

Reconstruction du réseau d’assainissement à l’échelle de Paris et sa petite couronne

Zineb Lotfi¹, Katia Chancibault^{1,*}, Claude Joannis¹, Hervé Andrieu¹, Ghassan Chebbo,
Sam Azimi³, Vincent Rocher³

¹ IIFSTTAR, GERS, EE, F-44344 Bouguenais, France

² ENPC/LEESU, Marne-La-Vallée, France,

³ SIAAP-DDP.

* katia.chancibault@ifsttar.fr

Résumé

Grâce à la compréhension du fonctionnement et de la gestion du réseau d’assainissement de Paris et sa petite couronne, il a été possible de reconstruire un réseau complet, constitué des réseaux d’assainissement interdépartemental et départemental de Seine-Saint-Denis, en prenant en compte les connexions avec le réseau hydrographique naturel (Marne et Seine). Ce réseau a été simplifié, pour s’adapter à la résolution (250m) du modèle hydrologique urbain TEB-Hydro.

Afin de prendre en compte les spécificités du fonctionnement du réseau d’assainissement de Paris et sa petite couronne, l’outil de reconstruction d’un réseau simplifié a été modifié. Ainsi les nombreux maillages qui ponctuent le réseau comme les tunnels de stockages ont été pris en compte. Les écoulements depuis les collecteurs unitaires vers les collecteurs d’eaux usées ont été permis.

Bien que l’outil n’ait jamais été appliqué sur une zone aussi vaste, la comparaison visuelle des résultats avec les filaires de réseaux réels interdépartementaux démontre la capacité de l’outil à reproduire un réseau fonctionnel. Cependant, ce travail préliminaire met en évidence la nécessité de travailler à l’échelle départementale. En effet, la reconstruction sur le département de Seine-Saint-Denis, à partir des données descriptives du réseau départemental, présente des résultats encourageants en termes de filaires de réseaux ainsi que d’aires drainées par le réseau reconstruit.

Cet outil de reconstruction du réseau hydrographique complet et simplifié a pour seul but de fournir un réseau hydrographique pour une modélisation hydrologique urbaine, qui prend en compte les différents processus du cycle de l’eau au sein de la ville, soit l’évapotranspiration, l’infiltration de l’eau dans le sol en plus des écoulements de surface et dans les réseaux. Ces outils sont donc complémentaires aux outils déjà existants permettant la gestion de l’assainissement de la zone étudiée.

Introduction

La modélisation hydrologique a pour objet d’identifier et de reproduire les différentes composantes du cycle de l’eau en milieu continental. Il existe plusieurs types de modèles hydrologiques qu’il est possible de discriminer selon les méthodes de représentation des processus hydrologiques, la représentation spatiale et la représentation temporelle. Ces critères de discrimination sont souvent liés et s’influencent les uns les autres (Allard, 2015).

Dans le cadre du programme PIREN-Seine, volet modélisation hydrologique urbaine, notre objectif final est de prendre en compte les impacts hydrologiques de l’aire urbaine délimitée par Paris et sa couronne sur le fonctionnement hydrologique de la Seine. Nous utilisons le modèle hydrologique-microclimatique TEB-Hydro qui est un modèle conceptuel à base physique, continu et distribué, pour reproduire le fonctionnement hydrologique de ce territoire urbain délimité par Paris et sa petite couronne. Ce modèle représente donc les processus physiques de manière plus ou moins simplifiée, sur des périodes continues plus ou moins longues et sur des bassins versants discriminés suivant une grille de mailles régulières.

Aussi, le modèle TEB-Hydro est spécifiquement dédié à la modélisation hydrologique en milieu urbain, impliquant une représentation adaptée du cycle de l’eau dans son ensemble qui prend en compte les spécificités des processus hydrologiques en milieu urbain. En effet, le cycle de l’eau en milieu urbain est perturbé par l’urbanisation qui imperméabilise les surfaces et introduit des réseaux de drainage dans le sol conduisant à une diminution de l’infiltration, une modification des cheminements des eaux, une diminution de l’évapotranspiration ainsi que le drainage de l’eau du sol par les réseaux d’assainissement. L’urbanisation a aussi des impacts sur les processus thermiques, modifiant le bilan énergétique des surfaces en favorisant le stockage de chaleur, conduisant au phénomène d’îlot de chaleur urbain. Ainsi, les bilans en eau et en énergie, couplés à travers le processus d’évapotranspiration sont fortement modifiés par l’urbanisation. Afin d’en limiter les effets, dans le contexte du changement climatique qui peut encore les accentuer, les aménageurs disposent de solutions d’adaptation qui permettent d’atténuer les effets de l’urbanisation en se rapprochant des bilans en eau et en énergie des surfaces naturelles. Par exemple nombre de solutions de gestion des eaux pluviales décentralisées sont multifonctionnelles et permettent souvent d’améliorer aussi le confort thermique extérieur ou intérieur des habitants. Le modèle hydro-microclimatique TEB-Hydro, en représentant les différents transferts d’eau et de chaleur (entre le sol, les surfaces et l’atmosphère) et les divers cheminements de l’eau (réseaux naturels et artificiels en surface et écoulements en souterrain) ainsi que leurs connexions, est un outil permettant d’évaluer de façon intégrée différents scénarios d’adaptation. Il n’a donc pas les mêmes objectifs que les modèles hydrauliques pouvant exister à l’échelle des territoires qui permettent de gérer au quotidien l’exploitation du réseau d’assainissement, voire d’évaluer l’impact de certains aménagements du seul point de vue de l’assainissement.

S’il est possible de disposer d’une représentation satisfaisante est adaptée au modèle TEB-Hydro, du réseau naturel directement à partir de bases de données publiques (*i.e.* BD Carthage®, BDTOPPO® de l’IGN), ce n’est pas le cas pour les réseaux artificiels. En effet, la description des réseaux artificiels en format vectoriel adapté à la modélisation est souvent disponible dans les banques de données urbaines. Cependant, elle présente, généralement de nombreuses limitations liées notamment à l’exhaustivité et la précision des données. Ces données, n’ayant pas été acquises dans le but de représenter les écoulements, ne satisfont souvent pas les critères de connexion ou de direction des graphes orientés, nécessaires à la modélisation hydrologique.

Ainsi, dans le cadre de la thèse de Allard (2015), il a été développé un outil de reconstruction des cheminements de l’eau en milieu urbain particulièrement adapté aux modèles maillés. Celui-ci permet de décrire, à partir de données simples et généralement disponibles et fiables, les réseaux hydrographiques artificiels, d’une manière simplifiée et fonctionnelle. Aussi, en plus de reconstituer les écoulements en milieu urbain de façon homogène, il permet de s’adapter à la résolution spatiale du modèle hydrologique, en obtenant un réseau représentant au mieux les écoulements réels sans nécessiter des temps de calculs importants. Cet outil de reconstruction a pour seul but de fournir un réseau hydrographique adapté aux modèles hydrologiques urbains dont la résolution spatiale n’est pas en cohérence avec la densité du réseau d’assainissement réel.

L’outil de reconstruction du réseau hydrographique intégré permet donc de reconstituer les cheminements des eaux en milieu urbain en tenant compte des réseaux hydrographiques naturels et artificiels, représentés grâce à des graphes orientés, et en intégrant également la notion « d’écoulement en versant » pour les unités qui ne seraient pas liées à un réseau hydrographique et pour lesquels on considère un transfert par ruissellement. Dans le but de construire un modèle hydrologique du territoire délimité par Paris et sa petite couronne, à l’aide du modèle TEB-Hydro, l’outil de reconstruction du réseau a été modifié et adapté aux particularités de cette région.

Ce document ne traite donc que de la première phase de modélisation hydrologique de Paris et sa petite couronne consistant à reconstruire un réseau hydrographique complet mais simplifié. Il a pour ambition d’expliquer les principes de l’outil. Après la description des données d’entrée et de leur format nécessaires dans une première partie, la deuxième partie présente les différentes étapes de reconstruction des cheminements de l’eau. Dans une troisième partie, les résultats du réseau reconstruit sont présentés et discutés, avant les conclusions et perspectives de ce travail.

1. Les fichiers d’entrée de l’outil de reconstruction

1.1. La segmentation de l’espace

La reconstruction du réseau se fait sous forme vectorielle, toutefois l’application visée par ce travail est une modélisation grâce à un modèle maillé. Il est donc nécessaire d’intégrer cette contrainte dès le début de la reconstruction en se basant sur une grille à mailles régulières qui sera également utilisée ultérieurement pour la modélisation. Les mailles de cette grille représenteront ensuite les unités de collecte qui recevront les eaux (usées ou pluviales) en entrée et les restitueront vers un exutoire donné.

Pour cela, une grille à mailles régulières de 250m de résolution a été créée grâce à un outil SIG.

1.2. Les données descriptives de la zone d’étude :

1.2.1 Les données d’occupation du sol

Dans le cadre de la reconstruction du réseau d’assainissement artificiel, seules les zones d’habitation et d’activité sont considérées, ce qui permet d’optimiser les temps de calcul.

Pour le projet PIREN-Seine, la base de données utilisée est le Mode d’Occupation du Sol 2012 (MOS2012)¹ qui « est l’atlas cartographique numérique de l’occupation du sol de l’Ile-de-France »¹. Cette base de données est régulièrement mise à jour depuis 1982. Collectées à partir de photos aériennes, les données sont d’une résolution de 25m et de niveaux de détails différents selon la version utilisée.

¹ <http://www.iau-idf.fr/liou-et-vous/cartes-donnees/mode-doccupation-du-sol-mos.html>

Dans le cadre de ce travail, a été utilisée la version de 2012, disponible sur internet en utilisation libre et détaillée en 11 postes :

- 1 = Forêts
- 2 = Milieux semi-naturels
- 3 = Espaces agricoles
- 4 = Eau
- 5 = Espaces ouverts artificialisés
- 6 = Habitat individuel
- 7 = Habitat collectif
- 8 = Activités
- 9 = Equipements
- 10 = Transports
- 11 = Carrières, décharges et chantiers

Ainsi, on remarque d’emblée en observant la figure 1, que la zone étudiée est très urbanisée avec toutefois une certaine diversité d’occupation. Alors que la ville de Paris et les alentours proches sont composés principalement d’habitats collectifs (en vert) , de bureaux (en fushia) et quelques espaces verts artificialisés (en orange), on observe une apparition notable d’habitats individuels (en rose clair) sur la banlieue, accompagnés de bureaux et zone d’activités principalement au nord. Les forêts et espaces agricoles ne feront leur apparition qu’à l’extérieur de la petite couronne, à l’exception des bois de Boulogne et Vincennes et du sud-ouest des Hauts de Seine.

1.2.2 Les données altimétriques

La représentation des cheminements des eaux nécessite la prise en compte du relief, d’une part parce que les écoulements en surface suivent le chemin de la plus grande pente, qu’il est nécessaire de connaître afin de renseigner les transferts par ruissellement, mais aussi dans le but de compléter les données concernant le réseau d’assainissement en cas d’absence de celles-ci.

Pour le projet PIREN-Seine, le modèle numérique de terrain (MNT) utilisé est issu la BD ALTI² de l’IGN, qui est la référence du relief sur le territoire français. La BD ALTI[®] est constituée de fichiers vecteurs structurés issus de la numérisation de l’ensemble des courbes de niveau du territoire français. L’équidistance des courbes peut aller de 5 à 40m. Les données sont saisies sur des cartes IGN au 1 : 25 000, au 1 : 50 000 et à partir d’une restitution issue de prises de vue aériennes.

Le MNT utilisé pour la reconstruction est de 25m de résolution et a été récupéré directement à partir de la base de données de l’IFSTTAR.

1.2.3 Le réseau hydrographique naturel

Bien que ne représentant pas les débits en milieu naturel, l’outil de reconstruction intègre les cours d’eaux naturels qui sont indissociables du réseau artificiel, puisqu’ils constituent l’exutoire préférentiel des eaux pluviales et les premiers points de rejet en cas de problèmes ou de saturation du réseau.

² <http://professionnels.ign.fr/bdalti>

Dans le cadre de ce projet, la base de données BD Carthage³ de l’IGN a été utilisée. Celle-ci représente la référence du réseau hydrographique naturel pour l’ensemble du territoire français. Il s’agit de données vectorielles sous forme de tronçons représentant les principaux cours d’eau.

1.3. Les données descriptives du réseau d’assainissement

Il est nécessaire de disposer de données descriptives du réseau d’assainissement afin d’initialiser le processus de reconstruction. Ces données ont été sélectionnées car elles sont plus ou moins disponibles et fiables et renseignent les emplacements des éléments constitutifs du réseau, à savoir : les regards des différents réseaux (séparatif et unitaire), les ouvrages spéciaux (déversoirs d’orage, stations de pompage, station d’épuration, puits...) et finalement la répartition des surfaces de drainage par station d’épuration. L’utilisation fidèle des emplacements géographiques des regards permet de conserver une bonne représentation des distances, même si certains seront omis.

