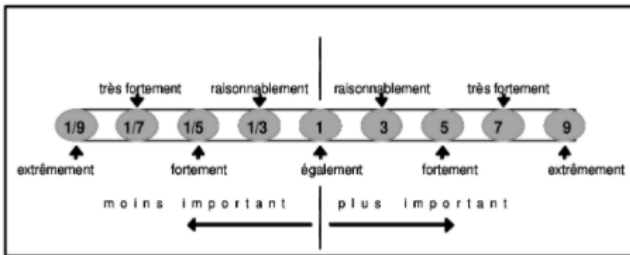


	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Occupation du sol	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Densité de population
Occupation du sol	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Élévation du terrain
Densité de population	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Élévation du terrain

ANALYSE DE LA CAPACITE POTENTIELLE OFFERTE PAR LES REGLES DU PLUM

*Sur une échelle de 1 à 9 (où 9 est extrêmement important et 1 est également important), veuillez indiquer l'importance relative selon vous de chaque critère par rapport à l'autre pour les trois lignes suivantes.

Vous pouvez utiliser l'échelle de mesure illustrée dans la figure ci-dessous (Saaty, 1980) pour attribuer un poids aux critères :



	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Zonage pluvial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zones inondables par ruissellement
Zonage pluvial	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zonage d'assainissement
Zones inondables par ruissellement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Zonage d'assainissement

Annexe 2. Fiche d'évaluation finale livrée. Poids accordés pour les spécialistes.

Matrice de comparaison par paires (Capacités physiques du territoire)						Matrice de comparaison par paires (Potentialités offertes par le règlement)				
	Occupation du Sol	Densité de la population	Pente			Zonage pluvial	Zones inondables par ruissellement	Zonage d'Assainissement		
Occupation du Sol	1	5	1			Zonage pluvial	1	1	5	
Densité de la population	1/5	1	1/5			Zones inondables par ruissellement	1	1	7	
Pente						Zonage d'Assainissement	1/5	1/7	1	
SOMME	2,2	11	2,2			SOMME	2,20	2,14	13,00	
				MOYENNE					MOYENNE	
Occupation du Sol	0,45455	0,45455	0,45455	0,45		Zonage pluvial	0,454545	0,466667	0,384615	0,44
Densité de la population	0,09091	0,09091	0,09091	0,09		Zones inondables par ruissellement	0,454545	0,466667	0,538462	0,49
Pente	0,45455	0,45455	0,45455	0,45		Zonage d'Assainissement	0,090909	0,066667	0,076923	0,08
				1						1

