

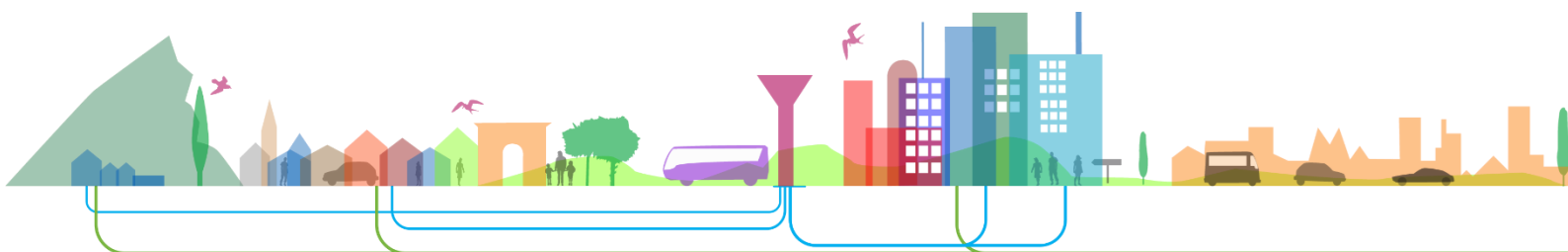


Établissement public du ministère
chargé du développement durable



Objet : Diagnostic et schéma Directeur du système principal
d'assainissement de Limoges

RAPPORT TRANCHE OPTIONELLE N°1 : Création du modèle hydraulique du
fonctionnement du système d'assainissement principal de Limoges



Identification du document

Elément		
Titre du document	RAPPORT TRANCHE OPTIONELLE N°1 : Création du modèle hydraulique du fonctionnement du système d'assainissement principal de Limoges	
Nom du fichier	Rapport_TO1Modélisation_Limoges.docx	
Version	15/12/2025 18:28:00	
Rédacteur	JR	
Vérificateur	BEB	
Valideur	BEB	

Sommaire

1. PREAMBULE	6
1.1. Objectif de l'étude	6
1.2. Bilan de la campagne de mesure	7
2. MODELISATION HYDRAULIQUE	12
2.1.1. Logiciel de modélisation	12
2.1.2. Construction du modèle.....	13
2.1.3. Calage et validation du modèle hydraulique	16
2.1.3.1. Principe du calage	16
2.1.3.2. Résultats du calage	18
2.1.4. Résultats de calage annuel	24
3. EXPLOITATION DU MODELE	26
3.1. Analyse du fonctionnement en Temps sec -20/03/2024 au 23/03/2023-.....	26
3.1.1. Moulin Blanc.....	26
3.1.2. Romanet	29
3.1.3. Aiguille.....	32
3.1.4. Rive Gauche.....	35
3.1.5. Rive Droite	38
3.2. Analyse du fonctionnement par temps de pluie – 20/03/2024 au 01/04/2024-.....	41
3.2.1. Moulin Blanc.....	41
3.2.2. Romanet	44
3.2.3. Aiguille.....	47
3.2.4. Rive Gauche.....	50
3.2.5. Rive Droite	54
ANNEXE 1 : CARTE DE REPARTITION DES VITESSES MAXIMALE D'ECOULEMENT SIMULEES EN TEMPS SEC	58
ANNEXE 2 : CARTE DES MISES EN CHARGE SIMULEES EN TEMPS SEC.....	59
ANNEXE 3 : CARTE DE REPARTITION DES VITESSES MAXIMALE D'ECOULEMENT SIMULEES EN TEMPS DE PLUIE	60
ANNEXE 4 : CARTE DES MISES EN CHARGE SIMULEES EN TEMPS DE PLUIE	61

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des communes rattachées au système d'assainissement de Limoges Métropole	6
Figure 2 : Répartition des débits de temps sec en entrée de station	7
Figure 3 : Répartition des débits d'eaux claires en entrée de station	8
Figure 4 : Proportion des eaux claires sur chaque grand bassin de collecte	8
Figure 5 : Répartition des charges hydrauliques et polluantes déversés au milieu durant la campagne de mesure	11
Figure 6 : Synoptique du réseau de Limoges	13
Figure 7 : Représentation du réseau modélisé par rapport au réseau existant	16
Figure 8 : Représentation du réseau modélisé sous PCSWMM	16
Figure 9 : Exemple d'une courbe de modulation horaire des débits d'eaux usées sanitaires appliquée dans le modèle hydraulique	18
Figure 10 : Escalier sur le tronçon rue Théodor Bac	19
Figure 11 : Escalier sur le tronçon rue Georges Dumas	19
Figure 12 : Concrétion sur le réseau Aigueperse	20
Figure 13 : Réseau maçonnée sur le secteur Chinchevaud	20
Figure 14 : Mesure de hauteur d'eau sur la Vienne sur la station du pont-neuf -L040061002- (Source : Hydroportail)	22
Figure 15 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Moulin Blanc en temps sec	27
Figure 16 : Carte des mises en charge du réseau de Moulin Blanc	28
Figure 17 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Romanet en temps sec	30
Figure 18 : Carte des mises en charge du réseau de Romanet	31
Figure 19 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de l'Aiguille en temps sec	33
Figure 20 : Carte des mises en charge du réseau de l'Aiguille	34
Figure 21 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Gauche en temps sec	36
Figure 22 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Gauche	37
Figure 23 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Droite en temps sec	39
Figure 24 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Droite	40
Figure 25 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Moulin Blanc en temps de pluie	42
Figure 26: Carte des mises en charge du réseau de Moulin Blanc par temps de pluie	43
Figure 27 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Romanet en temps de pluie	45
Figure 28 : Carte des mises en charge du réseau de Romanet par temps de pluie	46
Figure 29 : Risques de débordement sur le secteur Aiguille par temps de pluie	47
Figure 30 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur Aiguille en temps de pluie	48
Figure 31 : Carte des mises en charge du réseau Aiguille par temps de pluie	49
Figure 32 : Zones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Aval PR La Cible	50
Figure 33 : Zones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Amont PR La Cible	51
Figure 34 : ones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Secteur Cane	51
Figure 35 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Gauche en temps de pluie	52
Figure 36 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Gauche par temps de pluie	53
Figure 37 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Droite en temps de pluie	55
Figure 38 Carte des mises en charge du réseau de Rive Droite par temps de pluie	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des débits mesurés sur les 5 grands bassins de collecte	7
Tableau 2 : Fonctionnement des déversoirs d'orage autosurveillés lors de la campagne de mesures	10
Tableau 3 : Données structurelles et fonctionnelles renseignées dans le modèle hydraulique	14
Tableau 4 : Résultats de calage par temps sec du 20/03/2024 au 23/03/2024.....	21
Tableau 5 : Evènements pluvieux marquant sur la période de calage	22
Tableau 6 : Résultats de calage par temps sec du 20/03/2024 au 23/04/2024.....	23
Tableau 7 : Impact de la vitesse d'écoulement dans le réseau	26
Tableau 8 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le secteur de Moulin Blanc.....	26
Tableau 9 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le secteur des Romanet.....	29
Tableau 10 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le Bassin Aiguille.....	32
Tableau 11 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement	35
Tableau 12 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement	38
Tableau 13 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie	41
Tableau 14 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie	44
Tableau 15 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie – Secteur Aiguille ..	47
Tableau 16 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie – Secteur Rive Gauche	50
Tableau 17 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie	54

1. PREAMBULE

1.1. Objectif de l'étude

Limoges Métropole a souhaité mettre en place une modélisation hydraulique du système d'assainissement dans l'objectif d'améliorer la connaissance du fonctionnement hydraulique du système de collecte. La modélisation hydraulique consiste en une simulation théorique du fonctionnement et du comportement du réseau d'assainissement.

La modélisation permettra de répondre aux objectifs suivants :

- Faire apparaître les zones d'engorgement et ou de débordement,
- D'identifier les faiblesses actuelles de fonctionnement du réseau
- D'évaluer les possibilités de collectes futures,
- **Réalisé des simulations permettant de faire ressortir les améliorations et de fiabiliser les travaux/aménagement.**

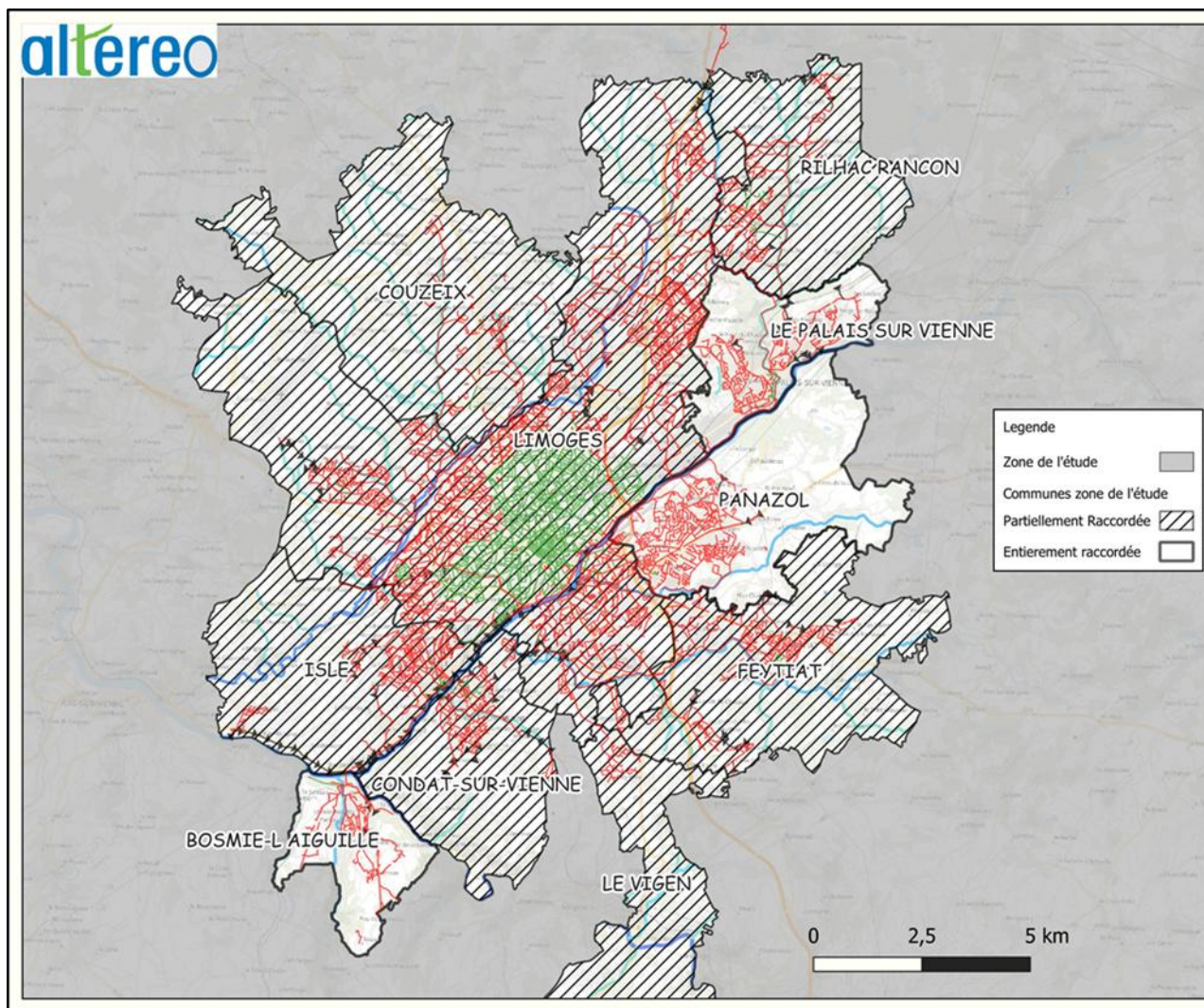


Figure 1 : Localisation des communes rattachées au système d'assainissement de Limoges Métropole

La création de la modélisation hydraulique porte sur l'ensemble du système de collecte raccordé à la station d'épuration principale de Limoges.