Dans le cadre du projet PIREN-Seine, puisque les données récupérées comportent également les hauteurs des radiers des regards, l’outil a été modifié afin de prendre en compte cette information, qui était précédemment remplacée (car incomplète ou indisponible) par l’altitude de la surface.

Ces données sont généralement disponibles auprès des exploitants du réseau d’assainissement. L’une des difficultés rencontrées dans ce projet était la multiplicité des acteurs dans le domaine d’assainissement notamment les communes, les départements et le Syndicat interdépartemental de l’assainissement de l’agglomération parisienne (SIAAP).

Etant donnée la résolution de la modélisation visée (250 m), il a été décidé de s’affranchir du réseau communal dans un premier temps. Concernant le réseau départemental, le laboratoire Eau et Environnement de l’IFSTTAR disposait déjà des données nécessaires à la reconstruction du réseau d’assainissement du département Seine Saint-Denis et qui ont été récupérées dans le cadre du projet TrafiPollu. Les demandes sont toujours en cours de traitement concernant les autres départements.

Enfin, les données descriptives du réseau interdépartemental ont été récupérées directement auprès du SIAAP et ont servi de base pour ce travail. Un compte rendu des données récupérées est disponible en annexe.

2. Le processus de reconstitution des cheminements de l’eau en milieu urbain

2.1. Le prétraitement des fichiers

La première étape de la reconstruction consiste en la sélection de la zone à traiter à partir de toute la zone d’étude (Figure 1). En effet, par souci d’économie de temps de calcul, on considère que seules les zones artificialisées sont équipées d’un réseau d’assainissement, ainsi ne sont traitées ni les forêts ni les zones agricoles ni les surfaces d’eaux. Dans le cadre de ce projet, cette sélection s’est faite à partir des postes décrits dans la base de données MOS2012 citée précédemment, dont on a retenu :

- 5 = Espaces ouverts artificialisés
- 6 = Habitat individuel
- 7 = Habitat collectif
- 8 = Activités
- 9 = Equipements
- 10 = Transports

³ <http://professionnels.ign.fr/bdcarthage>

Les surfaces sélectionnées sont ensuite traitées afin de constituer des objets géométriques de taille raisonnable, qui sont ensuite redécoupés suivant les mailles de la grille régulière utilisée lors de la modélisation. Cette grille sera appelée dans la suite : grille de la zone d’habitat.

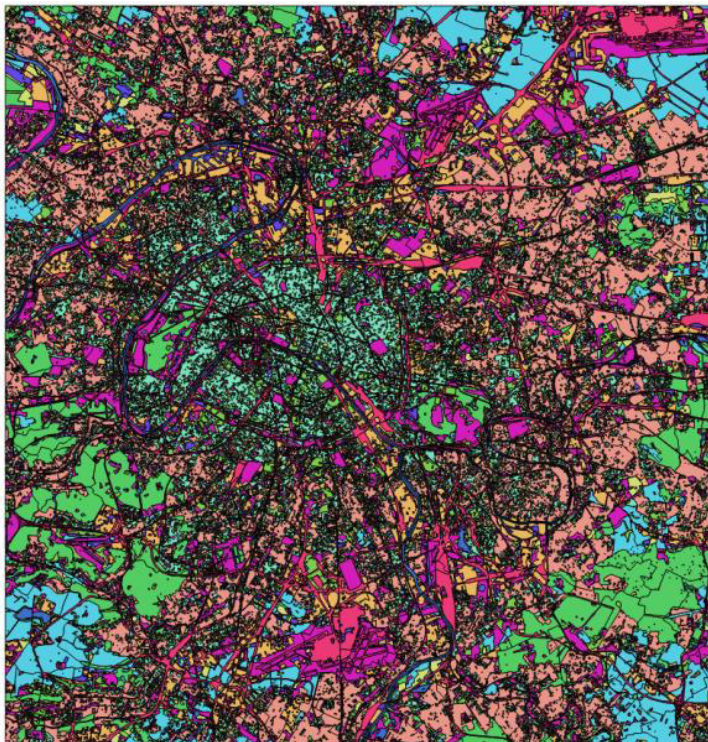


Figure 1 : Carte d'occupation du sol (MOS2012) de la zone d'étude

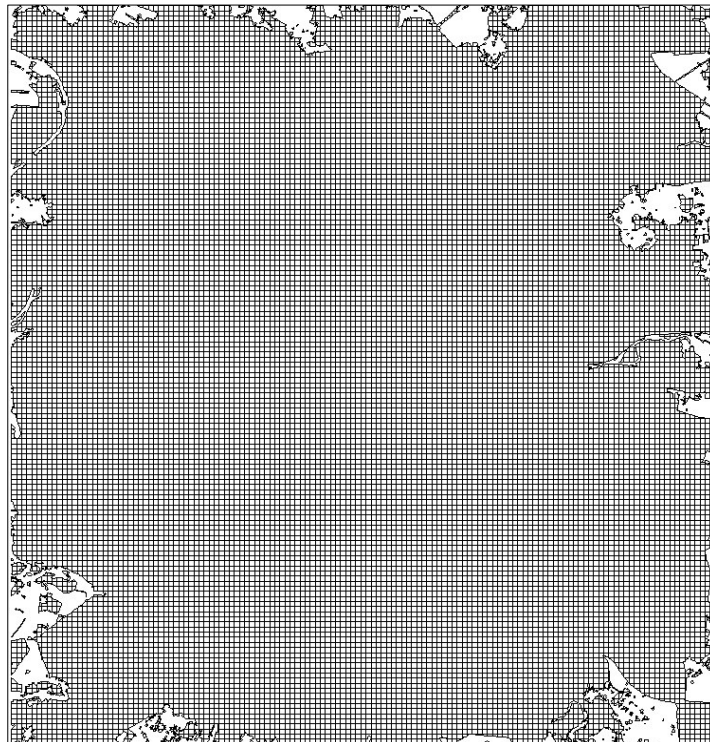


Figure 2: Grille de la zone habitat après traitement et mise en forme

2.2. La sélection des nœuds de l’arborescence

La seconde étape de la reconstruction consiste à choisir des nœuds constitutifs du réseau reconstruit. Cette partie commence par associer à chaque nœud l’altitude correspondante. Cette donnée peut être soit disponible en bonne qualité parmi les données fournies par les exploitants du réseau ou complétées à partir du MNT avec l’hypothèse que le réseau d’assainissement est strictement gravitaire et suit donc la pente du terrain.

Dans le cas du PIREN-Seine, un premier essai a été réalisé en se basant sur le MNT mis à disposition par l’IGN (BD Alti®), cependant les résultats se sont avérés médiocres puisqu’en dehors de la commune parisienne l’écoulement n’est pas toujours gravitaire et ne suit donc pas la pente du terrain. L’outil a donc été modifié afin d’intégrer l’altitude à partir des données fournies par les exploitants. Cette information a été complétée à partir des données du réseau filaire par l’intersection des regards et des tronçons, puis corrigée manuellement par zone.

Il s’agit ensuite de sélectionner pour chaque maille de la grille zone d’habitat, les points exutoires. Il peut s’agir soit de 2 points : le premier drainant les eaux pluviales et le second les eaux usées dans le cas du réseau séparatif, soit d’un seul point drainant tout type d’eaux dans le cas du réseau unitaire.

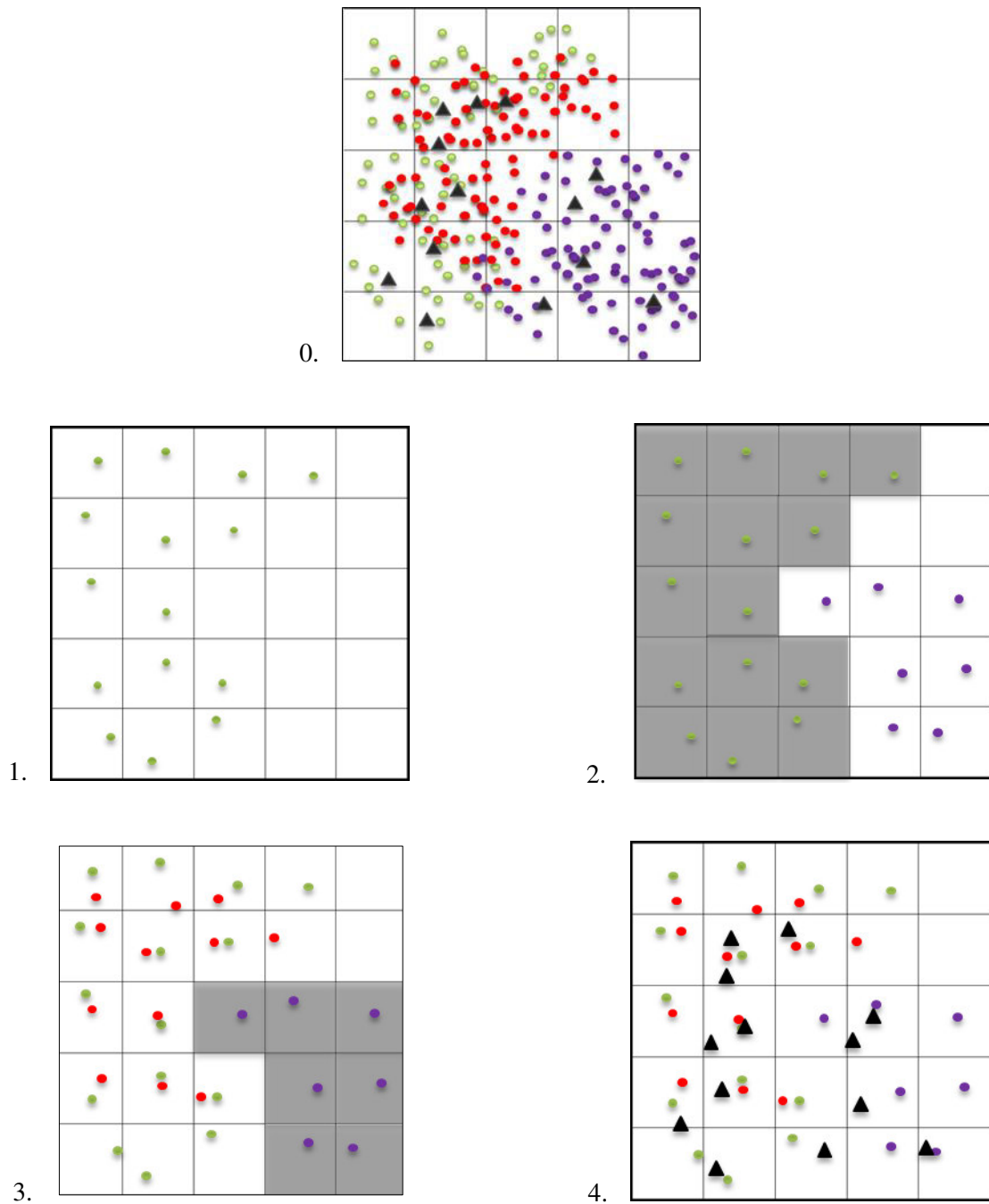


Figure 3: Représentation schématique de la sélection des nœuds du graphe orienté. Les points verts représentent les regards du réseau pluvial, les points en violet représentent les regards du réseau unitaire, les points rouges représentent les regards du réseau d’assainissement et enfin les triangles noirs représentent les ouvrages spéciaux. Les cellules grisées sont celles ignorées lors de l’étape en cours car déjà dotées d’un type réseau. 0) Données initiales. 1) Sélection des regards du réseau pluvial. 2) Sélection des regards du réseau unitaire. 3) Sélection des regards du réseau d’eaux usées. 4) Ajout des ouvrages spéciaux.

Ainsi chaque maille ne peut être dotée que d’un seul et unique type de réseau, d’où la nécessité de favoriser un type de réseau au-delà de l’autre s’ils coexistent sur la même maille.

Dans cet outil, la priorité a été accordée au réseau séparatif. En effet, le réseau séparatif est plus récent, sa configuration est donc également prioritaire dans la réalité, dans le sens où il recevra la majorité des effluents. C’est aussi le réseau priorisé en termes de développement et de connexion à l’avenir.

Dans le cas du PIREN-Seine, cette hypothèse a été confirmée pour de nombreux cas, notamment sur le Val de Marne où la question s’est posée à plusieurs reprises. Le réseau séparatif, en plus d’être le plus récent et le mieux développé, reçoit in-fine les effluents collectés par le réseau unitaire dans ses conduites d’eaux usées. Ainsi, il n’est pas erroné de considérer une connexion directe entre les mailles et le réseau séparatif en omettant ponctuellement le réseau unitaire si les deux réseaux sont présents parallèlement sur une zone.