Annexe 3. Evaluation de niveau de contrainte en fonction du Coefficient de Biotope par Surface exigé par zone dans le règlement du PLUm			
Zonage PLUm	CBS minimal dans les projets de constructions neuves et d'extension en intégrant des surfaces éco-aménagées	Ponderation	Valeur
Uma : Centralités actuelles et en devenir	<p>Tout projet de construction neuve et d'extension doit intégrer des surfaces éco-aménagées* permettant d'atteindre un CBS* de 0,4. Toutefois, pour tenir compte de la configuration particulière de certaines parcelles, sont autorisés des CBS différents selon la surface du terrain d'assiette du projet. Ainsi, pour les terrains ou parties de terrain d'assiette du projet dont la surface est :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Inférieure à 300 m², un CBS de 0,2 est exigé; ■ Comprise entre 300 m² et 500 m², un CBS de 0,3 est exigé. <p>Lorsque le projet prévoit l'édification de plusieurs constructions relevant des sous-destinations Logement*et/ou Bureau* sur une même unité foncière*, un espace de ressourcement* doit être réalisé au sol ou en terrasse ; cet espace doit présenter les caractéristiques suivantes, dans le respect de la définition du lexique :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Il doit être constitué d'un seul tenant ; ■ Son aménagement en contiguïté des espaces libres* existants sur les terrains voisins peut être imposé pour assurer une continuité des espaces non bâtis et de la végétalisation. 	Contraignant	0,66
Umb: quartiers de grands ensembles ou de projets urbains à morphologie spécifique.	<p>Tout projet de construction neuve et d'extension doit intégrer des surfaces éco-aménagées permettant d'atteindre un CBS de 0,3.</p>	Moyen	0,33
Umc : tissus agglomérés en élargissement des centralités ou situés aux abords des axes de mobilité structurants	<p>Tout projet de construction neuve et d'extension doit intégrer des surfaces éco-aménagées* dont 30% de surface de pleine terre permettant d'atteindre un CBS de 0,6. Selon la surface du terrain d'assiette.</p> <p>Toutefois, pour tenir compte de la configuration particulière de certaines parcelles, sont autorisés des CBS différents selon la surface du terrain d'assiette du projet ou de la partie de terrain sur laquelle s'applique le CBS selon les dispositions du B.3.2 de la 1re partie du règlement. Ainsi pour les terrains ou parties de terrain d'assiette du projet dont la surface est :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Inférieur à 300m² : 0,3 ; -Entre 300m² et 400m² : 0,4 ; -Entre 400m² et 500m² : 0,5 <p>Des exceptions pour le surface en plein terre dans le cas de terrains d'angle peu profonds caractérisés par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Un linéaire de façade sur rue au moins égal à 40 % du périmètre de la parcelle ; ■ Et un linéaire de façade maximum de 20 mètres sur chaque rue, aucune pleine terre* n'est exigée. <p>Lorsque le projet prévoit l'édification de plusieurs constructions relevant des sous-destinations Logement*et/ou Bureau* sur une même unité foncière*, un espace de ressourcement* doit être réalisé au sol ou en terrasse ; cet espace doit présenter les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Il doit être constitué d'un seul tenant ; ■ Son aménagement en contiguïté des espaces libres* existants sur les terrains voisins peut être imposé pour assurer une continuité des espaces non bâtis et de la végétalisation. 	Plus Contraignant	1
Umd : Quartiers résidentiels principalement pavillonnaires.	0,5 dont 100% de surface de pleine terre	Plus Contraignant	1
Ume : Hameaux et un village	0,5 dont 100% de surface de pleine terre	Plus Contraignant	1

<p>UE : Favorise la mixité des activités économiques.</p>	<p>Dans toute la zone : 0,3 -Si le projet comporte une part minimale de surface de toiture accueillant un dispositif de production d'énergie solaire (40% toit. à pente, 60% toiture en terrasse) : 0,2 Dans le cas d'une extension, le CBS s'applique aux seules extensions créant au moins 1 000 m² supplémentaires d'emprise au sol y compris s'il s'agit d'une extension limitée* au sens du lexique, le projet doit intégrer des surfaces éco aménagées permettant d'atteindre le CBS* suivant : - Si le projet n'aggrave pas l'artificialisation des sols existante avant travaux : • CBS* de 0,1 ; • Ou pas de CBS si le projet comporte une part minimale de surface de toiture accueillant un dispositif de production d'énergie solaire. Cette part minimale est de : - 40 % pour une toiture à pente(s) - 60 % pour une toiture terrasse - Si le projet aggrave l'artificialisation des sols existante avant travaux : • CBS* de 0,2 ; • Ou CBS de 0,1 si le projet comporte une part minimale de surface de toiture accueillant un dispositif de production d'énergie solaire. Cette part minimale est de : - 40 % pour une toiture à pente(s) - 60 % pour une toiture terrasse</p>	<p>Contraignant</p>	<p>0,66</p>
<p>US : zone dédiée aux grands équipements d'intérêt collectif, et services publics</p>	<p>Dans toute la zone : 0,3 -Si le projet comporte une part minimale de surface de toiture accueillant un dispositif de production d'énergie solaire (40% toit. à pente, 60% toiture en terrasse) : 0,2</p>	<p>Moyen</p>	<p>0,33</p>
<p>1AU : correspond aux espaces naturels ou aux friches urbaines destinés à être ouverts à l'urbanisation.</p>	<p>Les règles applicables aux secteurs de la zone 1AU sont identiques à celles des zones ou secteurs de la zone U concernés.</p>	<p>Valeurs identiques à ceux des zones U</p>	
<p>2AU : zones potentiellement urbanisables à long terme, ni la vocation, ni les règles ne sont encore définies.</p>	<p>La zone est inconstructible ; son ouverture à l'urbanisation suppose préalablement la mise en œuvre d'une procédure de modification ou de révision du PLUm</p>	<p>Non concernée</p>	<p>0</p>