1.2. Bilan de la campagne de mesure

SYNTHESE PAR GRAND BASSIN DE COLLECTE

Le tableau suivant représente la répartition des débits mesurés sur les 5 grands bassins de collecte du système principal de Limoges.

Tableau 1 : Synthèse des débits mesurés sur les 5 grands bassins de collecte

	$Q_{\text{moy tps sec}} \text{ (m}^3/\text{j)}$	$Q_{\text{EU strict}} \text{ (m}^3/\text{j)}$	$Q_{\text{théorique}} \text{ (m}^3/\text{j)}$	$Q_{\text{ECPP}} \text{ (m}^3/\text{j)}$	$Q_{\text{journalier max}} \text{ (m}^3/\text{j)}$	Surface active (m ²)
Rive Gauche	9 138	3 991	3 638	5 146	35 728	459 473
Rive Droite	25 613	10 339	10 405	15 274	63 158	4 712 123
Moulin Blanc	7 259	3 837	4 430	3 421	20 339	649 695
Romanet	2 204	1 084	1 290	1 120	2 521	158 205
Aiguille	2 114	1 091	1 194	1 023	3 689	301 964
TOTAL	46 328	20 342	20 957	25 984	125 435	6 281 460

Le volume journalier moyen de temps sec durant la campagne de mesure en entrée de station est de 46 328m³/j pour un débit théorique de 20 957m³/j.

La proportion d'eaux claires en entrée de station d'épuration représente 56% du volume entrant sur la station.

L'ensemble des secteurs sont impactés par des entrées d'eaux météoriques malgré le fait qu'hormis sur le BC Rive Droite, les autres secteurs sont principalement en mode de collecte séparatif. **La surface active totale collectée par le système de collecte est supérieure à 628 hectares.**

Les graphiques suivant représente la répartition des débits en entrée de station par temps sec et la proportion d'eaux claires par principaux bassins.

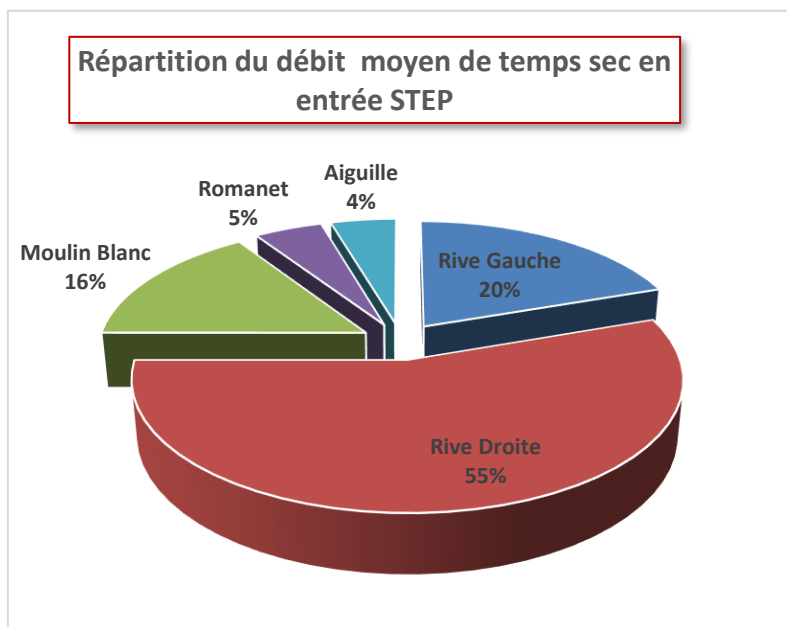


Figure 2 : Répartition des débits de temps sec en entrée de station

Par temps sec, 55% des volumes entrant sur la station proviennent du BC Rive Droite et 20% du bassin Rive gauche

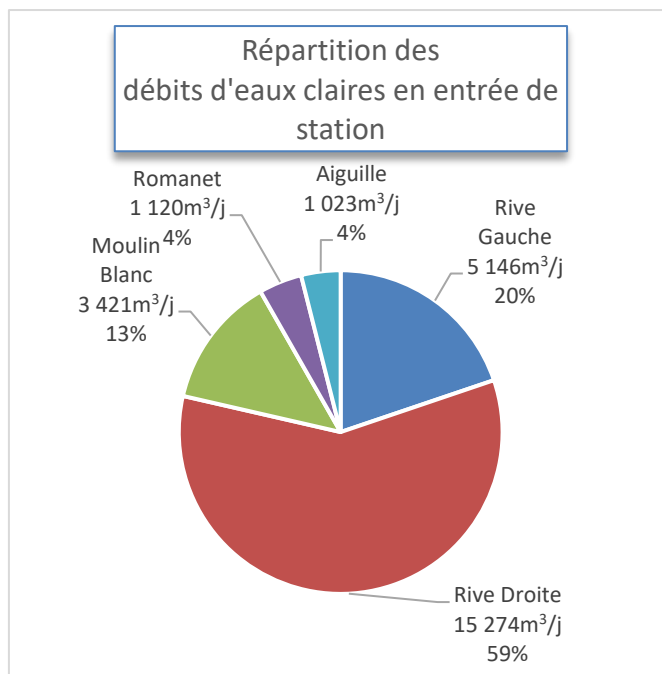


Figure 3 : Répartition des débits d'eaux claires en entrée de station

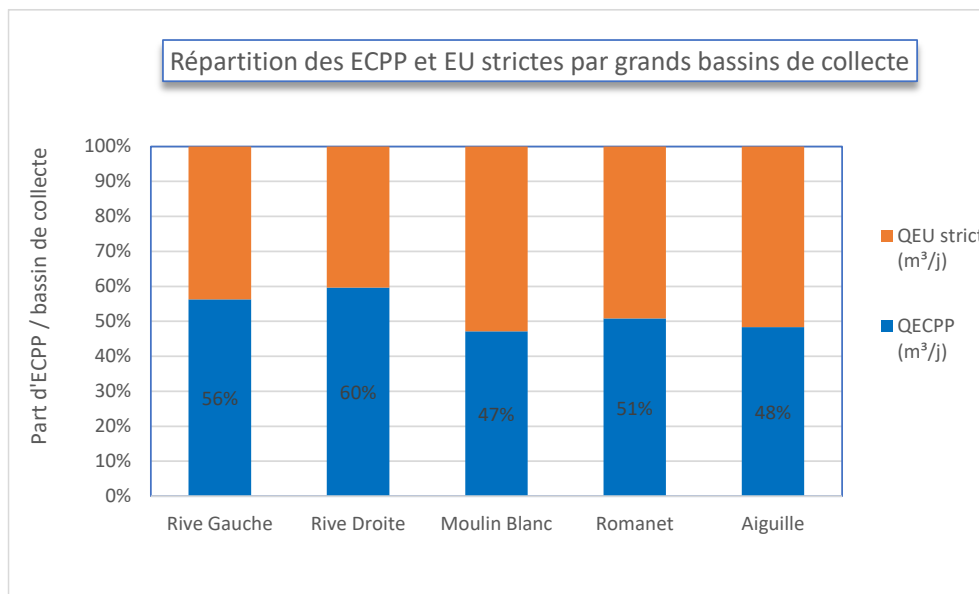


Figure 4 : Proportion des eaux claires sur chaque grand bassin de collecte

Environ 60% du volume journalier d'eaux claires parasites permanentes entrant sur la station provient du BC Rive Droite. Le bassin Rive Gauche représente 20% des entrées d'eaux claires et 13% pour le secteur de Moulin Blanc.

La proportion d'eaux claires par bassin de collecte est comprise entre 47 et 60%.

SYNTHESE DES DEVERSEMENTS

L'analyse des débits déversés a été réalisée au niveau des déversoirs d'orage équipés d'une autosurveillance réglementaire ou caractérisée avec une charge supérieure à 120kg DBO₅/j ainsi que sur des points de délestage du réseau.

Au total, il s'agit de 19 déversoirs d'orage et de 7 points de délestage d'un réseau unitaire vers un autre qui ont fait l'objet de mesure.

A partir de ces enregistrements, un état des lieux du fonctionnement des ouvrages de déversement est réalisé. Ces données sont également essentielles pour pouvoir créer le modèle hydraulique et le caler.

Dans les délestage suivis, seuls les délestages Corderie / Font Pinot au niveau de l'hôtel de région et en bas de l'avenue Georges Dumas ont été actifs. Pour les autres, aucun transfert entre bassin de collecte n'a été identifié.

Le DO 103 (Rue Legendre derrière le CHRU), DO25 (Route de Nexon), DO100 (Palais sur Vienne) et DO Filature (DO99) ont été suivis en plus des déversoirs autosurveillés.

Le DO103 ainsi que le DO25 n'ont pas déversé durant la campagne. Sur le DO 100 **aucun déversement n'a été mesuré cependant plusieurs entrées de la Vienne dans le réseau ont été mesurées.**

Le DO 99 a en revanche été actif durant la campagne de mesure. Le DO 28 et 81 n'ont pas été instrumentés mais leur fonctionnement sera détaillé avec la modélisation hydraulique.