Enfin, le choix du réseau à représenter, s’il n’influence pas les volumes collectés en général, va influencer les débits aux exutoires puisque dans les cas particuliers où le réseau unitaire ne se déverse pas dans le réseau d’eaux usées, l’exutoire final obtenu après reconstruction sera différent de la réalité. D’où la nécessité d’étudier le fonctionnement du réseau réel non seulement pour reconstruire celui-ci de façon adaptée mais également pour étudier les limites de la représentation obtenue.

Ainsi, les nœuds du réseau arborescent ont été sélectionnés selon l’algorithme suivant, schématisé sur la figure 4 :

1. On commence par sélectionner pour chaque maille le regard du réseau d’eaux pluviales avec la plus basse altitude, s’il en existe, et qui sera l’exutoire des eaux de pluie sur cette maille.
2. On sélectionne ensuite le regard du réseau unitaire avec la plus basse altitude, s’il en existe et si la maille ne dispose pas déjà d’un exutoire vers le réseau d’eaux pluviales.
3. Enfin, on sélectionne le regard d’eaux usées avec la plus basse altitude sur les zones sans réseau d’assainissement ou uniquement avec un réseau séparatif (autrement dit, où on aurait déjà enregistré un regard d’eaux pluviales).
4. Finalement, on ajoute les ouvrages spéciaux présents sur la zone sans tri, notamment les déversoirs d’orage, les stations de relevage et les stations d’épuration, à l’ensemble des regards sélectionnés.

Pour résumer, chaque maille de la grille de la zone habitée se voit dotée d’un exutoire des eaux de pluies et/ou des eaux usées, à condition qu’il en figure dans les données initiales récupérées auprès des exploitants. La figure 4 récapitule les cas qu’il serait possible d’obtenir.

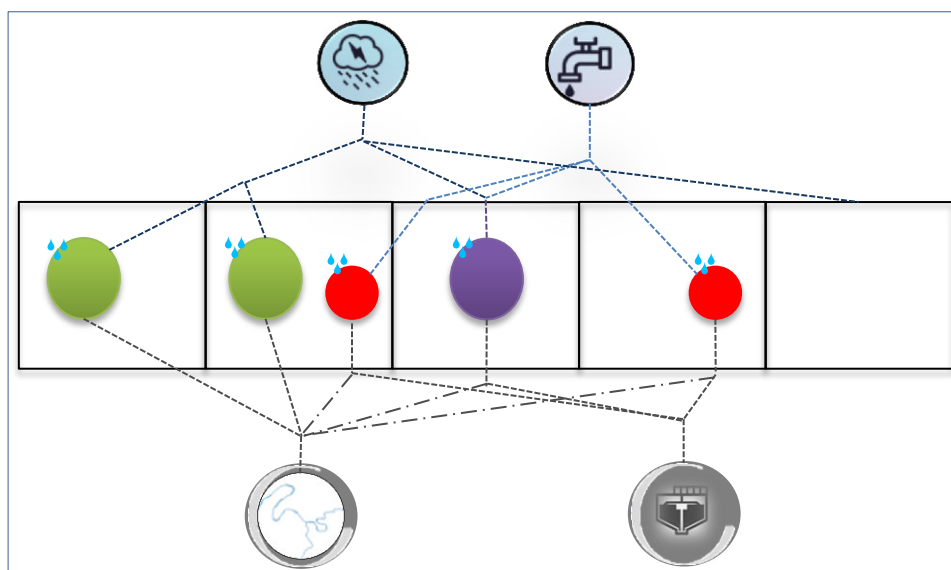


Figure 4 : Schéma résumant les cas possibles de nœuds par maille, avec le type d'effluent et l'exutoire possibles. Les disques verts symbolisent le réseau d'eau pluviale, les rouges le réseau d'eaux usées et le disque violet le réseau unitaire. En entrée (en haut), les symboles représentent l'eau de pluie (à gauche) et l'eau potable (à droite) et en sortie (en bas), le milieu naturel (à gauche) et les STEP (à droite).

Les regards et ouvrages spéciaux sélectionnés constitueront les nœuds de l'arborescence du réseau d'assainissement, mais également les points de connexion avec le milieu naturel.

L'étape suivante consiste donc à relier les différents nœuds du réseau. Pour ce faire, on construit des arcs sous forme de lignes orientées, par étape, et suivant des conditions particulières.

2.3. La connexion des ouvrages spéciaux

La connexion des ouvrages spéciaux constitue une étape importante de la reconstruction puisqu'en plus d'imposer des conditions particulières elle doit se faire en deux étapes : la connexion à l'amont et la connexion à l'aval. Les ouvrages spéciaux ne sont connectés qu'aux réseaux d'eaux usées et unitaires, les stations de relevage du réseau pluvial ne sont donc pas considérées. Ceci peut présenter une difficulté, puisque sur Paris et la petite couronne, de nombreuses stations de relevage appartiennent au réseau pluvial.

Les conditions de connexion des ouvrages spéciaux visent à s'assurer de l'utilité de l'ouvrage à la résolution à laquelle on reconstruit le réseau et que les contraintes ayant nécessité l'ajout de l'ouvrage spécial sur le terrain ne sont pas des conditions intra-maille lors de la modélisation.

2.3.1. Les stations de relevage :

En amont, la station de relevage doit être connectée au regard appartenant à la même maille, puisqu'à priori c'est dans l'environnement immédiat de la station que les eaux se retrouvent en basse altitude et nécessitent d'être remontées (Figure 5).

En aval, la connexion doit satisfaire deux conditions :

- La distance au regard suivant, et donc la longueur de l'arc de connexion, doit être inférieure à 3 fois la résolution du modèle
- La pente de l'arc doit être négative, afin de remonter les eaux.

Si ces conditions ne sont pas satisfaites, la station de relevage est supprimée.

Dans le cas du PIREN-Seine, seules les stations de pompage menant vers la station d'épuration Seine Amont à Valenton n'ont pas été considérées, car les altitudes des STEP ne sont pas prises en considération, alors l'outil ne pouvant créer un arc avec une pente négative omet la station de relevage.

2.3.2. Les déversoirs d'orage

En amont, la connexion des déversoirs d'orage se fait de la même façon que pour les stations de relèvement, et donc chaque déversoir est relié au regard inclus dans la même maille que lui. Cependant, étant donné les renseignements dont on dispose habituellement, il est rare de voir indiqués les déversoirs d'orage en tant que tels. Ce sont les points de déversements dans le milieu naturel qui sont le plus souvent indiqués sur les rapports comme sur les cartes. Ceci pose question quant aux bassins versants drainés par les déversoirs d'orage que délimite l'outil ensuite, car concrètement cela signifie que les exutoires ne sont pas correctement renseignés.

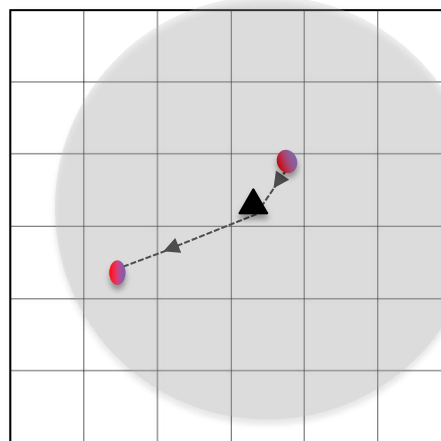


Figure 5 : Schéma de connexion d'une station de pompage (représentée par un triangle). Les nœuds amont et aval appartiennent au réseau unitaire ou d'eaux usées. La surface grisée correspond à la zone dans laquelle est recherché le nœud aval de la station.

En aval, le déversoir d’orage est connecté au cours d’eau le plus proche ou à un tronçon du réseau d’eaux pluviales selon les conclusions apportées par l’étude du réseau réel réalisée avant la reconstruction.

2.3.3. Les stations d’épuration (STEP)

Enfin, les emplacements géographiques des STEP sont renseignés sans tenir compte des altitudes de celles-ci puisqu’on considère que quelle que soit la configuration du réseau d’assainissement, les STEP constituent les exutoires finaux et donc les points finaux de l’arborescence (les déversoirs d’orage mis à part).

2.4. La connexion des nœuds des réseaux artificiels

La connexion des nœuds se fait grâce à la création de lignes orientées. Celles-ci permettent donc d’intégrer des informations supplémentaires telles que les longueurs des tronçons représentés et leurs pentes, mais surtout des informations relatives aux points initiaux et finaux ce qui permet d’obtenir un graphe avec des tronçons connectés et orientés.

2.4.1 Les regards d’eaux usées et du réseau unitaire :

La connexion des nœuds des différents réseaux, représentée sur la figure 6, se fait selon certaines conditions :

- 1- Les connexions des réseaux d’eaux usées et unitaire sont créées simultanément.
- 2- Chaque nœud peut avoir plusieurs connexions amont mais une seule connexion aval. Ainsi, il peut recevoir les effluents de plusieurs tronçons mais ne peut transférer que vers une seule autre conduite.
- 3- Les arcs de connexion doivent avoir une pente *positive*
- 4- La longueur d’un arc de connexion ne peut dépasser *3 fois la résolution* du maillage.

Finalement, il existe certains cas particuliers et minoritaires où il n’est pas possible de satisfaire ces conditions, alors on connecte au regard le plus proche.

2.4.2 Les regards d’eaux pluviales :

La connexion des nœuds du réseau d’eaux pluviales, comme le montre la figure 7, se fait selon la même logique, mais de façon plus simplifiée, ainsi :

- 1- Chaque nœud peut avoir plusieurs connexions amont mais une seule connexion aval. Il peut donc recevoir les effluents de plusieurs tronçons mais ne peut transférer que vers une seule autre conduite.
- 2- Les arcs de connexion doivent avoir une pente *positive*
- 3- La longueur d’un arc de connexion ne peut dépasser *2 fois la distance* séparant le cours d’eau du nœud à connecter.

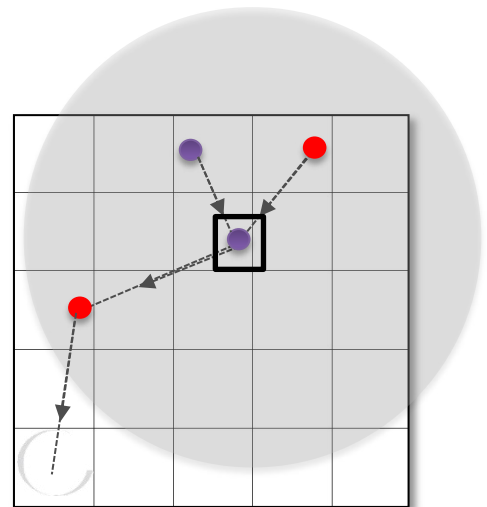


Figure 6 : Schéma de connexion des nœuds du réseau unitaire (mauve) et du réseau d’eaux usées (en rouge) jusqu’à la STEP. Le disque grisé représente la zone dans laquelle est recherché le nœud aval du nœud encadré

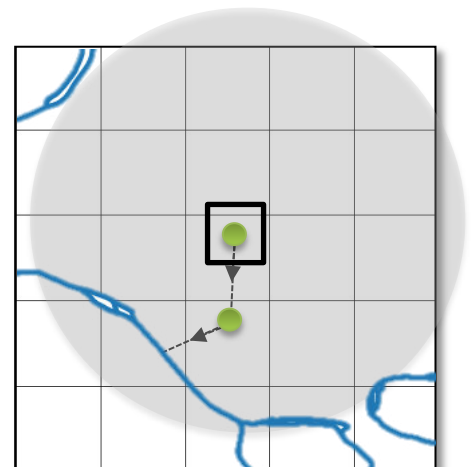


Figure 7 : Schéma de connexion des nœuds du réseau d’eaux pluviales (en vert) jusqu’au milieu naturel. Le disque grisé représente la zone dans laquelle est recherché le nœud aval du nœud encadré

S’il n’est pas possible de satisfaire ces conditions, le regard est directement raccordé au milieu naturel.

2.4.3 Les cheminements des eaux en versant :

A l’issue de la reconstruction du réseau d’assainissement, nous obtenons un graphe orienté tenant compte des différents types de réseaux hydrographiques naturels et artificiels et de leurs connexions. Cependant, cela ne garantit pas la connexion de toutes les unités de collecte sur la zone et donc de toutes les mailles de la grille d’étude (indépendamment de la grille de la zone d’habitat). Ainsi afin d’assurer le transfert des eaux depuis ces mailles vers les différents exutoires, on utilise l’algorithme D8, schématisé sur la figure 8, qui permet d’obtenir les directions d’écoulement. Cette méthode se base sur le calcul des dénivelés entre le centre de chaque maille et les centres des mailles qui lui sont adjacentes puis la sélection de la direction la plus pentue. Ce processus est ensuite réitéré jusqu’à atteindre une maille dotée d’un exutoire des eaux pluviales (ce qui peut donc être un regard unitaire, un regard d’eaux pluviales ou un cours d’eau naturel).

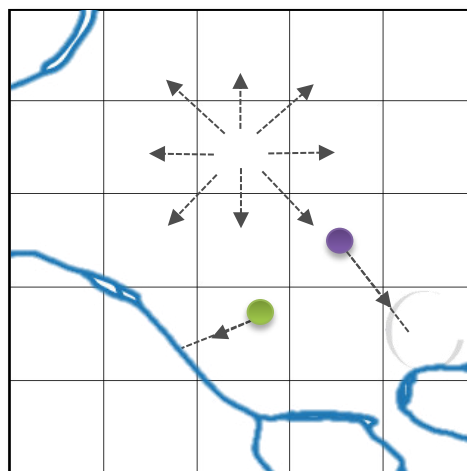


Figure 8: Schéma de calcul du cheminement de l'eau en versant suivant l'algorithme D8. Le nœud en vert représente le réseau d'eaux pluviales. Le nœud en mauve représente le réseau unitaire

A la suite de ce traitement, toutes les mailles disposent d’un exutoire des eaux pluviales, soit vers un nœud qu’elles contiendraient ou vers une maille adjacente et se trouvent être « connectées » au réseau d’eaux pluviales. En revanche, la connexion « eau usée » ne se fait que si la maille contient un nœud du réseau unitaire ou du réseau d’eaux usées.

Une fois que le cheminement des eaux à partir de chaque maille est déterminé, l’outil est en mesure de représenter les bassins versants sur la zone d’étude. Ceux-ci dépendent naturellement des exutoires indiqués par l’utilisateur qui peut choisir des nœuds à partir des réseaux artificiels ou du réseau naturel et qui viendront s’ajouter aux déversoirs d’orage et maillages étudiés par défaut.

L’outil permet alors de délimiter les bassins versants drainés par chaque nœud ou ouvrage.

2.5. Adaptation à la zone de Paris et sa petite couronne

Comme expliqué précédemment, de nombreuses modifications ont été apportées à l’outil avant de reconstruire le réseau d’assainissement parisien, et ce, afin de décrire ses particularités propres. Ainsi, en plus de l’utilisation des altitudes des regards fournies par les exploitants du réseau au lieu de l’altitude de surface à partir du MNT, il a également été nécessaire de représenter la chaîne de transport des effluents qui caractérise le réseau d’assainissement parisien, la connexion du réseau unitaire vers le réseau d’eaux usées ainsi que des connexions particulières permettant deux destinations avales des effluents.

2.5.1 Chaîne de transport des effluents

La mission de transport des effluents assurée par le réseau d’assainissement parisien a pour caractéristique d’être divisée en étapes. Après la collecte, les effluents sont transportés dans le réseau d’assainissement communal qui se déverse dans le réseau départemental. Les eaux sont encore transportées dans celui-ci jusqu’au réseau interdépartemental qui se charge alors d’envoyer les eaux vers les stations d’épuration. Dans le cadre de cette représentation, nous avons choisi de nous affranchir dans un premier temps du réseau communal, le réseau départemental étant assez dense pour couvrir presque toute la zone. Toutefois, il a fallu prendre en considération cette chaîne de transport à travers la hiérarchisation des réseaux et s’assurer que le

réseau départemental transfère les effluents vers le réseau interdépartemental, mais que le cas inverse ne peut se produire.

2.5.2 La connexion du réseau unitaire et du réseau d’eaux usées

Historiquement, le réseau unitaire est le plus ancien et donc celui relié directement à la station d’épuration. L’évolution des pratiques a ensuite mené à la construction de réseaux séparatifs afin de desservir les nouvelles zones urbanisées autour du réseau unitaire historique. Celui-ci reçoit alors les effluents du réseau d’eaux usées, en moindres quantités puisque séparés des eaux pluviales. L’unité urbaine parisienne représente cependant une exception à cette règle. En effet, bien que la ville de Paris et ses alentours soient dotés d’un réseau d’assainissement unitaire et encerclés par un réseau séparatif, les STEP ont été pour la majorité construites à posteriori dans la périphérie de la ville afin de soulager la STEP Seine Aval. Elles ont donc été connectées directement au réseau séparatif qui dorénavant recevrait également une partie des effluents du réseau unitaire.

Afin de représenter le réseau d’assainissement de Paris et de sa petite couronne, il a été nécessaire de s’adapter à cette particularité. Ainsi, en plus des connexions classiques qui mènent les eaux usées du réseau séparatif vers le réseau unitaire, la possibilité de transférer les effluents collectés par le réseau unitaire vers le réseau d’eaux usées a été développée.

2.5.3 Les connexions particulières

Une autre des particularités du réseau de Paris et sa petite couronne est l’existence de maillages. On signifie par maillage un point du réseau d’assainissement où il est possible d’avoir deux destinations avales des effluents modifiant ainsi l’exutoire final des eaux, en particulier des eaux usées. Ainsi, dans le cadre du programme PIREN-Seine, l’outil a été modifié afin d’intégrer cette possibilité. En certains points particuliers, déterminés grâce à l’étude du réseau et des entretiens avec les exploitants, il est possible de définir deux conduites avales et de poser une condition limite de débit au-delà duquel soit l’exutoire est modifié soit le débit est partagé entre les deux exutoires indiqués.

Aussi, sur ce même réseau certains cas particuliers ont été relevés, notamment des liaisons depuis le réseau d’eaux pluviales vers le réseau unitaire. Par souci de simplification et puisque c’est un cas exceptionnel, il a été traité comme un maillage qui serait toujours actif et dont la condition limite serait un débit supérieur à 0.

2.6. Les fichiers d’entrée du modèle TEB-Hydro

La dernière étape du code est la création des fichiers d’entrée du modèle TEB-Hydro qui décrivent les cheminements de l’eau. Ceux-ci sont au nombre de 6 et décrivent pour certains les exutoires choisis alors que les autres fournissent des données pour chaque maille.

`XDATA_ROUT_BETWEEN_OUTLET` décrit les différents exutoires sélectionnés. Il comprend donc les débits-limite des déversoirs d’orage et maillages et leurs exutoires alternatifs s’ils ne sont pas activés. Il décrit également les exutoires avals des exutoires étudiés, ainsi il est possible d’étudier les différents sous-bassins de la zone.

`XDATA_ROUT_OUTLET` indique les exutoires disponibles pour chaque maille par type d’effluents et d’écoulement, à savoir l’exutoire des eaux pluviales en surface, l’exutoire des eaux usées et l’exutoire des eaux pluviales souterraines après infiltration.

XDATA_ROUT_DDRAIN, XDATA_ROUT_DHILL, XDATA_ROUT_DRIVER, XDATA_ROUT_DSEWER décrivent les différentes distances parcourues par les effluents respectivement en souterrain, en surface, dans la rivière et dans le réseau.

3. Résultats

3.1. Evaluation du réseau d’assainissement reconstruit

Afin d’évaluer le réseau d’assainissement reconstruit par l’outil, une première comparaison visuelle avec les données filaires représentant le réseau réel a été réalisée. On observe alors :

À l’échelle interdépartementale :

- le réseau, bien que simplifié, est très bien représenté comme le montre la comparaison visuelle des représentations réelles et reconstruites sur les figures 9 et 10. En effet, le réseau interdépartemental a une résolution tout-à-fait cohérente avec une grille de résolution de 250 m.
- certaines simplifications ont été introduites, notamment en zones de réseau dense à l’amont de la station d’épuration Seine Amont (1) par exemple, ou lorsque les différents types de réseau (unitaire, pluvial et d’eaux usées) coexistent en parallèle telle que la vallée de la Bièvre(2), ce qui était parfaitement attendu et même recherché en vue de la modélisation hydrologique prévue.
- le réseau d’assainissement obtenu est tout à fait fonctionnel. Les exutoires des tronçons demeurent à priori inchangés et ce, malgré certaines modifications au niveau des cheminements des effluents(3) qui pourraient toutefois affecter les distances parcourues par les eaux vers leurs exutoires.
- l’absence notable des stations de relèvement Sésame et VL2 qui ont pour rôle de relever les eaux vers Seine Amont, ceci est dû en particulier à l’absence d’altitude des stations d’épuration lors des calculs des connexions, celles-ci étant considérées par défaut comme les points les plus bas du réseau.
- les conduites menant les effluents vers les stations d’épuration Seine Centre et Seine Grésillons ont été volontairement supprimées, car en l’absence des dites stations, les regards de ces conduites perturbaient la reconstruction du réseau en générant des connexions inexistantes en réalité.

À l’échelle départementale :

- les changements sont bien plus visibles et moins localisés
- la représentation des grands axes demeure fidèle
- une analyse plus détaillée du réseau d’assainissement (comparaison des bassins versants, évaluation de la fonction largeur de ceux-ci...) est nécessaire afin d’évaluer les résultats obtenus

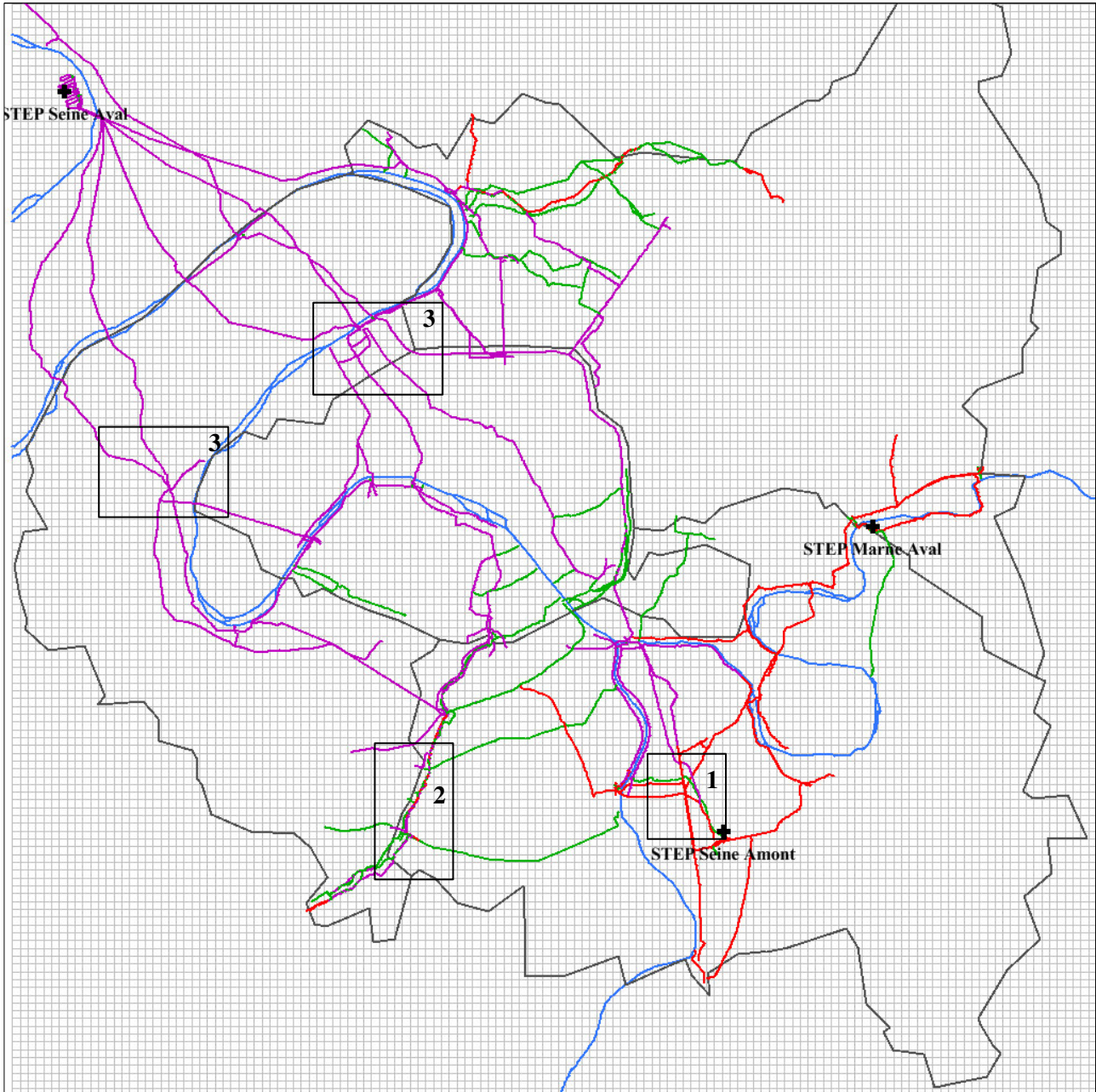


Figure 9 : Réseau d’assainissement interdépartemental. Le réseau unitaire est représenté en mauve, le réseau d’eaux usées est représenté en rouge et le réseau pluvial est représenté en vert. Le symbole ■ représente les stations d’épuration. Les encadrés chiffrés permettent de cibler les différences avec le réseau reconstruit (Figure 10) et correspondent aux exemples décrits en 3.1