La charge polluante totale déversée au milieu est de 80 202kg de DBO₅.

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus lors de la campagne de mesure sur les déversoirs autosurveillé par Limoges Métropole et instrumenté par Altereo.

Tableau 2 : Fonctionnement des déversoirs d'orage autosurveillés lors de la campagne de mesures

Nom DO	Volume total déversé (m³)	Nombre de jour de déversement	Volume moyen journalier déversement (m³)	Volume max journalier déversement (m³)	Déversement par temps sec hors incident réseau	Déversement par temps de pluie	Pluviométrie minimale de déversement (mm/j)	Surface active (m²)	Charge polluante déversée (kg DBO ₅)
DO Moulin Blanc	70 621	26	2 716	17 051	Non	Oui	2	244470	5 369
Isle Etoile	18 137	5	3 627	11 570	Non	Oui	4	225595	1 423
Pont de l'Aiguille	0	0	0	0	Non	Non	0	0	-
Romanet	3 803	3	1 268	3 325	Non	Oui	16	22640	286
DO Rive Gauche	213 210	29	7 352	59 784	Non	Oui	0	638242	13 933
DOA	156 089	58	2 691	32 824	Non	Oui	2	277365	7 878
DOD	7 834	14	560	2 464	Oui	Oui	0	1915845	634
DO Allende	92 890	37	2 511	17 690	Non	Oui	2	220740	6 336
DO Clos Moreau	0	0	0	0	Non	Non	-	0	-
DO Révolution	79 441	63	1 261	14 705	Non	Oui	1	173063	7 553
DO Font Pinot	124 700	57	2 188	26 458	Non	Oui	0	326908	8 701
DO Elisée Reclus	19 857	19	1 045	10 501	Oui	Oui	3	64603	1 396
DO Moulin Pinard	269	2	134	190	Non	Oui	15	7251	19
DO Amont BOC	13 280	2	6 640	5 553	Non	Oui	3	43186	175
Trop plein BOC	395 135	23	17 180	123 134	Non	Oui	0	1030906	15314
DO Proudhon	45 809	40	1 145	11 996	Non	Oui	0	183621	3 479
DO Aigueperse	13 280	14	949	5 553	Non	Oui	3	72957	785
DO Port du Naveix	51 910	48	1 081	11 996	Non	Oui	0	171002	3 876
DO Filature (DO99)	28 747	34	845	3 305	Oui	Oui	0	145104	3047

La répartition des charges hydrauliques et polluantes (DBO₅) déversés sur le système de Limoges est présentée ci dessous.

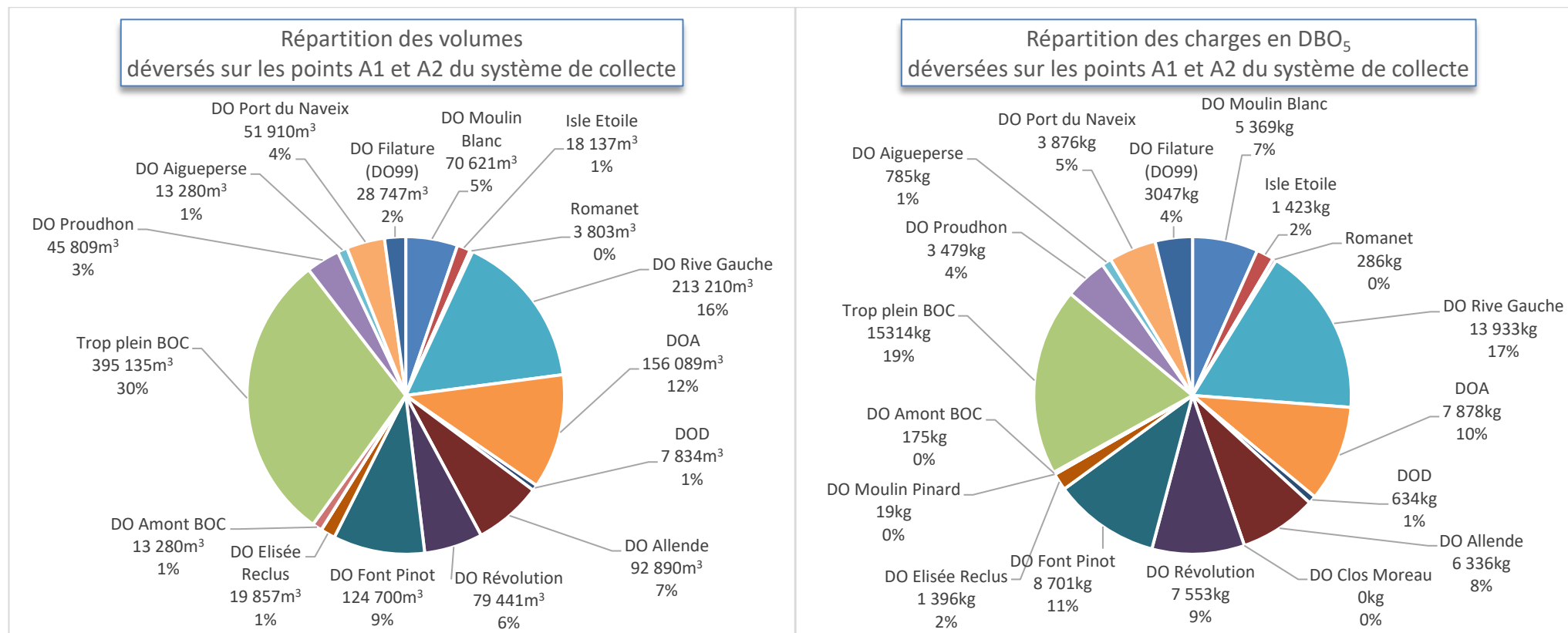


Figure 5 : Répartition des charges hydrauliques et polluantes déversés au milieu durant la campagne de mesure

2. MODELISATION HYDRAULIQUE

La modélisation hydraulique du réseau d'assainissement du système de Limoges est effectuée à l'aide du logiciel PCSWMM EU au travers de 3 étapes clés décrites et commentées au sein de ce paragraphe :

- **Construction du modèle topologique ;**
- **Calage et validation à partir des données de la campagne de mesure et d'autosurveillance ;**
- **Diagnostic du système.**

Notre démarche a consisté à construire puis caler un modèle du réseau structurant à partir des données acquises durant la campagne de mesure en nappe basse. Les objectifs de la modélisation sont les suivants :

- Identifier les problématiques de fonctionnement du réseau de collecte (mise en charge, faible ou forte vitesse) ;
- Identifier le fonctionnement des déversoirs d'orage ;
- Evaluer l'impact des scénarios proposés afin de rétablir la conformité du réseau d'assainissement.

2.1.1. Logiciel de modélisation

Le logiciel retenu pour la modélisation est le logiciel PC-SWMM. Ce logiciel utilise le moteur de calcul SWMM 5, ce dernier permet de résoudre les équations complètes de Barré de St Venant qui régissent la propagation des ondes dynamiques dans les écoulements à surface libre en uni-dimensionnel avec prise en compte les phénomènes de mise en charge dans les collecteurs à section fermée grâce à la méthode de la fente de Preissman.

Le système d'équations résolu est le suivant :

- **Continuité :**

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

- **Energie :**

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \frac{Q^2}{A}}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_c + S_f - S_0) = 0$$

Avec :

- | | |
|---------------------------|---|
| • A : surface mouillée | • y : profondeur d'eau |
| • Q : débit | • Sc : pertes d'énergie à l'expansion/contraction |
| • q : débit latéral | • Sf : pertes d'énergie par frottement |
| • x : abscisse curviligne | • S0 : pente du fond |

La résolution numérique repose sur une combinaison d'un schéma numérique implicite et explicite. En effet, l'équation de continuité aux nœuds du modèle est résolue explicitement, alors que l'équation d'énergie dans les biefs et les ouvrages particuliers est résolue implicitement. Le modèle calcule hauteurs d'eau et débits en tout point du domaine.

Ce modèle de simulation hydraulique permet donc de modéliser les écoulements en réseau maillé et/ou ramifié comportant :

- des collecteurs (circulaire, ovoïde, cadre, voute, section quelconque, etc. ...) ;
- des ouvrages de rétention ;
- des ouvrages particuliers en prenant en compte les pertes de charges de manières explicites (déversoirs, ouvrages de régulations, stations de pompage, etc. ...) ;
- les écoulements en régime fluvial ou torrentiel ;
- les influences aval.

Ce logiciel embarque deux modules principaux à savoir :

- Un module hydrologique de transformation pluie-débit ;
- Un module hydraulique complet, en régime transitoire, qui calcule les lignes d'eau et la propagation des débits dans les ouvrages (collecteur, déversoir, etc.).

2.1.2. Construction du modèle

D'un point de vue général, la mise en œuvre d'un modèle suppose une schématisation préalable du réseau (topologie du système) et le découpage de la zone d'étude en bassins d'apport, puis la traduction de cette schématisation dans le logiciel de simulation.

L'ossature principale du réseau modélisé dans le cadre de l'étude représente le réseau structurant. La construction du modèle numérique sous PCSWMM nécessite deux types de données :

- des données structurelles :
- des données fonctionnelles.

Il est important de rappeler que malgré les capacités du logiciel PCSWMM pour représenter le réseau, il existe des configurations de réseau pour lesquelles le logiciel ne présente pas de représentation ; des artifices de modélisation ont été utilisés pour représenter ces configurations de la meilleure manière possible.