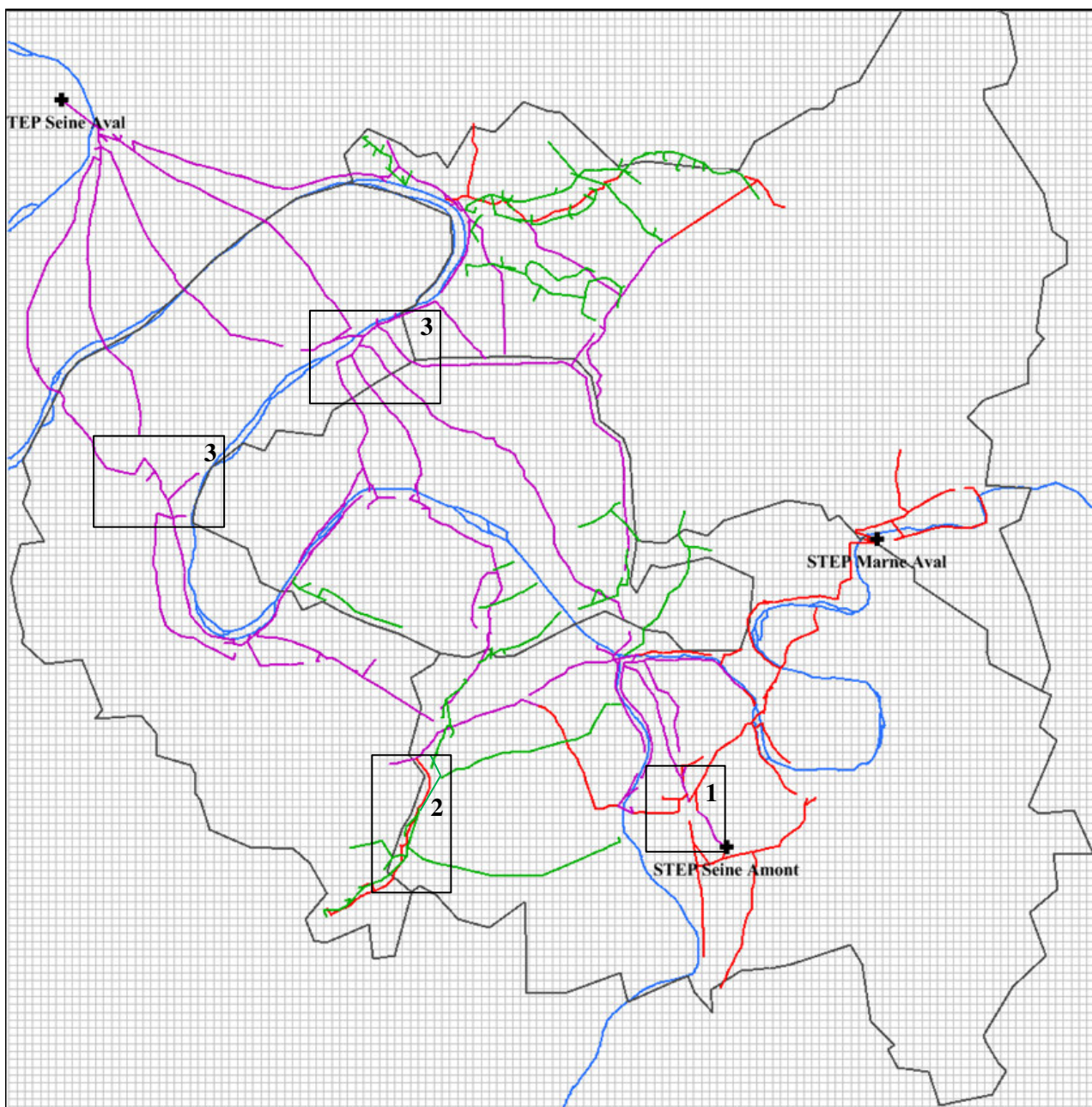


Figure 10 : Réseau d’assainissement interdépartemental reconstruit. Le réseau unitaire est représenté en mauve, le réseau d’eaux usées est représenté en rouge et le réseau pluvial est représenté en vert. Le symbole ■ représente les stations d’épuration. Les encadrés chiffrés permettent de cibler les différences avec le réseau réel (Figure 9) et correspondent aux exemples décrits en 3.1

3.2. Les exutoires étudiés

Comme cité précédemment, les exutoires étudiés sont choisis par l’utilisateur et viennent s’ajouter aux déversoirs d’orage et maillages étudiés par défaut.

Dans le cas du programme PIREN-Seine, 12 exutoires ont été choisis pour une première évaluation. Ils sont décrits sur le tableau 1 et représentés sur la Figure 11.

Tableau 1: Résumé des exutoires étudiés

	Exutoire	Type de réseau
1	STEP : Seine Amont	Réseau interdépartemental
2	STEP : Seine Aval	Réseau interdépartemental
3	STEP : Marne Aval	Réseau interdépartemental
4	Aval de Paris	Réseau naturel
5	Aval de la Marne	Réseau naturel
6	Aval de la Seine	Réseau naturel
7	Unitaire Paris (SSD)	Réseau unitaire départemental (93)
8	Unitaire Central (SSD)	Réseau unitaire départemental (93)
9	Unitaire Seine(SSD)	Réseau unitaire départemental (93)
10	Séparatif Seine (SSD)	Réseau d’eaux pluviales départemental (93)
11	Morée Sausset (SSD)	Réseau d’eaux pluviales départemental (93)
12	Marne Rive D&G (SSD)	Réseau d’eaux pluviales départemental (93)

Les 3 premiers exutoires correspondant aux stations d’épuration permettraient, avec un réseau bien décrit, d’estimer correctement les eaux usées produites par les 4 départements. Bien que les mesures effectuées aux entrées des différentes STEP comprennent en plus des eaux usées, les eaux pluviales, les eaux d’exhaure, les eaux d’infiltration ainsi que les eaux d’entretiens du réseau, il serait possible, à partir d’une étude bibliographique (Gromaire, 1998), d’analyser ces flux et d’en déduire une estimation plus ou moins acceptable.

Les différents exutoires choisis au niveau du réseau naturel permettraient d’évaluer les rejets de chaque département en tenant compte des rejets des déversoirs d’orage et du ruissellement et fourniraient ainsi des pistes d’exploration en vue d’une étude approfondie des rejets vers le milieu naturel et de l’impact de l’urbanisation sur les cours d’eau naturels en général.

Enfin, les nœuds du réseau départemental de Seine-Saint-Denis ont été choisis afin de comparer les résultats obtenus, flux et bassins versants drainés, aux données disponibles sur les différents rapports d’exploitation et d’auto-surveillance de la DEA93.

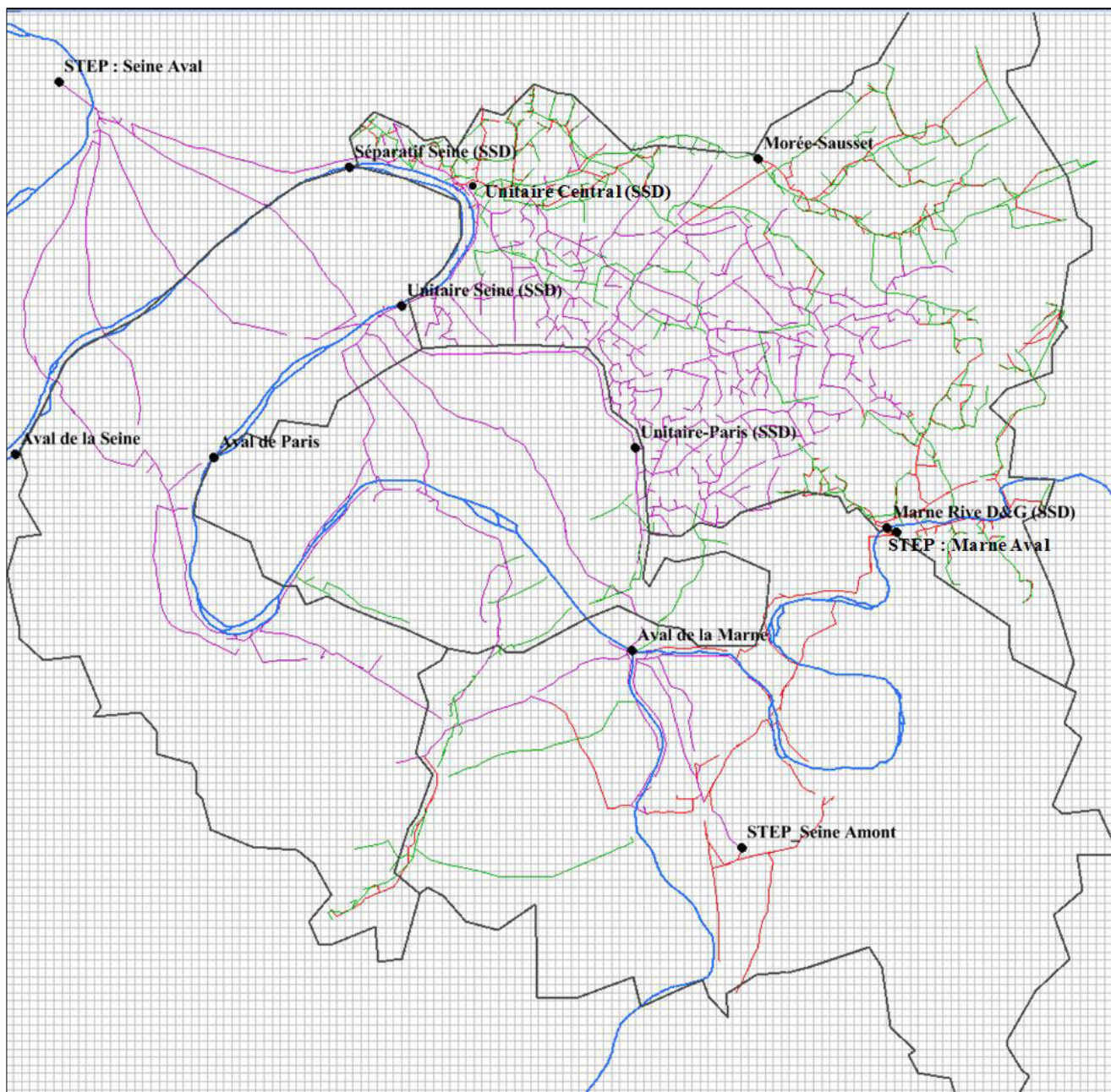


Figure 11: Localisation des différents exutoires étudiés

De plus, 19 déversoirs et 5 maillages ont également été étudiés afin de délimiter les bassins drainés et plus tard les flux déviés par chacun d’entre eux. Les déversoirs d’orage, très nombreux sur la zone d’étude, ont été triés pour n’en garder que les plus actifs qui contribuent majoritairement aux déversements en milieu naturel ainsi que ceux pour qui nous disposons initialement de données d’exploitation (volumes déversés, bassins versants drainés...) afin de pouvoir évaluer les résultats obtenus.

3.3. Evaluation des bassins versants obtenus

Dans un souci de clarté, les cartes suivantes représentent les bassins versants drainés par les exutoires par parties. On analyse dans un premier temps les bassins versants des déversoirs d’orage représentés sur la figure 12, ensuite les bassins versants des STEP sur toute la zone d’étude sur la figure 13 avant d’analyser en particulier le département Seine Saint Denis.

3.3.1. Paris et sa petite couronne

Le premier constat est que la majorité des mailles sont drainées par ruissellement et ne sont pas connectées au réseau d’assainissement, ce qui dans le cas de l’agglomération parisienne, représente certainement une erreur majeure. Celle-ci est évidemment due au manque de données descriptives du réseau d’assainissement départemental.

La délimitation des aires drainées par les déversoirs d’orage est ainsi basée en grande partie sur le ruissellement de surface.