La construction du modèle hydraulique de Limoges a été effectuée selon les bassins issus de la phase 2 du schéma directeur assainissement de Limoges Métropole

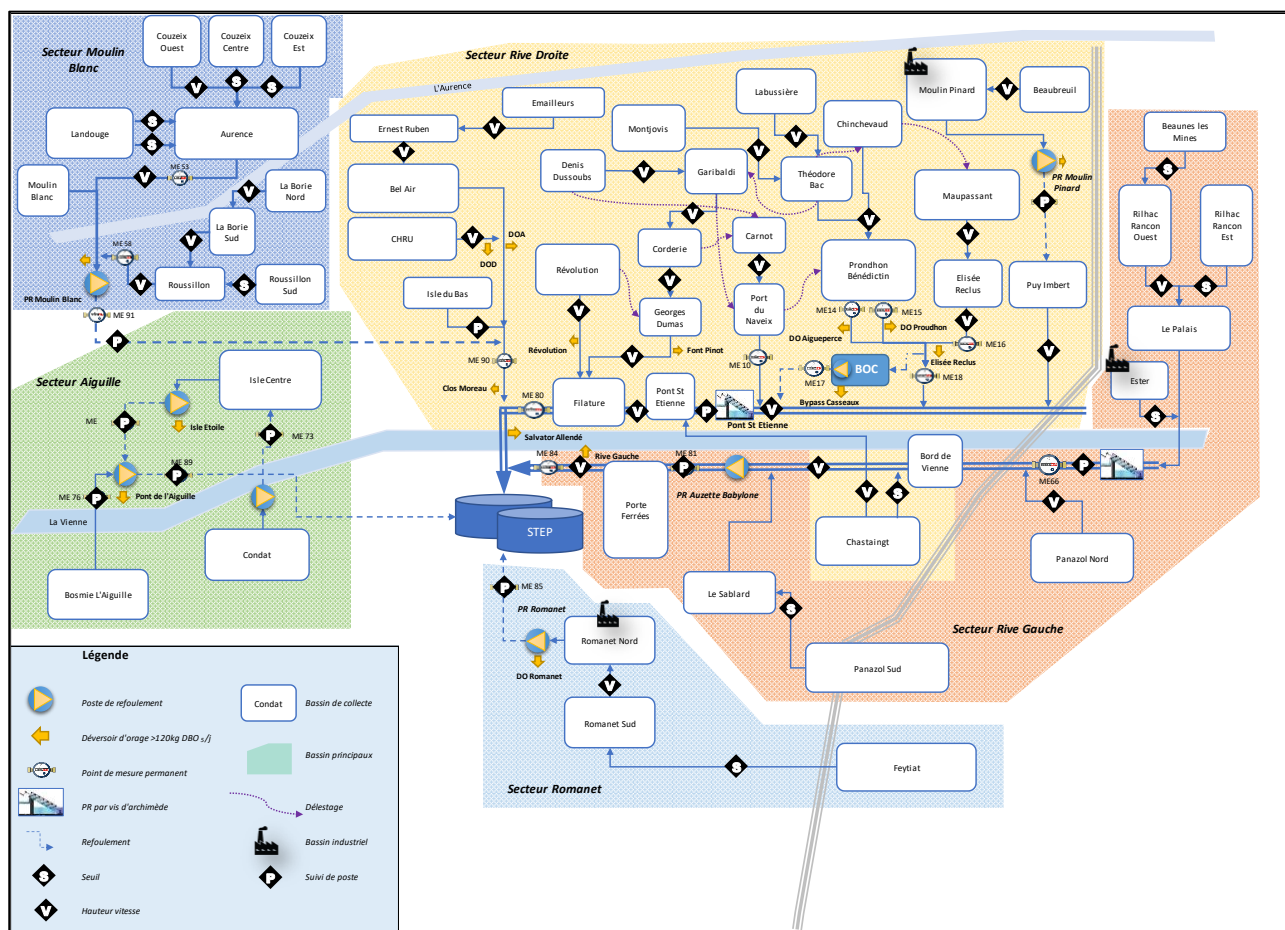


Figure 6 : Synoptique du réseau de Limoges

Tableau 3 : Données structurelles et fonctionnelles renseignées dans le modèle hydraulique

DONNEES STRUCTURELLES		
Entité du modèle	Paramètres renseignés	Origine de la données
Nœud	Coordonnées X et Y Côte du terrain Côte du radier	SIG fourni par Limoges Métropole/ Reconnaissance terrain Altereo Levée GPS Altereo MNT 1m/Lidar Limoges Métropole
Tronçon	Longueur Forme (circulaire, rectangulaire, ...etc.) Dimensions Rugosité (coefficient de Manning) Nœuds amont et aval Décalage entrée et/ou sortie Présence de vanne Coefficient de perte de charge	SIG fourni par Limoges Métropole/ Reconnaissance terrain Altereo Coefficient de Manning conseillé dans le logiciel Coefficient de pertes conseillé par le logiciel
Ouvrage de déversement (orifice et déversoirs)	Nœud d'entrée et de sortie Dimensions (hauteur entre le radier et la lame déversant, longueur de la lame ou diamètre de l'orifice, hauteur maximale au-dessus de la lame) Forme (rectangulaire ou circulaire pour les orifices) Pente de la lame Type de déversement (frontal, latéral, par trop-plein, trapézoïdale...etc.)	Fiche « déversoir d'orage » Altereo
Poste de relevage	Nœud d'entrée et de sortie	SIG fourni par Limoges Métropole/ Reconnaissance terrain Altereo
Stockage (ici pour les cuves de poste)	Coordonnées X et Y Côte du terrain Côte du radier	Dimensions prises sur le terrain (poste en fonctionnement)
Exutoire	Coordonnées X et Y Côte du radier	SIG fourni par Limoges Métropole/ Reconnaissance terrain Altereo
DONNEES FONCTIONNELLES		
Entité du modèle	Paramètres renseignés	Origine de la données
Noeuds	Injection ECPP Injection volume moyen de temps sec Courbe de modulation du temps sec Surface active du bassin de collecte Hydrogramme de pluie	Résultats de la campagne de mesure
Ouvrages de déversement (orifice et déversoirs)	Coefficient de débit	Coefficient de débit conseillé dans le logiciel en fonction du type de déversoir Coefficient de débit fournie par Limoges Métropole
Poste de relevage	Statut initial des pompes Hauteur de départ et d'arrêt des pompes Courbe de pompe (Débits des pompe)	Données fournies par Limoges Métropole Débit de tarage Altereo
Stockage (ici pour les cuves de poste)	Courbe de stockage (forme de la bache)	Dimensions prises sur le terrain (poste en fonctionnement)

Les cartes en pages suivantes présentes d'une part le réseau modélisé par rapport aux réseaux existants et d'autre part le réseau visualisé sous PCSWMM.

Après sélection du réseau réseaux structurant, le modèle hydraulique comprend :

- 3024 nœuds sur les 18 782 regards assainissement existants sur le SIG de Limoges Métropole ;
- 227 448 tronçons soit 225 km de réseau ce qui représente environ 25 % du réseau existant ;
- 16 postes de relevage sur 68 postes existants ;
- 79 déversoirs d'orage ou délestage dont 17 déversoirs d'orage de type A1 ;
- Le bassin d'orage des Casseaux et du Pont de l'Aiguille.

Les rejets d'eau usées sont répartis sur les nœuds du modèle au prorata de la consommation en eau potable du secteur déterminée à partir de la géolocalisation des abonnés du rôle de l'eau 2022.

Les eaux claires parasites (ECP) sont réparties de manière homogène dans les nœuds du bassin déterminé lors des mesures effectuées en période nocturne dans le cadre de la phase 2 d'étude. Elles sont ensuite retranchées au prorata du débits d'ECP mesuré durant la campagne sur le bassin de collecte secondaire.

Les surfaces actives sont réparties à partir de la localisation des bâtiments et routes. Elles ont ensuite été retranchées au prorata des surfaces déterminées lors de la campagne de mesure (Méthode RDII).

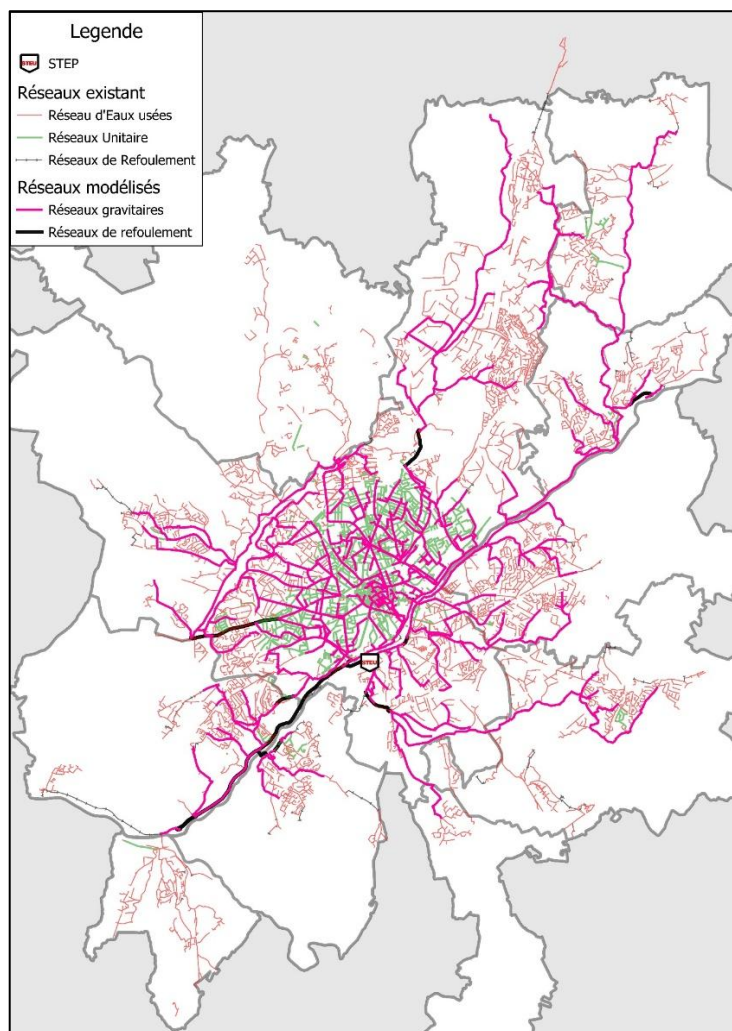


Figure 7 : Représentation du réseau modélisé par rapport au réseau existant

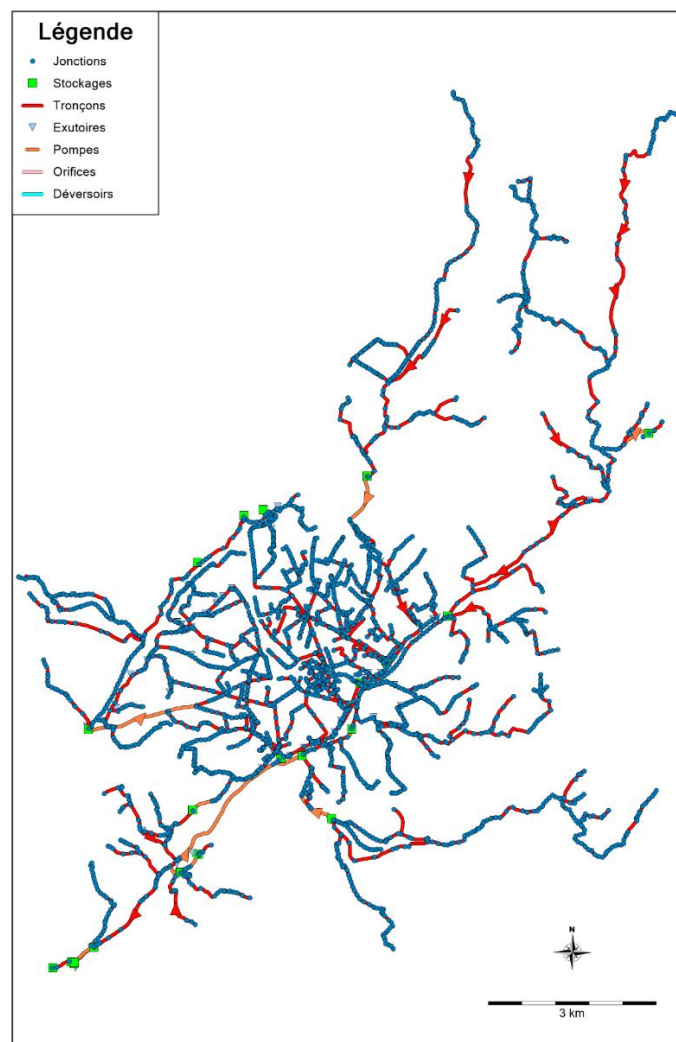


Figure 8 : Représentation du réseau modélisé sous PCSWMM

2.1.3. Calage et validation du modèle hydraulique

Le calage est un processus itératif qui permet d'ajuster les paramètres du modèle afin de reproduire le plus fidèlement possible le comportement réel de réseau d'assainissement.

Le calage du modèle est effectué sur les débits de temps sec et de temps de pluie enregistrés lors de la campagne de mesures.

2.1.3.1. Principe du calage

METHODOLOGIE DE CALAGE

Les résultats des simulations, par comparaison aux mesures, permettent de vérifier les hypothèses de travail et éventuellement de modifier certains paramètres utilisés dans la construction du modèle. Le calage porte sur les composantes hydrologique (transformation des pluies en débits) et hydraulique (propagation des débits).

Le calage est un processus qui conduit à une amélioration progressive de la qualité de la représentation du fonctionnement du réseau. Il n'a pas de limite prédéfinie, à priori. Le processus de calage a été arrêté, lorsque la représentation obtenue par le modèle était suffisamment fidèle pour répondre aux besoins de l'étude :

- établir le diagnostic du réseau et de ses ouvrages de déversement ;
- effectuer des simulations projectives.

Cette précision s'apprécie par des critères de volumes et de synchronicité entre mesures et modèle.

Si le réseau peut être considéré comme calé pour les besoins de l'étude, il convient de rappeler que toute opération de calage présente des limites liées, à la fois à la modélisation en elle-même, qui repose sur une représentation nécessairement simplifiée des réseaux, à l'incertitude sur le dispositif métrologique et à la connaissance disponible, lors de la procédure de calage.

A partir des données de mesures de la campagne, différents éléments du modèle ont été ajustés au cours du processus de calage. Les résultats de calage qui en découlent, permettent d'obtenir une précision et une représentation du fonctionnement du réseau au plus proche de la réalité pour les journées de référence considérées.

Le calage est réalisé en ajustant notamment, les paramètres suivants :

- Les pertes de charge du réseau (rugosité, pertes de charge singulières) ;
- Les coefficients de débit des déversoirs d'orage

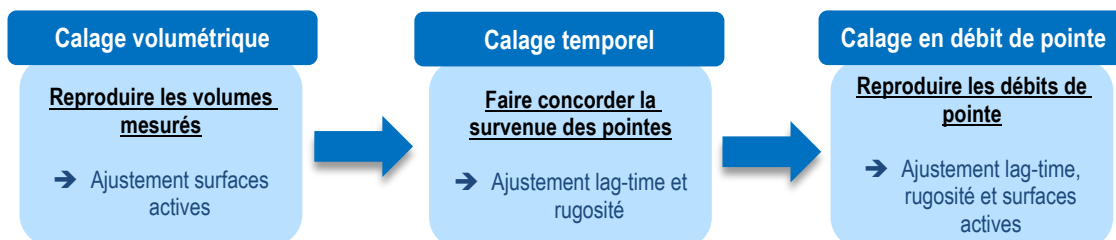
Le résultat de calage peut ainsi s'obtenir en comparant les résultats des simulations aux mesures réelles.

COEFFICIENTS DE CALAGE

Afin de caler le modèle, les paramètres suivants sont potentiellement modifiés par rapport à la situation théorique initiale :

- Le coefficient de ruissellement des sous bassins versants et donc la surface active ;
- Les lag-times des sous bassins versants (temps de réponse : apparition du débit de pointe) ;
- Les coefficients de rugosité dans les canalisations ;
- Les modalités de régulation des ouvrages de stockage.

Le calage se fait en plusieurs étapes :



QUALIFICATION DU CALAGE

La qualification des résultats du calage nécessite de fournir des éléments sur la crédibilité du modèle. Quatre critères ont été utilisés pour qualifier le calage du modèle hydraulique.

• Critère de Nash

Pour exprimer la corrélation entre les valeurs observées et les valeurs simulées, nous exprimons le critère de Nash dont nous présentons l'écriture :

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{simulé} - \overline{Q_{mesuré}})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{simulé} - \overline{Q_{simulé}})^2}$$

Ce critère est plus particulièrement utilisé en hydrologie pour estimer la qualité des débits simulés indépendamment du jugement « subjectif » de l'observateur. Il mesure la part de la variance expliquée grâce au modèle. Une valeur supérieure à 0.7 (70%) est généralement considérée comme satisfaisante, la valeur optimale étant 1 (100%).

• Calage en volume

Le second critère utilisé a pour but de représenter la différence de quantité d'eau qui s'est écoulé. C'est ainsi que ce critère est défini de la façon suivante :

$$Ecart\ volume = \frac{(Q_{mesuré} - Q_{simulé})}{Q_{simulé}}$$

Une valeur proche comprise entre - 0.2 et 0.2 est généralement admise (20% d'erreur). La valeur optimale étant de 0.

• Calage des pointes

Le troisième critère utilisé a pour but de représenter la différence entre les débits de pointes. C'est ainsi que ce critère est défini de la façon suivante :

$$Ecart\ volume = \frac{(Q_{pointe\ mesuré} - Q_{pointe\ simulé})}{Q_{pointe\ simulé}}$$

Une valeur proche comprise entre - 0.2 et 0.2 est généralement admise (20% d'erreur). La valeur optimale étant de 0.

- **Critère temporel**

Critère visuel basé sur le décalage temporel entre l'hydrogramme simulée et mesurée pour chaque point de mesure.

2.1.3.1.1. Calage de temps sec

Le calage du modèle par temps sec consiste à introduire au niveau des nœuds du modèle des profils moyens de rejet d'eaux usées extrait des mesures de la campagne de nappe basse afin de reproduire le comportement du réseau observé lors de cette période.

Pour chaque point de mesure une courbe de modulation a donc été créée afin de simuler les débits sanitaires transitant dans les canalisations sur le bassin de collecte du point. Chaque courbe de modulation est issue de l'hydrogramme journalier de temps sec définie lors des campagnes de mesure.

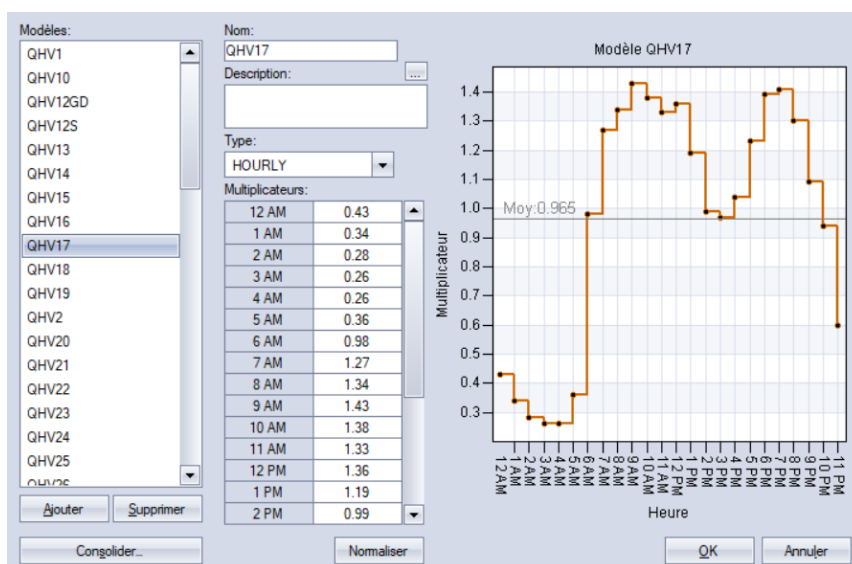


Figure 9 : Exemple d'une courbe de modulation horaire des débits d'eaux usées sanitaires appliquée dans le modèle hydraulique

Le calage de temps sec a été réalisé sur la journée du 20/03/2024 au 23/03/2024 qui correspond des journées moyennes de rejet temps sec sur la campagne et pour laquelle les données mesurées sont relativement fiables sur l'ensemble des points de mesure.

2.1.3.1.2. Calage de temps de pluie

Le calage du modèle par temps de pluie permet d'ajuster les paramètres hydrologiques définissant la surface active, le temps de réponse aux précipitations et la transformation pluie-débits. Pour la modélisation du réseau d'assainissement de Limoges la simulation hydrologique la méthode de transformation pluie/débit utilisé est la méthode RDII (Rainfall Dependent Inflow and Infiltration) ; cette méthode nécessite de saisir les surface active et un hydrogramme unitaire

Un hydrogramme unitaire a été déterminé pour chaque bassin de collecte situé en tête du réseau tandis que pour les bassins en aval les hydrogrammes unitaires sont répartie par rapport au pluviomètre le plus proche.

Le calage de temps de pluie a été effectué entre le 20/03/2024 et le 23/04/2024. Sur cette période 17 jours de pluies ont été captés dont 9 jours successifs comprenant les événements du pluvieux du 29/03/2024 au 30/03/2024 avec une période de retour annuelle.

2.1.3.2. Résultats du calage

2.1.3.2.1. Résultats pour le temps sec

Les données de calage présentées ci-après sont celle issues de la simulation du 20/03/2024 au 23/03/2024. Le calage de temps sec est **très satisfaisant** sur le système d'assainissement.

Au global, le modèle hydraulique présente sur ces journées de temps sec un écart de **-5,0% par rapport aux débits de pointe mesurés, de 0,03% par rapport aux volumes journaliers mesurés.**

Par temps sec, aucun déversement n'est observé dans la modélisation.