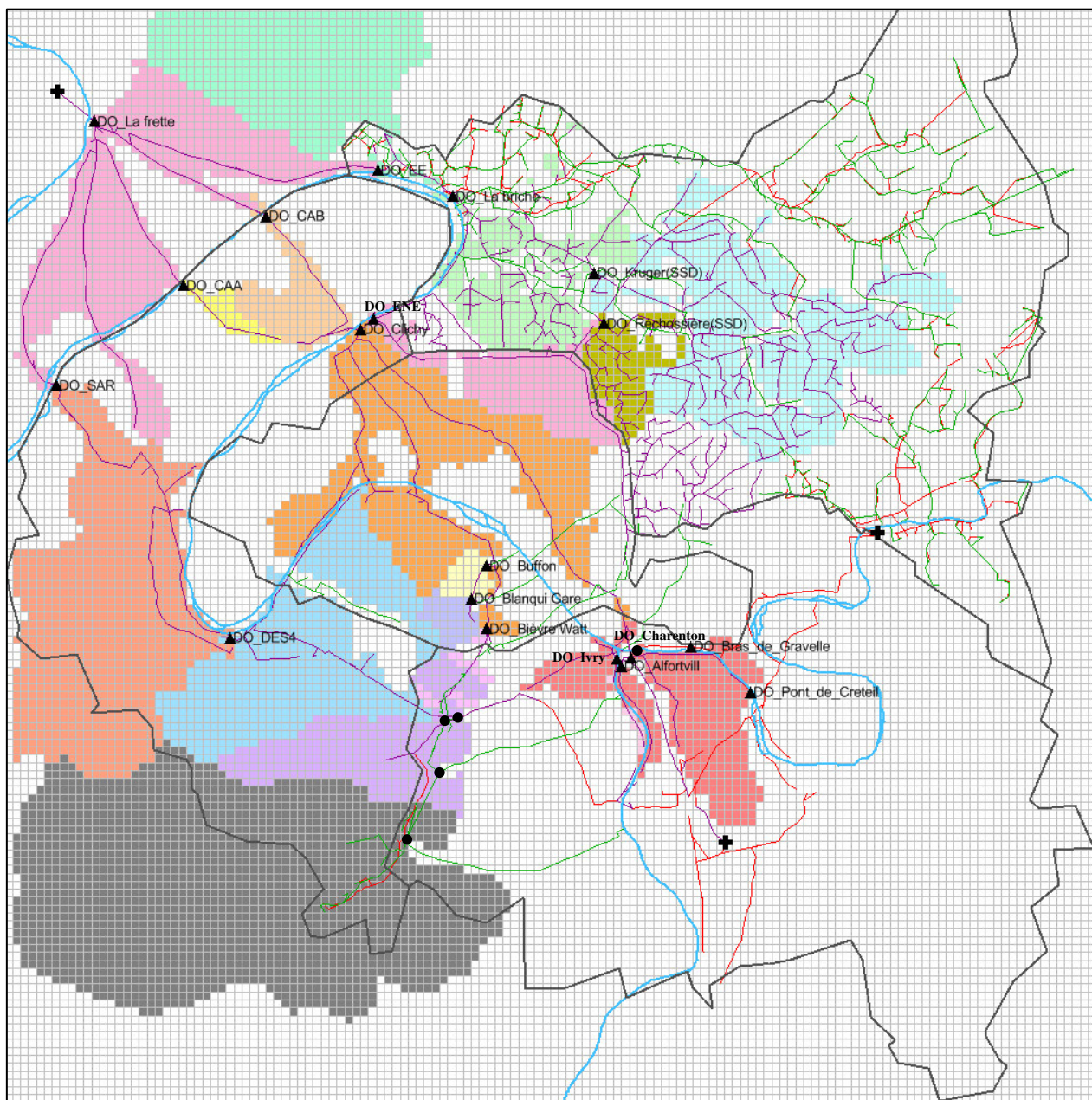


Figure 12: Bassins versants drainés par les déversoirs d’orage. Les déversoirs d’orage sont représentés par des triangles et les maillages par des cercles.

En considérant un fonctionnement parfait qui n’engendrerait aucun déversement des eaux usées dans le milieu naturel, on observe que les stations d’épuration considérées ne drainent qu’une faible partie de la zone étudiée comme ce devrait être le cas. Ainsi, le nombre de mailles drainées par les cours d’eaux naturels

(Seine et Marne), représentées en gris sur la figure 13, reste très important et donc irréaliste pour une zone aussi densément peuplée et desservie par un réseau unitaire

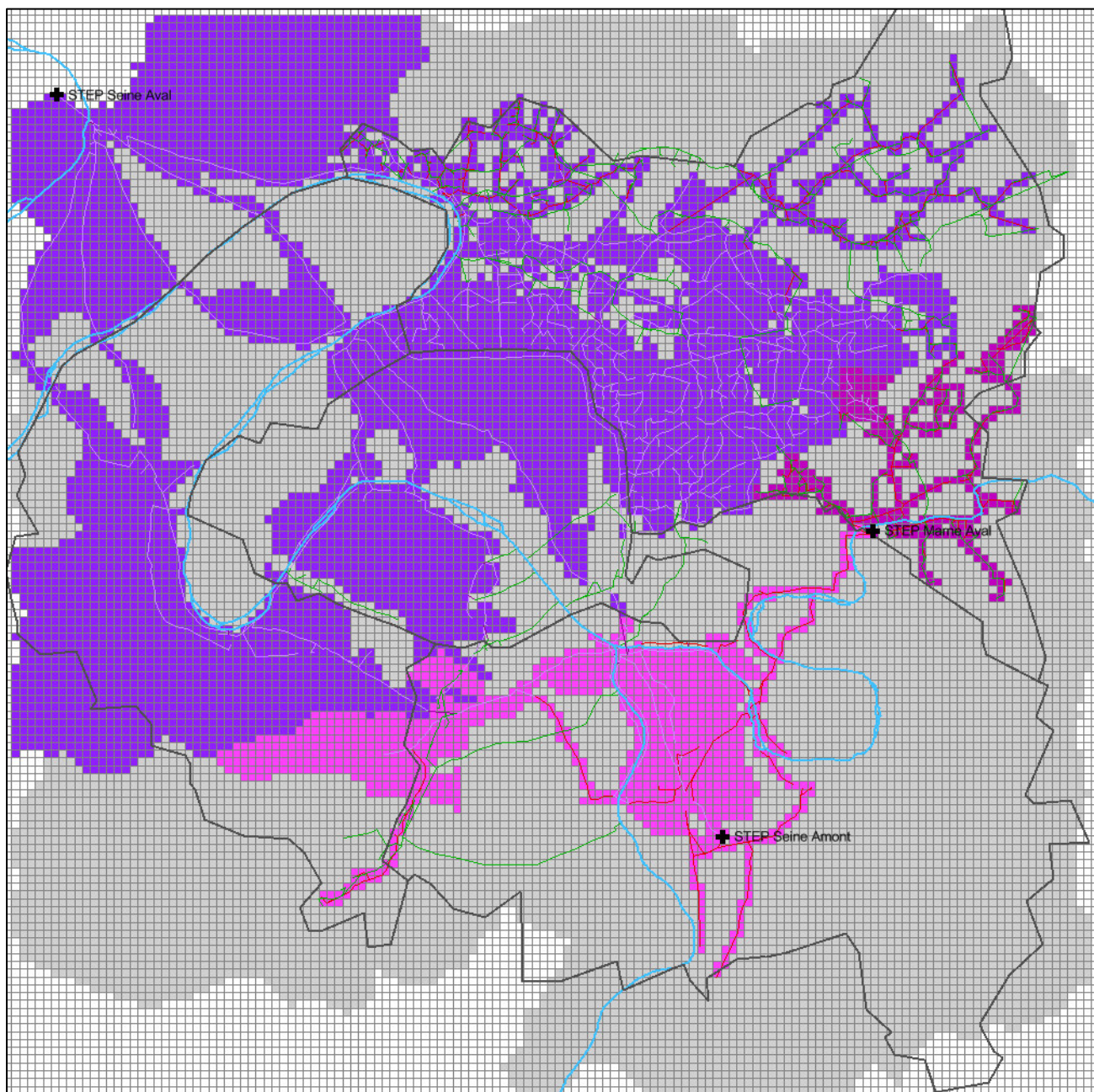



Figure 13: Bassins versants drainés par les stations d’épuration indiquées par des . Fushia pour la STEP Seine Amont, mauve pour la STEP Marne Aval et violet pour la STEP Seine Aval. Les zones en gris délimitent les aires drainées par la Seine.

Cette absence d’informations initiales rend les résultats obtenus peu vraisemblables et donc peu exploitables. Nous avons donc choisi dans la suite de nous restreindre à l’étude du département de Seine-Saint-Denis pour lequel on dispose davantage de données et pour lequel il a été possible de reconstruire le réseau.

3.3.2. Le département Seine-Saint-Denis

Concernant le département 93, nous avons choisi d’emblée les exutoires indiqués sur le bilan des Rejets au Milieu Naturel de 2014 (DEA93, 2014) dans le but de comparer les bassins versants indiqués sur celui-ci (Figure 14) aux résultats obtenus (Figure 15).

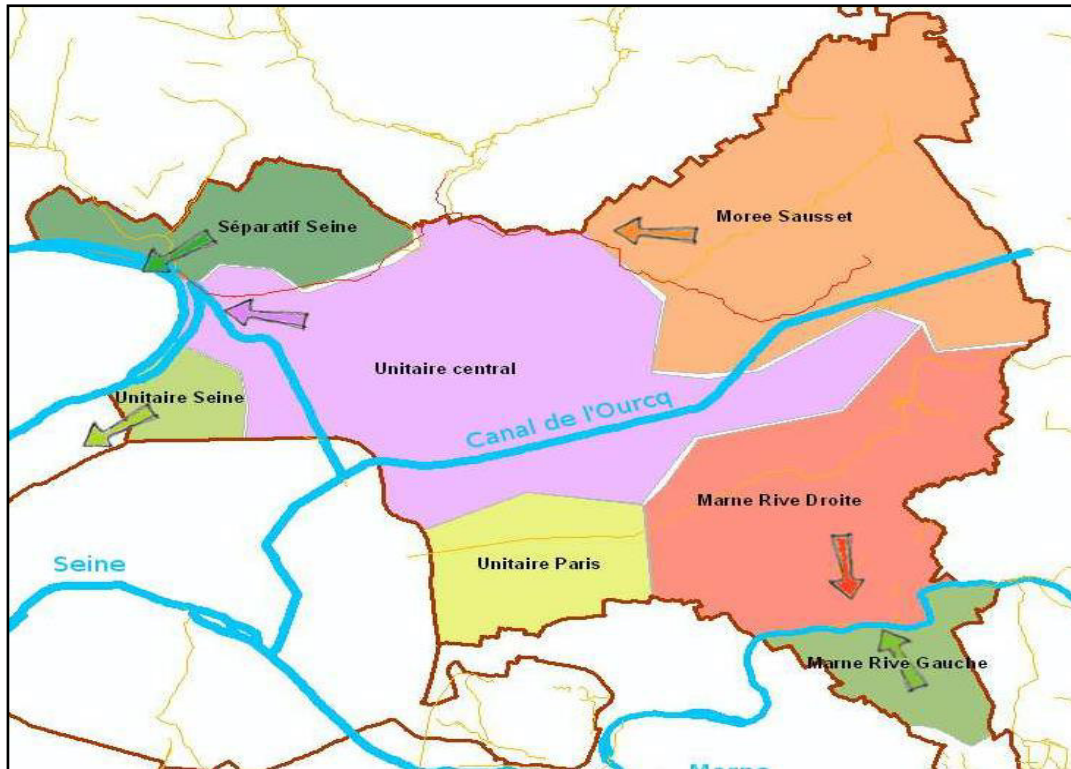


Figure 14 : Carte des bassins versants pluviaux du département Seine-Saint-Denis issue du bilan des rejets vers le milieu naturel de 2014 (DEA93, 2014)

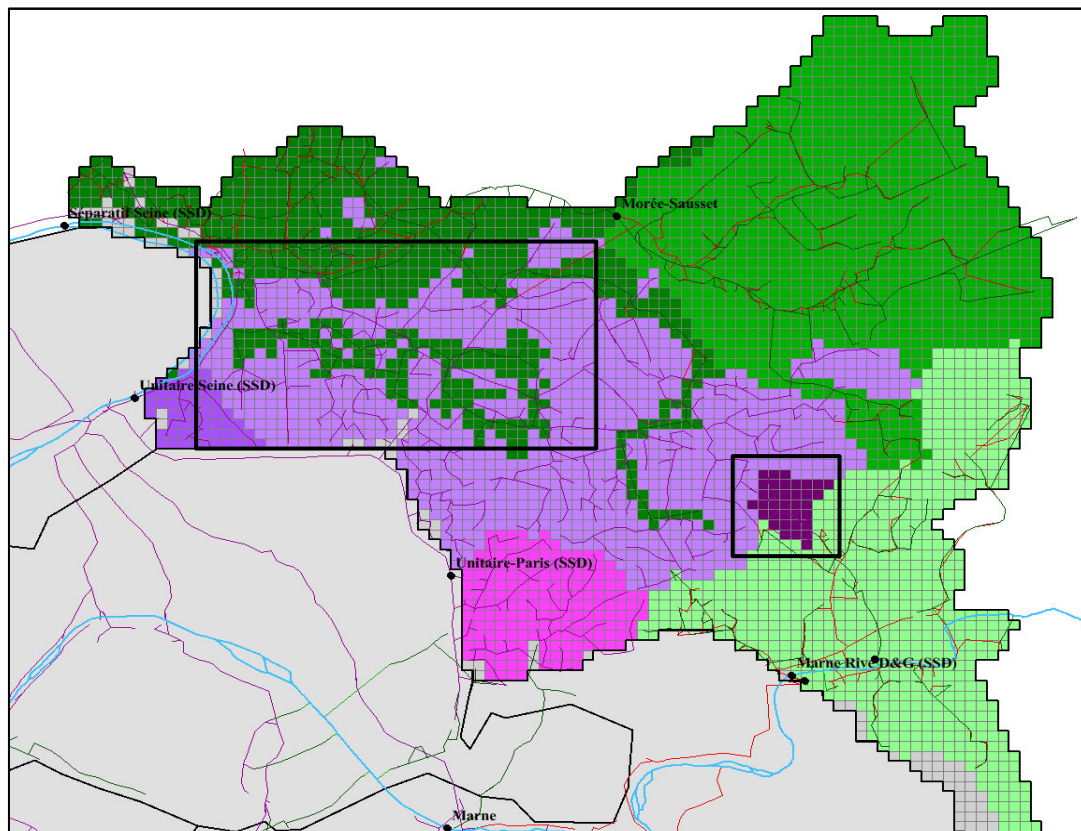


Figure 15 : Carte des bassins versants pluviaux de Seine-Saint-Denis obtenus après reconstruction. Les bassins colorés en tons de vert sont drainés par des réseaux séparatifs et ceux en tons de mauve sont drainés par des réseaux unitaires. Les encadrés correspondent aux zones représentées sur les figures 16 et 17.