Le code couleur appliquer au calcul des différents critères de calage est pris tel que :

Evaluation du calage	Très Bon	Bon	Moyen	Mauvais
Part de Qpointe ou Qjournalier par rapport à la mesure	$\leq \pm 10\%$	$\leq \pm 20\%$	$\leq \pm 50\%$	$> \pm 50\%$

Les écarts de pointe entre la mesure et la simulation sont principalement dûs aux incertitudes lors de la construction du modèle.

La présence d'escalier dans le réseau du centre de Limoges a été modélisé par des jonctions fictives et des arrivées en chute avec des pertes de charge singulières importantes en entrée (haut de l'escalier) et en sortie (bas de l'escalier) des tronçons. Ces singularités ont été mises en place par exemple sur les secteurs de Théodor Bac (figure 6) ou Georges Dumas (figure 7).



Figure 10 : Escalier sur le tronçon rue Théodor Bac



Figure 11 : Escalier sur le tronçon rue Georges Dumas

Lors du calage par temps sec, les vitesses et les hauteurs d'eaux dans les collecteurs mesurées par le biais des différents points de mesure mis en place par ALTEREO dans le cadre de la phase 2 ont également participées au calage du modèle. Pour cela les rugosités et des pertes de charge ont été appliqués. Sur certains secteurs impactés par des dégradations du réseau ou avec des canalisations maçonnées, les pertes de charge et rugosité appliquées sont supérieures à celle préconisées par le logiciel afin de garantir une vitesse et une mise en charge des collecteurs conformes à la réalité.

Les secteurs les plus impacté sont :

- Le secteur d'Aigueperse ;
- Collecteur Rive Droite1 ;
- Secteur Garibaldi
- Secteur Théodor Bac et Chinchevaud ;
- Secteur Carnot ;
- Secteur Maupassant.



Figure 12 : Concrétion sur le réseau Aigueperse



Figure 13 : Réseau maçonnée sur le secteur Chincaveau

Tableau 4 : Résultats de calage par temps sec du 20/03/2024 au 23/03/2024

Point de mesure	Bassin de collect	Mesuré		Simulé		Différence de Pointe	Différence de Volume	Remarque
		Volume (m3)	Débit maximum (m3/h)	Volume(m3)	Débit maximum (m3/h)			
Moulin blanc								
QHV1	Couzeix Oest	1788.52	36.87	1787.42	36.87	0%	0%	Très Bien
QHV2	Aurence	7009.84	125.80	7067.78	125.80	0%	-1%	Très Bien
QHV3		9045.43	162.64	8701.23	154.61	5%	4%	Très Bien
QHV4	Roussillon nord	11156.26	228.32	10928.75	228.32	0%	2%	Très Bien
QHV28	La Borie Sud	7275.39	133.62	7060.53	133.62	0%	3%	Très Bien
QHV31	La Borie Nord	1471.83	34.45	1465.74	34.45	0%	0%	Très Bien
QPR2	Moulin Blanc	23211.62	490.03	21846.10	490.03	0%	6%	Très Bien
QS1	Couzeix Centre	1605.90	49.92	1586.04	49.92	0%	1%	Très Bien
QS2	Couzeix Est	1279.31	23.99	1262.05	23.99	0%	1%	Très Bien
QS3	Landouge sud	565.01	11.47	563.87	11.47	0%	0%	Très Bien
QS4	Landouge nord	1049.12	25.15	1067.45	25.15	0%	-2%	Très Bien
QS11	Roussillon sud	1014.10	28.97	1001.97	28.97	0%	1%	Très Bien
QS12bis	Roussillon sud	727.13	11.82	725.82	11.82	0%	0%	Très Bien
Rive droite								
QHV5	CHRU	6699.37	130.29	6761.21	125.55	4%	-1%	Très Bien
QHV6	Filature/dumas	84883.49	1754.86	103019.64	1680.55	4%	-18%	Bien
QHV8	Ernest ruben	6690.91	152.13	6279.42	115.71	31%	7%	Sous-Evaluation du débit de pointe
QHV9	emailleurs	4323.61	77.66	4201.40	69.82	11%	3%	Bien
QHV10	Révolution	3945.59	93.09	3696.12	64.95	43%	7%	Présence de pics de débits sur la journée du 20/03 et 21/03 absent sur le profil moyen
QHV12S	Le sablar	1735.90	31.61	1461.44	27.75	14%	19%	
QHV13	Corderie	7503.10	144.53	7076.85	123.45	17%	6%	Bien
QHV14	Saint Etienne	45276.59	855.32	43701.66	647.67	32%	4%	Bien
QHV15	Carnot	1711.89	31.98	1687.70	28.70	11%	1%	Bien
QHV16	Garibaldi	5242.25	101.55	4689.09	83.06	22%	12%	Bien
QHV17	Denis Dessous	1574.02	34.18	1867.13	32.08	7%	-16%	Bien
QHV18	Montjovis	4151.88	60.74	4056.49	59.68	2%	2%	Très Bien
QHV19	Labussière	3558.56	66.36	3587.94	66.60	0%	-1%	Très Bien
QHV20	Theodore Bac	14080.95	247.88	14052.78	216.29	15%	0%	Très Bien
QHV21	Chichauvaud	2029.30	33.33	2057.68	33.72	-1%	-1%	Très Bien
QHV22	Elisée Reclus	5142.06	75.00	5179.30	75.74	-1%	-1%	Très Bien
QHV23	Proudhon Bénédictin	41757.75	620.04	43105.39	652.66	-5%	-3%	Très Bien
QHV24	Maupassant	3212.54	49.86	3128.94	47.66	5%	3%	Très Bien
QHV29	Puy Imbert	10170.69	181.93	10516.38	180.26	1%	-3%	Très Bien
QHV33	Beaubreuil	2154.56	39.37	2222.64	38.37	3%	-3%	Très Bien
QPR1	Moulin pinard	5549.97	116.77	5494.14	106.52	10%	1%	Très Bien
QPR7	Ilse du bas	215.09	5.58	241.20	5.58	0%	-11%	Très Bien
QPR8	Port du naveix	48789.00	837.00	47232.00	1620.00	-48%	3%	Sous-Evaluation du débit de pointe
Rive Gauche								
QPR10	Le palais	13920.47	361.22	14256.00	324.00	11%	-2%	Bien
QHV25	Panazol Nord	2347.15	54.79	2373.40	42.50	29%	-1%	Sous-Evaluation du débit de pointe
QHV26	Bord de vienne	18983.83	287.50	19969.45	344.57	-17%	-5%	Bien
QHV27	Porte ferrées	27957.21	465.50	30020.17	508.10	-8%	-7%	Très Bien
QHV32	Rillac Ouest	7189.38	117.48	7187.63	111.56	5%	0%	Très Bien
QPR9	Le sablard	27460.67	480.83	29503.66	606.53	-21%	-7%	
QS5	Rilhac est	2937.41	47.84	2935.21	47.28	1%	0%	Très Bien
QS6	Beaunes les Mines	606.30	12.78	602.72	11.42	12%	1%	Bien
QS8	Panazol Sud	1550.45	31.82	1544.95	29.63	7%	0%	Très Bien
QS7	Ester	503.37	14.13	378.77	8.16	73%	33%	Mise en charge aval lors de la campagne de mesure
QS9	Chastaingt	107.92	2.51	107.70	2.11	19%	0%	Bien
Romanet								
QPR11	Romante Nord	6774.18	157.22	6456.10	126.00	25%	5%	Bien
QHV30	Romanet Sud	2721.83	57.44	3471.26	68.49	-16%	-22%	Sous estimation de la mesure
QS10	Feytiat	2956.26	61.42	2314.94	48.86	26%	28%	Sur estimation des mesures
Aiguille								
QPR3	Isle centre	5073.04	102.92	5076.00	108.00	-5%	0%	Très Bien
QPR4	Bosmie	1634.19	38.22	1742.40	39.60	-3%	-6%	Très Bien
QPR5		6179.98	180.50	6526.80	186.48	-3%	-5%	Très Bien
QPR6	Condat	2851.47	45.71	2592.00	54.00	-15%	10%	Pas de données. Callage effectuée sur les résultats du 20/04/2024-23/04/2024

2.1.3.2.2. Résultats pour le temps de pluie

Les écarts de débits totaux du système d'assainissement (débits déversés et débits traités) entre les valeurs mesurées et calculées sont **satisfaisants** notamment pour des épisodes pluvieux longs et pour des intensités variables.

Les données de calage présentées ci-après sont celles issues de la simulation sur la période du 20/03/2024 au 23/04/2024. Sur cette période on enregistre 17 jours de pluie. Durant cette période, on enregistre plusieurs événements pluvieux de période de retour hebdomadaire et un événement principal avec une période de retour annuelle ; Les différents événements pluvieux significatifs utilisés pour le calage du modèle sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Evénements pluvieux marquant sur la période de calage

	Evènement 1	Evènement 2	Evènement 3	Evènement 4
Début de l'évènement	28/3/24 21:00	27/3/24 22:00	2/4/24 22:00	8/4/24 19:00
Fin de l'évènement	30/3/24 8:00	28/3/24 0:00	3/4/24 11:00	9/4/24 2:00
Durée (min)	2100.00	180.00	840.00	480.00
Cumul (mm)	58.25	5.75	11.25	8.75
Intensité maximale (mm/h)	6.75	2.75	2.75	3.50
Intensité moyenne (mm/h)	5.30	1.92	0.80	1.09
Période de retour	Annuelle	Hebdomadaire	Hebdomadaire	Hebdomadaire

Durant cette période le niveau de la Vienne a eu d'importante variation (figure 10) avec un pic de hauteur observé à 1.5m par rapport à la station de référence du Pont Neuf. **Ces variations ont alors noyé les déversoirs d'orage DO100, DO72, DO101, DO36, DO42 ; créant ainsi des entrées de Vienne dans le réseau.** Pour ces déversoirs, des séries chronologiques de hauteur d'eau ont été établies au niveau des exutoires pour simuler les entrées d'eau et les incapacités de déversement.

Sur la période de calage choisie, une opération de maintenance a eu lieu sur la STEU, obligeant Limoges Métropole de stopper les vis d'entrée STEP, créant des déversements importants sur le déversoir en amont de la STEP et des mises en charge importante dans le réseau. **Cet évènement particulier n'a pas été paramétré et le fonctionnement « normal » de la STEU a été simulé.**

Hauteur instantanée - Données les plus valides de l'entité - L040 0610 02 - La Vienne à Limoges - Pont-Neuf - du 20/03/2024 00:00 au 24/04/2024 23:59 (TU)

Généré le 07/11/2024 16:18 (TU)

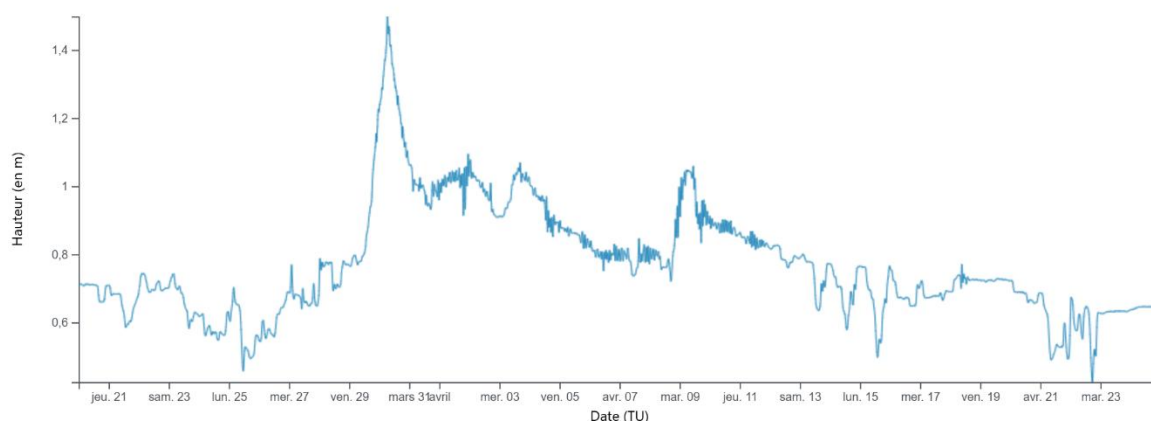


Figure 14 : Mesure de hauteur d'eau sur la Vienne sur la station du pont-neuf-L040061002- (Source : Hydroportail)

Au global, le modèle hydraulique présente sur le calage temps de pluie un écart de **12.02% par rapport aux débits de pointe mesurés, de -9.4% par rapport aux volumes journaliers mesurés et un Nash moyen de 0,77.**

Le code couleur appliquer au calcul des différents critères de calage est pris tel que :

Evaluation du calage	Très Bon	Bon	Moyen	Mauvais
Nash	$\geq 0,8$	$\geq 0,6$	$\geq 0,3$	$\leq 0,3$
Part de Qpointe ou Qjournalier par rapport à la mesure	$\leq \pm 10\%$	$\leq \pm 20\%$	$\leq \pm 50\%$	$> \pm 50\%$

Tableau 6 : Résultats de calage par temps sec du 20/03/2024 au 23/04/2024

Point de mesure	Bassin de collect	Mesuré		Simulé		Différence de Pointe	Différence de Volume	Remarque
		Volume (m3)	Débit maximum (m3/h)	Volume(m3)	Débit maximum (m3/h)			
Moulin blanc								
QHV1	Couzeix Ouest	23195.95	246.57	26891.91	283.61	-13%	-14%	
QHV2	Aurence	117622.07	2315.98	119060.11	498.26	365%	-1%	Probleme de calage pour la réaction a la pluie, pic principale non simulé
QHV3		244918.51	2486.12	152878.46	730.86	240%	60%	Probleme de calage pour la réaction a la pluie, pic principale non simulé
QHV4	Roussillon nord	134842.49	625.46	146635.01	379.23	65%	-8%	Problème de mesure entre le 29/03 et le 08/04
QHV28	La Borie Sud	78938.90	235.94	78250.09	327.03	-28%	1%	absence de donné après le 17/04 20:00
QHV31	La Borie Nord	20854.13	267.96	22021.70	249.74	7%	-5%	
QPR2	Moulin Blanc	316671.07	816.65	318504.43	799.20	2%	-1%	
QS1	Couzeix Centre	63418.80	1001.81	40080.99	461.01	117%	58%	Mise en charge entre le 31/03 18:00 et le 06/04 9:00
QS2	Couzeix Est	20913.01	114.03	21243.68	113.49	0%	-2%	
QS3	Landouge sud	10818.88	50.10	10042.57	88.79	-44%	8%	Difference de pointe importante car dépassement de la capacité de mesure du seuil lors de l'evenement pluvieux du 29/03/2024
QS4	Landouge nord	25959.83	99.51	24764.43	340.35	-71%	5%	Mise en charge du seuil entre le 26/03/2024 et le 02/04/2024 et depassement de la capacité de mesure du seuil
QS11	Roussillon sud	13570.32	81.55	14030.67	84.90	-4%	-3%	
QS12bis	Roussillon sud	10135.00	39.42	10335.46	40.42	-2%	-2%	
TPST26	DO Moulin Blanc	10854.09	567.73	5893.21	563.03	171%	441%	Pics de débits devers� du � l'arret des pompes
Rive droite								
QHV5	CHRU	76217.46	470.57	84677.98	612.71	-23%	-10%	Variation de débit le WE moins important
DOME05		33497.37	1543.23	37592.36	1402.93	10%	-11%	Sur estimation du débit de point mesuré
QHV6	Filature/dumas	0.00	0.00	0.00	0.00			
QHV8	Ernest ruben	151711.85	4562.87	162472.84	4333.34	5%	-7%	
QHV9	emailleurs	70122.89	880.09	68786.91	1071.04	-18%	2%	
DOME06A		47363.10	3781.53	43230.78	4436.83	-15%	10%	
DOME06D		2375.27	367.43	1782.54	329.97	11%	33%	
QHV10	Révolution	91911.49	1690.00	72501.46	1463.54	15%	27%	Impacte de l'arret des vis sur la mesure
DOME04		18660.99	1442.84	23404.46	1393.09	4%	-20%	
QHV12S	Le sablar	0.00	0.00	0.00	0.00			Probleme sur la mesure par temps de pluie
QHV13	Corderie	76306.72	305.50	103741.15	306.00	0%	-26%	
DOME12		38676.52	3715.88	76223.61	3769.46	-1%	-49%	
QHV14	Saint Etienne	807737.05	2918.12	736682.75	2554.95	14%	10%	
QHV15	Carnot	31659.01	511.41	29849.08	549.70	-7%	6%	
QHV16	Garibaldi	101840.99	1872.57	103180.48	2547.17	-26%	-1%	
QHV17	Denis Dessous	55928.28	1823.94	57263.36	1919.75	-5%	-2%	
QHV18	Montjovis	79477.22	518.68	80776.26	1891.96	-73%	-2%	Ecart de pointe du � la mesure
QHV19	Labussière	57973.68	906.85	79864.39	2210.83	-59%	-27%	Problème sur la mesure à partir du 29/03/2024
QHV20	Theodore Bac	247237.28	4341.40	256798.99	5171.59	-16%	-4%	
QHV21	Chichauvaud	38753.43	1320.94	47459.39	1197.02	10%	-18%	Pics de pluies hebdomadaire simulés trop important
QHV22	Elisée Reclus	134282.66	2084.75	97506.54	2071.03	1%	38%	Surestimation de mesure temps sec entre le 23/03 et le 09/04
DOME08		11305.12	2475.19	6983.88	1352.53	83%	62%	Débit devers� sur estimé. Débit mesuré sur le deversoir superieur au débit mesuré sur le point de mesure
QHV23	Proudhon Bénédictin	566605.80	1236.73	597958.20	1346.71	-8%	-5%	Incertitude sur la mesure réseau en charge
DOME10		5552.91	1593.67	6740.68	1469.47	8%	-18%	
DOME11		35396.28	3852.24	30489.80	3455.55	11%	16%	
QHV24	Maupassant	19071.70	241.42	40208.02	267.23			Arrêt des mesure le 27/03/2024
QHV29	Puy Imbert	0.00	0.00	0.00	0.00			Probleme sur la mesure par temps de pluie
QHV33	Beaubreuil	28298.04	69.60	27896.60	63.14	10%	1%	
QPR1	Moulin pinard	90684.65	580.00	108878.53	639.43	-9%	-17%	Comparaison avec la cana en amont du poste
TPST21		65.23	37.51	72.63	70.73	-47%	-10%	Débit devers� simulé sur-estimé
QPR7	Ilse du bas	4778.71	22.31	3895.20	21.60	3%	23%	
QPR8	Pont St Etienne	952398.00	3240.00	725760.00	3240.00	0%	31%	
DOME13		141597.61	8790.52	26800.97	2616.67	236%	428%	Débit devers� sur- estimé
Rive Gauche								
QPR10	Le palais	309305.66	1443.60	289726.92	1455.87	-1%	7%	Importante entrée de vienne dans le réseau
QHV25	Panazol Nord	39643.26	223.71	38137.41	173.23	29%	4%	
QHV26								données inexploitable sur la periode
QHV27	Porte ferrées	530074.83	1553.62	486713.90	1531.99	1%	9%	Arrêt des vis du 26/03 et 27/03 non simulé
DOME09		42543.46	2558.13	47897.90	1283.97	99%	-11%	deversement le 26/03 et 27/03 du � l'arret des vise
QHV32	Rilhac Ouest	96274.54	425.76	93852.27	259.86	64%	3%	Pics de plus du 29/03/2024 non atteint car les pics des autres pluie sont call�
QPR9	Le sablard	491464.83	1370.00	497376.00	1440.00	-5%	-1%	Débits de pointe simulé entant dans le poste plus important que le débits du poste
QS5	Rilhac est	42585.02	148.68	48646.04	238.00	-38%	-12%	Capacité de mesure du seuil dépassé
QS6	Beaunes les Mines	13090.40	122.37	12872.56	103.39	18%	2%	
QS8	Panazol Sud	23031.68	67.58	26488.85	130.52	-48%	-13%	Difference de pointe du �u dépassement de la capacité de mesure du seuil
QS7	Ester	4511.11	31.23	5799.41	32.44	-4%	-22%	Débit mesuré pendant les week-ends plus faible qu'en semaine
QS9	Chastaingt	8947.04	249.02	6371.79	194.88	28%	40%	Pic de pluie non atteint dans la simulation
Romanet								
QPR11	Romanet Nord	108610.17	482.85	117196.48	861.26	-44%	-7%	
QHV30	Romanet Sud	530074.83	1553.62	486713.90	1531.99	-43%	-23%	Comparaison impossible car valeur mesuré trop basse. Lors de la pluie du 29/03/2024 mesure erronée car depots sur la sonde US
QS10	Feytiat	42543.46	2558.13	47897.90	1283.97	-40%	2%	Dépassement de la capacité de mesure du seuil
TPRE61	DO	96274.54	425.76	93852.27	259.86	24%	-9%	
Aiguille								
QPR3	Isle centre	80669.86	330.58	71781.55	330.58	0%	12%	
QPR4	Bosmie	34023.20	172.33	32894.77	198.20	-13%	3%	
QPR5		103802.62	224.78	106089.98	224.78	0%	-2%	Calage de la hauteur du bassin tampon effectué
QPR6	Condat	38185.65	71.47	31521.00	72.00	-1%	21%	

2.1.4. Résultats de calage annuel

Le modèle est ensuite calé sur une année complète, le calage a été effectué sur l'année 2023, on retrouve :

- ✓ deux événements avec une période de retour annuelle le 21/06/2023 et le 17/09/2023,
- ✓ un événement avec une période de retour 6 mois le 09/06/2023.