Il est à noter qu’étant données les données d’évaluation dont nous disposons, les exutoires ont été renseignés de façon approximative. Cela, en plus de la résolution du maillage, influence nécessairement les résultats obtenus. Enfin, puisqu’il s’agit de données issues d’un rapport numérisé, la comparaison ne peut se faire que visuellement et ne concernera que les bassins versants pluviaux.

Les résultats obtenus semblent très encourageants. En effet, les bassins réels sur la figure 14 et ceux issues de la reconstruction du réseau représentés sur la figure 15, concordent globalement, bien que leurs limites ne soient pas très précises.

- Ainsi, le réseau d’assainissement départemental reconstruit permet d’obtenir à quelques détails près les mêmes bassins (Marne Rive Droite et Marne Rive Gauche, Unitaire Paris, Unitaire Seine et Morée-Sausset) que le réseau d’assainissement réel.
- Concernant Seine séparatif et Unitaire Central, des différences ont été observées. Certains tronçons censés appartenir au bassin Unitaire Central sont drainés par l’exutoire du bassin Seine Séparatif (Ce sont les mailles de couleur verte à l’intérieur du rectangle).
- Un autre bassin versant (en mauve foncé sur la Figure 15) apparaît sur les résultats. C’est un bassin versant unitaire dont les eaux usées et pluviales sont drainées par Marne Aval.

Il a suffi pour expliquer les deux dernières observations de revenir à la carte de gestion automatisée du réseau départemental au 100000^{ème} (DEA93, 2015a) dont des parties ont été reprises sur les figures 16 et 17.

Celle-ci fait état de plusieurs déversoirs d’orage dont les eaux sont envoyées à la Seine ou au bassin de stockage « La Plaine » grâce à des conduites d’eaux pluviales, parallèles au réseau unitaire, et qui reçoivent également les eaux pluviales ruisselant en surface. Ainsi, bien que l’on surestime sûrement la surface drainée par ces conduites vers le milieu naturel à cause de la résolution adoptée, l’exutoire des eaux pluviales renseigné pour ces mailles est correct (en l’absence de représentation des bassins de stockage).

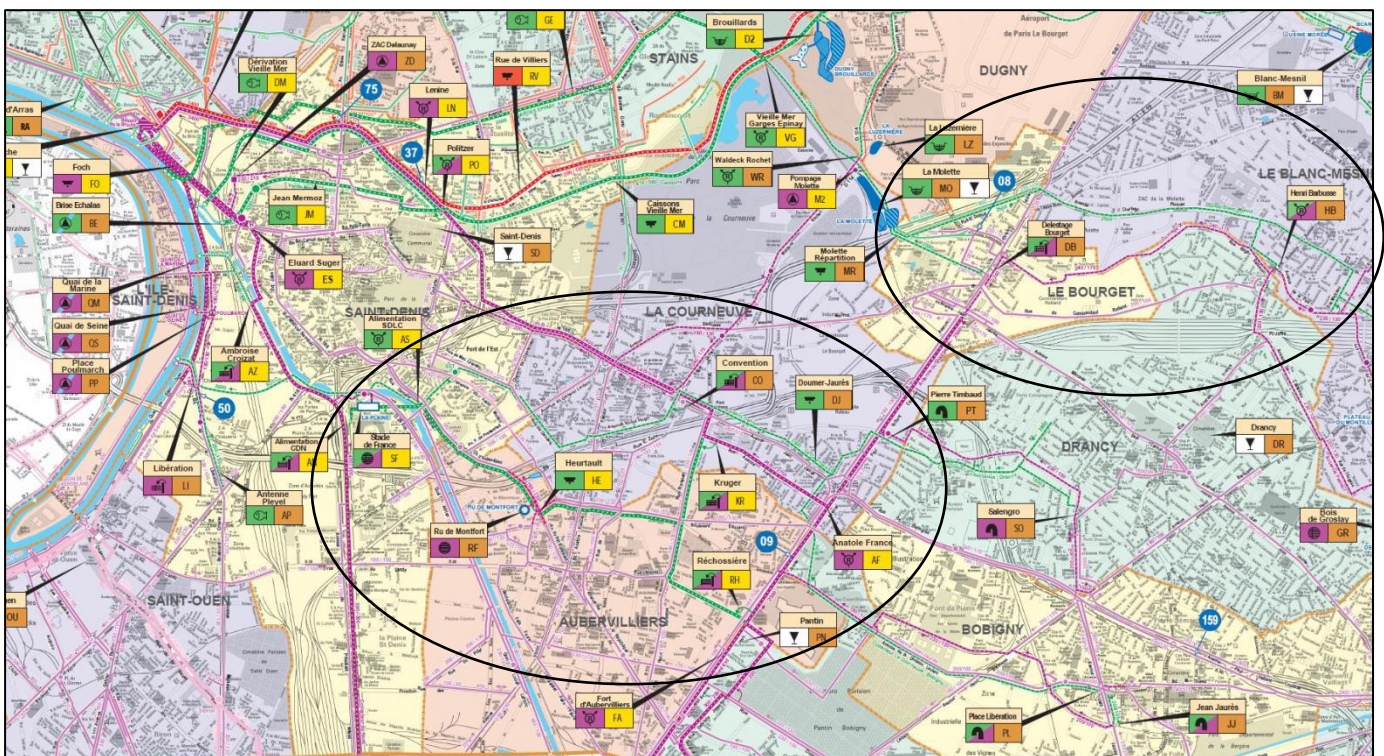


Figure 16 : Extrait de la carte de gestion automatisée du réseau d’assainissement du département Seine-Saint-Denis (DEA, 2015). Cette partie correspond au rectangle précisé sur la figure 15. Les ovales mettent en évidence les conduites de type pluvial transportant les eaux des déversoirs d’orage. En mauve : le réseau unitaire, en rouge : le réseau d’eaux usées et en vert le réseau d’eaux pluviales

Ensuite, l’apparition sur les résultats d’un bassin versant drainé par Marne Aval revient à l’existence d’une petite zone strictement desservie par un réseau d’assainissement unitaire connecté à l’amont du réseau séparatif. Les eaux pluviales qui y sont recueillies rejoignent donc Marne Aval et non pas le milieu naturel. L’absence de ce bassin sur la carte de référence peut être due soit à une volonté de simplification, soit à l’ancienneté de la délimitation des bassins versants qui ne prenait pas en compte l’existence de Marne Aval.

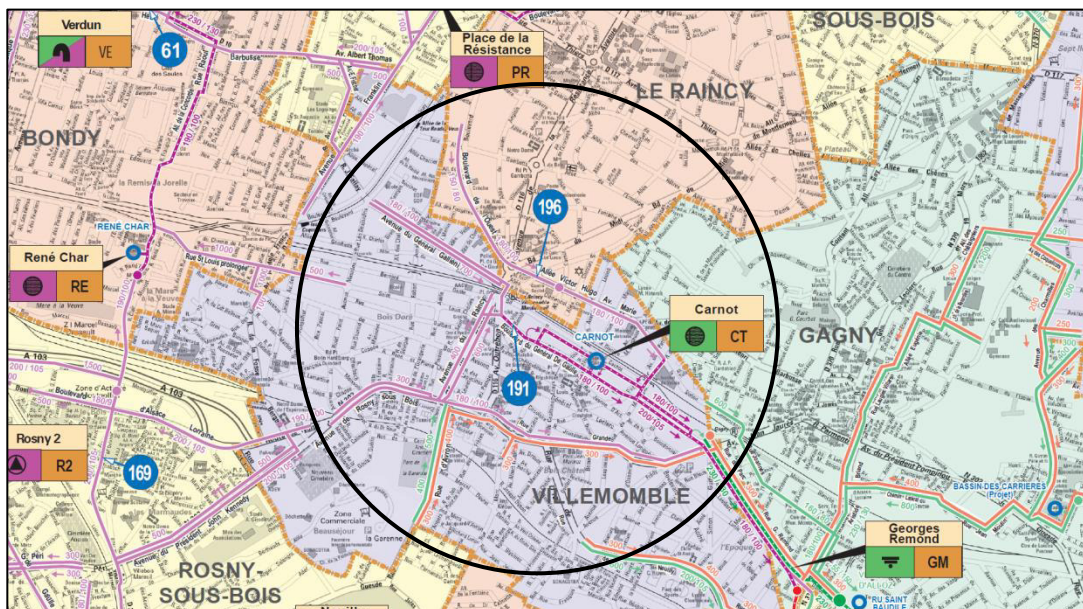


Figure 17 : Extrait de la carte de gestion automatisée du réseau d’assainissement du département Seine-Saint-Denis (DEA93, 2015). Cette partie correspond au rectangle précisé sur la figure 15. Le cercle met en évidence le réseau unitaire placé en amont du réseau séparatif menant à Marne Aval. En mauve : le réseau unitaire, en rouge : le réseau d’eaux usées et en vert le réseau d’eaux pluviales

Finalement, à partir de la comparaison des bassins versants obtenus après reconstruction du réseau et ceux figurant sur le bilan des Rejets dans le Milieu Naturel de 2014 (DEA93, 2014), on peut conclure que :

- La reconstruction du réseau d’assainissement départemental est nécessaire afin d’obtenir des résultats réalistes.
- La résolution de 250m adoptée pour cette reconstruction permet d’obtenir un réseau d’assainissement fonctionnel avec une délimitation des bassins versants acceptable bien que leurs limites ne soient pas *détaillées*.

3.4. Analyse des cheminements de l’eau obtenus sur le département Seine-Saint-Denis

Puisque le réseau d’assainissement du département 93 semble de qualité suffisante, on s’intéresse davantage aux cheminements des eaux sur cette zone.

Pour rappel, ne disposant de connexions avec le milieu naturel qu’aux extrémités de son territoire, le département Seine-Saint-Denis a orienté sa politique d’assainissement vers des stratégies de stockage des eaux au lieu des rejets vers la Seine. Comparé aux autres départements étudiés, il dispose de peu de déversoirs d’orages mais de beaucoup plus de bassins de retenue.

Cependant, malgré leur faible nombre, nous ne disposons pas des emplacements exacts de ceux-ci, mais uniquement des points de rejets vers le milieu naturel en Seine ou en Marne. Certains ont pu toutefois être correctement renseignés grâce au bilan d’exploitation de 2014 du SIAAP (Tabuchi et Penouel, 2014) ou de la carte de gestion automatisée du réseau d’assainissement (DEA93, 2015a). Le déversoir d’orage le plus notable étant « La Briche » associé à la station de prétraitement du même nom.

La figure 18 représente les surfaces drainées par les déversoirs d’orage renseignés sur le territoire de Seine-Saint-Denis. Notons que les bassins versants des déversoirs d’orage Krugger (en mauve) et Rochessière (en bleu ciel) sont des sous-bassins du déversoir d’orage La Briche (en rose).

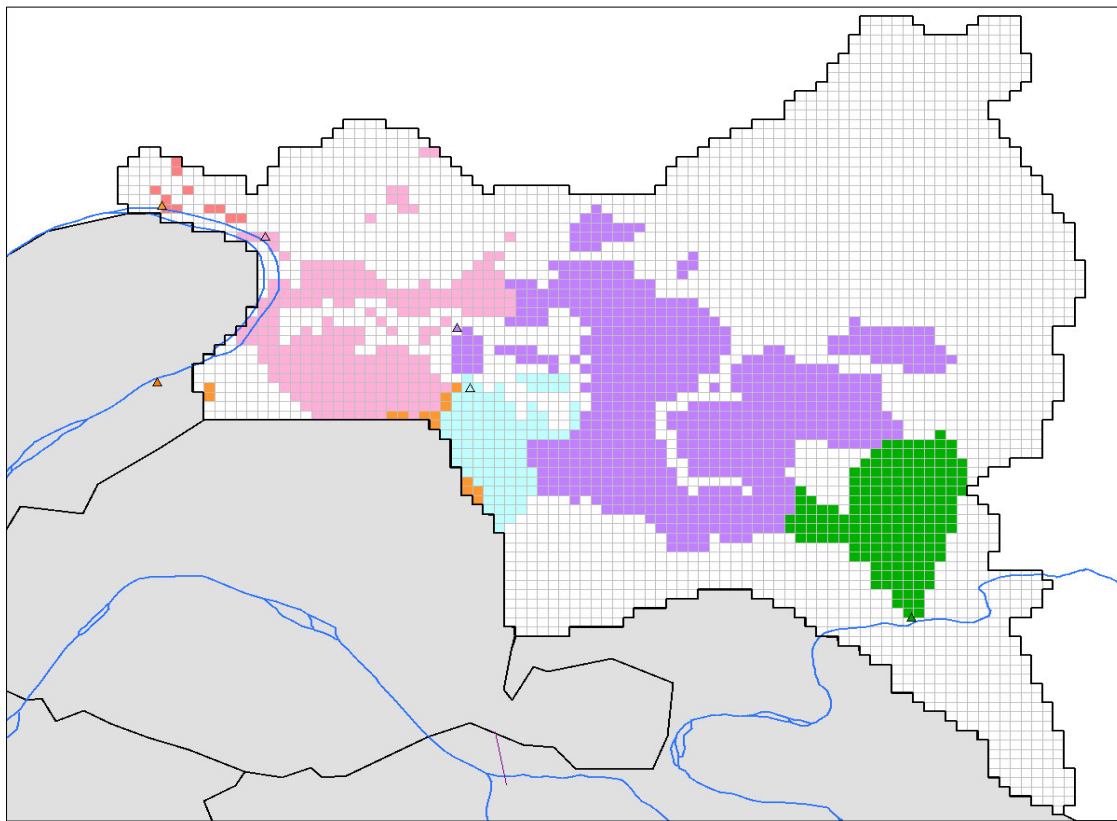


Figure 18: Surfaces drainées par chaque déversoir d’orage par couleur sur le département Seine-Saint-Denis, déterminées à partir du réseau reconstruit.

La figure 19 représente les exutoires des eaux pluviales par couleur lorsque les déversoirs d’orage ne fonctionnent pas, alors que la figure 20 les représente en cas d’activation des déversoirs d’orage. Il est possible de voir les exutoires des effluents évoluer en fonction de la configuration du réseau. La surface drainée potentiellement par la Seine s’agrandit considérablement, même s’il est à noter que seule une partie des eaux drainées sur ces nouvelles surfaces rejoint le milieu naturel, l’autre partie rejoignant la STEP selon la configuration normale.

Les résultats obtenus s’accordent avec les données des différents bilans, puisqu’il s’avère que le déversoir d’orage « La Briche » peut potentiellement recevoir une partie des effluents de l’ensemble du bassin versant « Unitaire Central ».

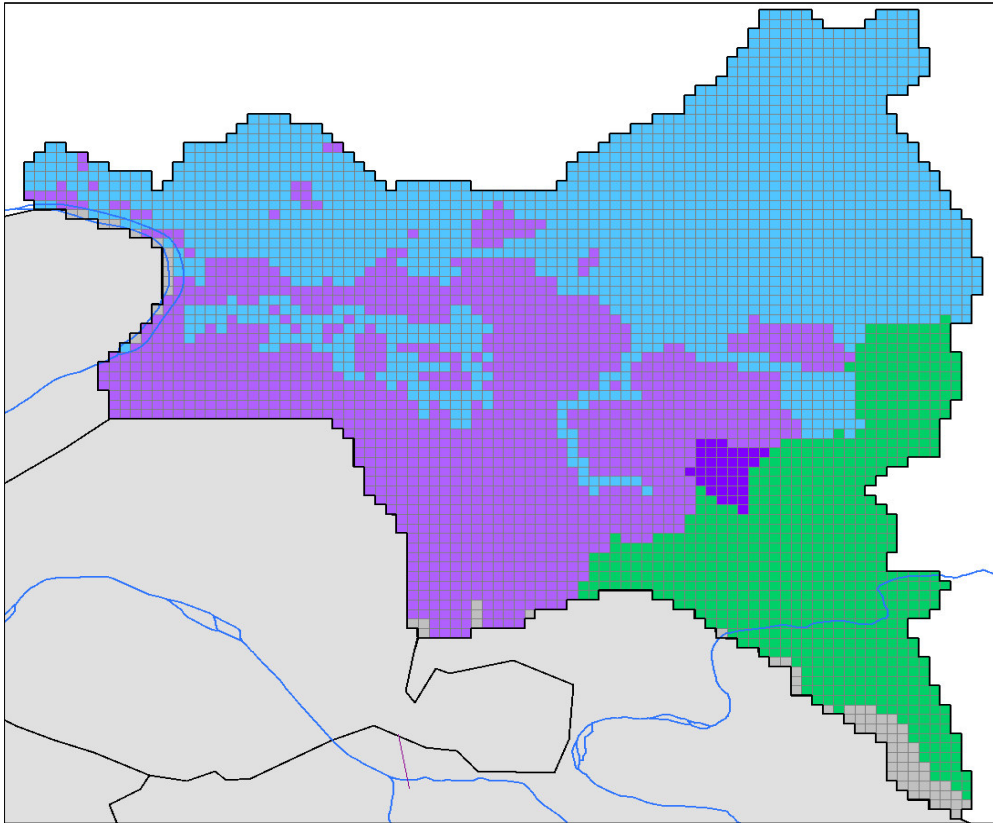


Figure 19 : Les bassins versants drainés par les STEP et le milieu naturel en fonctionnement normal (déversoirs d’orage désactivés). En violet foncé, le bassin drainé par Marne Aval, en mauve clair, celui drainé par Seine Aval. En bleu, le bassin drainé par la Seine. En vert, la surface drainée par la Marne.

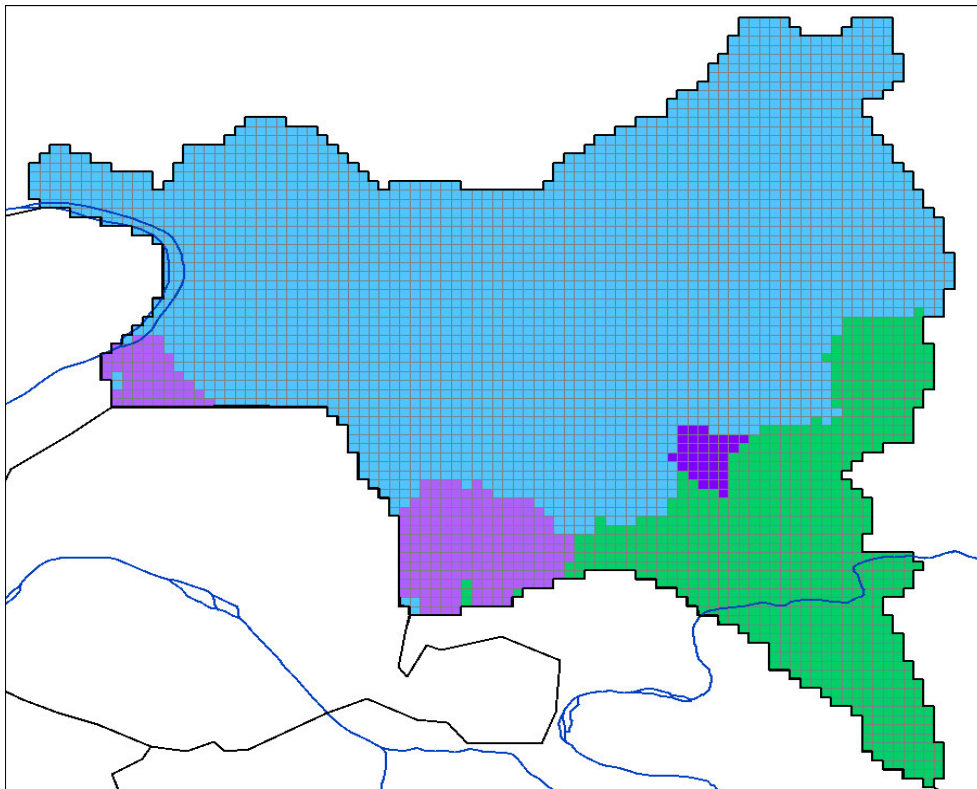


Figure 20: Les bassins versants drainés par les STEP et le milieu naturel en cas d’activation des déversoirs d’orage. En violet foncé, le bassin drainé par Marne Aval. En mauve clair, celui drainé par Seine Aval. En bleu, le bassin drainé par la Seine. En vert, la surface drainée par la Marne.

4. Conclusion et perspectives

Dans le cadre de la phase VII du programme PIREN-Seine, a été initié un module visant l’évaluation de l’impact de l’unité urbaine parisienne sur l’état physico-chimique de la Seine. Cette étude nécessite de connaître en particulier les rejets du réseau d’assainissement vers le milieu naturel, tout en étant capable de prendre en compte les nouvelles solutions de gestion des eaux pluviales décentralisées qui s’ont appelées à se multiplier lors des prochaines décennies. Ces solutions, souvent végétalisées, sont généralement multifonctionnelles permettant aussi d’agir sur le confort thermique intérieur ou extérieur des citadins. Une modélisation hydro-microclimatique couplant de façon détaillée les bilans en eau et en énergie doit donc être développée à l’échelle de Paris et sa petite couronne. Ce modèle nécessite un réseau hydrographique adapté des cheminements de l’eau en surface et en souterrain.

Cette représentation commence par la reconstruction simplifiée et fonctionnelle du réseau d’assainissement qui a été réalisée grâce à l’outil développé dans le cadre de la thèse d’Allard (2015) et adaptée à la zone d’étude et à son mode de fonctionnement.

Ainsi, à partir de données simples et généralement disponibles, comprenant les données d’occupation du sol, le modèle numérique de terrain, le réseau hydrographique naturel ainsi que les données descriptives du réseau d’assainissement (regards et ouvrages spéciaux), a été reconstruit le réseau d’assainissement interdépartemental sur toute la zone d’étude et départemental sur le territoire de Seine-Saint-Denis.

Les résultats obtenus, bien qu’encourageants, montrent qu’il est nécessaire de représenter le réseau départemental sur toute la zone afin d’obtenir un réseau réaliste. En effet, il a été possible de représenter sur le territoire du département 93 les différents bassins versants pluviaux de façon plus réaliste qu’à l’échelle de la zone d’étude, ainsi que d’observer l’évolution des exutoires des effluents selon le fonctionnement des déversoirs d’orage considérés sur la zone.

Afin d’entamer la modélisation hydrologique dans les meilleures conditions, il serait maintenant souhaitable de compléter la reconstruction du réseau par des données descriptives des réseaux d’assainissement de tous les départements sur la zone d’étude (Hauts de Seine, Marne-La-Vallée et Paris). Il serait également intéressant, étant donnée l’importante capacité de stockage des réseaux des départements et du SIAAP, d’inclure la représentation de ces ouvrages (bassins et tunnels de stockage des eaux) dans l’outil de reconstruction et dans le modèle hydro-microclimatique afin de mieux rendre compte des processus hydrologiques sur la zone d’étude, même si cette représentation risque d’être limitée par la disponibilité des données d’exploitation.

Bibliographie

- Allard, A., 2015. Contribution à la modélisation hydrologique à l’échelle de la ville: application sur la ville de Nantes, Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale SPIGA, Ecole Centrale de Nantes.
- Atelier Parisien d’urbanisme, Préservation et valorisation de la ressource en eau brute. Une gestion métropolitaine des eaux pluviales. Mars 2015.
- DEA93 , 2014 : Bilan des rejets au milieu naturel, Direction de l’Eau et de l’Assainissement 93.
- DEA93, 2015 : Carte de la gestion automatisée, Direction de l’Eau et de l’Assainissement 93.
- Gromaire, Marie-Christine, 1998 : La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d’assainissement. Caractéristiques et origines, Thèse de doctorat de l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Tabuchi, J.-P. et Penouel D., 2014 : RETREAUSPECTIVE 2014: Bilan d’exploitation du SIAAP. SIAAP, Données SIG : Regards et tronçons du réseau interdépartemental, Ouvrages spéciaux, Stations d’épuration, 2015.