Le calage du modèle sur l'année 2023 a été effectué en comparaison avec les mesures d'autosurveillance de Limoges Métropole disponibles sur les points A2, A3 et sur les principaux postes de relevage.

Le calage du modèle a été réalisé en prenant en compte la mise en place des nouveaux dégrilleurs sur le BOC. La mise en place de ces nouveaux équipements ont permis de supprimer les déversements sur le déversoir d'orage amont dégrillage. Ces travaux ont eu lieu au courant de l'année 2023. Les déversements associés aux anciens équipements ne sont donc pas simulés au niveau du modèle.

Dénomination	Nombre de jour de déversements en 2023	Volume annuel déversé (m³)	Nombre de jour de déversements simulé	Volume annuel déversé simulé (m³)	Différence de volume
Charles de Gendre - DO D	40	17886	50	13686	-31%
DO Font Pinot	106	351550	107	307725	-14%
DO Port du Naveix	82	75329	95	123290	39%
DO Etoile	6	4586	8	3668	-25%
DO Revolution	115	145087	134	144465	0%
DO Clos Moreau	0	0	61	27097	100%
Charles de Gendre - DO A	102	377823	104	356242	-6%
DO Elisee Reclus	58	43055	42	50744	15%
DO Proudhon	64	87319	56	87659	0%
DO Aigueperse	60	150902	47	87069	-73%
BOC - Dégrilleur (By pass casseaux)	36	147982	Non simulé		
BOC - Bassin (By pass casseaux)	55	739739	50	292254	-153%
DO Romanet	8	2540	13	2351	-8%
DO Moulin Blanc	50	86402	49	81903	-5%
DO Moulin Pinard	6	467	0	0	-
DO Pont de l'Aiguille	1	862	0	0	-
Somme A1	789	2231527,671	826	1578153	-41%
DO Salvador Allende	83.00	176985	88	236939	25%
DO STEP Rive gauche	75.00	343445	94	338970	-1%
Somme A2	158	520430	182	575909	10%
Entrée STEP	-	15975116	-	16048800	0,46%
TOTAL (A2+A3)	789	18727074	826	18202862	-3%

Concernant les points de déversements de type A1, on observe un écart de 40% sur les volumes déversés. Les principaux écarts sont liés :

- ✓ A l'absence de déversement sur le point BOC dégrilleurs liés au remplacement des équipements au cours de l'année 2023. Au total, les déversements observés sur ce point représentent 6.6% de la somme des déversements de 2023.

- ✓ Un écart important est présent sur le trop plein du BOC entre les débits mesurés par l'autosurveillance et les débits simulés. Or, d'après les données d'autosurveillance, on observe des débits de pointe supérieurs à $15000\text{m}^3/\text{h}$ sur le trop plein du bassin d'orage alors que la capacité des prétraitements en amont est fixée à $12\,000\text{m}^3/\text{h}$ maximum. De plus, avec les mesures installées sur les trois collecteurs en amont du BOC (Aigueperse, Proudhon et Elisée Reclus), les débits sortant par le biais des différents déversoirs d'orage sont supérieurs aux débits entrants. Un doute est donc présent quant à la véracité des mesures d'autosurveillance réalisées sur le trop plein du bassin d'orage ainsi que sur les déversoirs situés sur les trois collecteurs en amont du BOC.

Sur les points A2, l'écart de volume sur 1 an est de 10%. La représentativité du modèle est correcte sachant que le calage du DO Salvator Allende est difficile à reproduire au vu de la configuration hydraulique de ce dernier.

Au total, en cumulant les points A1, A2 et A3, l'écart en volume est de 3% témoignant ainsi de la bonne représentativité du modèle hydraulique.

3. EXPLOITATION DU MODELE

La modélisation hydraulique permet de présenter les secteurs à faible ou forte vitesse permettant l'auto-curage du réseau, le tableau ci dessous présente l'impact de la vitesse d'écoulement dans le réseau :

Tableau 7 : Impact de la vitesse d'écoulement dans le réseau

Vitesse	Impacte dans le réseau
Inférieur à 0.3m/s	Auto curage insuffisante : dépôt important et formation d'H ₂ S favorisé
Entre 0.3 et 0.6m/s	Auto curage suffisant
Entre 0.6 et 1.5 m/s	Condition d'auto curage idéale
Entre 1.5 et 2.5 m/s	Vitesse d'auto curage élevé
Supérieur à 2.5 m/s	Vitesse d'auto curage trop importante : Erosion et usure accélérée

La modélisation permet également d'identifier les mises en charge du réseau en mettant en évidence les secteurs avec une incapacité hydraulique pour faire transiter le débit de pointe ainsi que les zones de débordement.

L'ensemble de l'analyse hydraulique du réseau a été effectuée à partir des résultats obtenus par temps sec du 20/03/2024 au 23/03/2024 et par temps de pluie lors de l'évènement pluvieux du 29/03/2024 au 30/03/2024 (pluie d'occurrence annuelle).

3.1. Analyse du fonctionnement en Temps sec -20/03/2024 au 23/03/2023-

L'analyse est découpée par grands bassins de collecte.

3.1.1. Moulin Blanc

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Sur le secteur de Moulin Blanc par temps sec, l'auto curage du réseau est globalement suffisant (figure 15) sur la majorité du réseau de collecte. On notera néanmoins, la présence de certains secteurs avec des faibles vitesses ou au contraires trop importantes. Ces secteurs sont rappelés dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le secteur de Moulin Blanc

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
Rue d'Anthony et avenue Albert Thomas	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Gallieni	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Joseph Guillemot et rue du Maréchal Foch	Limoges	Vitesse insuffisante
Avenue du président René Couty	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Jean de Vienne	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue du Puy la Rodas	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue du Mas des Loges	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Armand Dutreix bas	Limoges	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Par temps sec, le bassin de collecte de Moulin Blanc présente en majorité un remplissage du réseau inférieur à 40% (figure 16) ; Deux secteurs présentent une mise en charge du réseau supérieure à 50 % :

- Le collecteur Aurence rive gauche;
- Le collecteur entre Couzeix centre et Couzeix est.

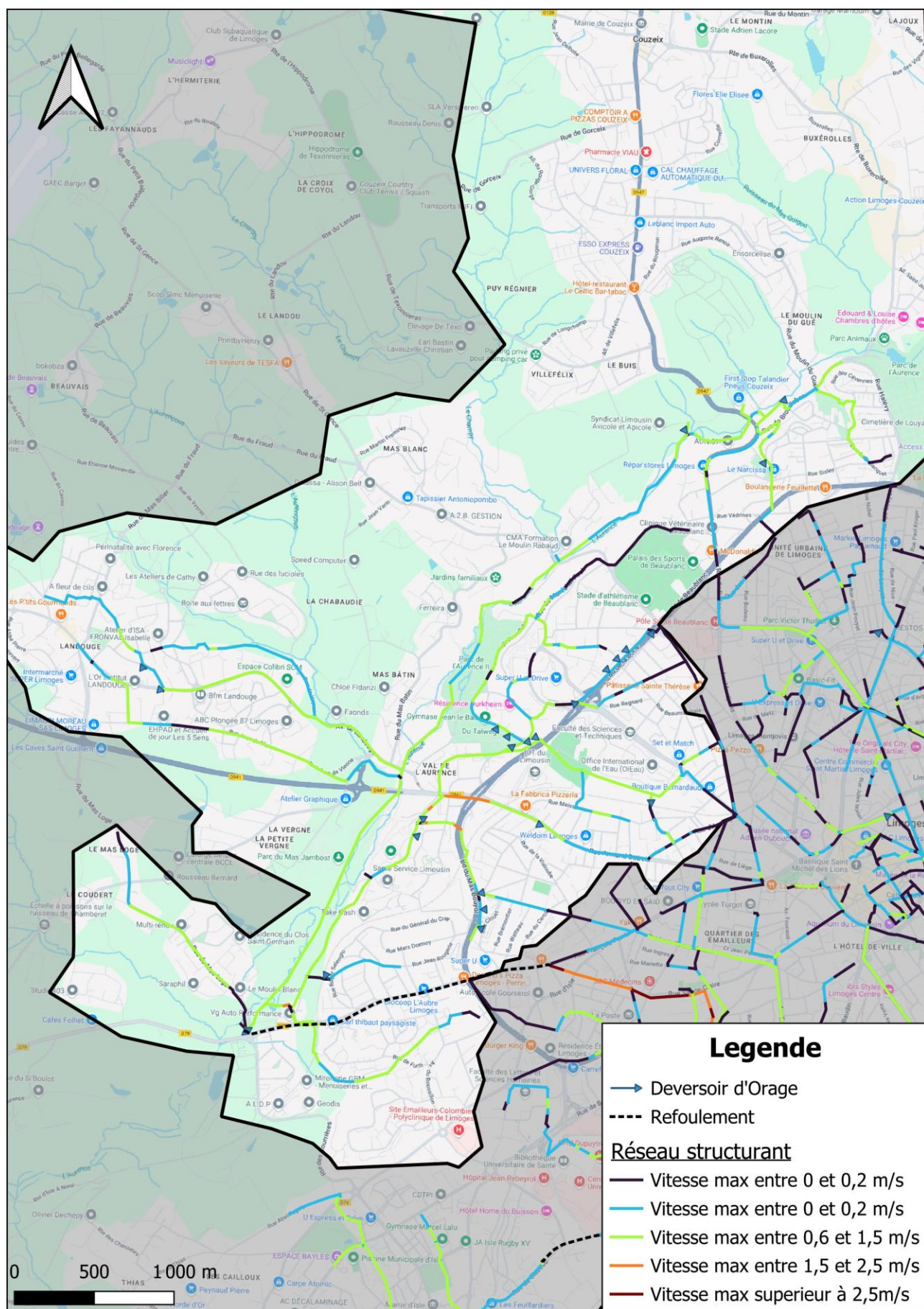


Figure 15 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Moulin Blanc en temps sec

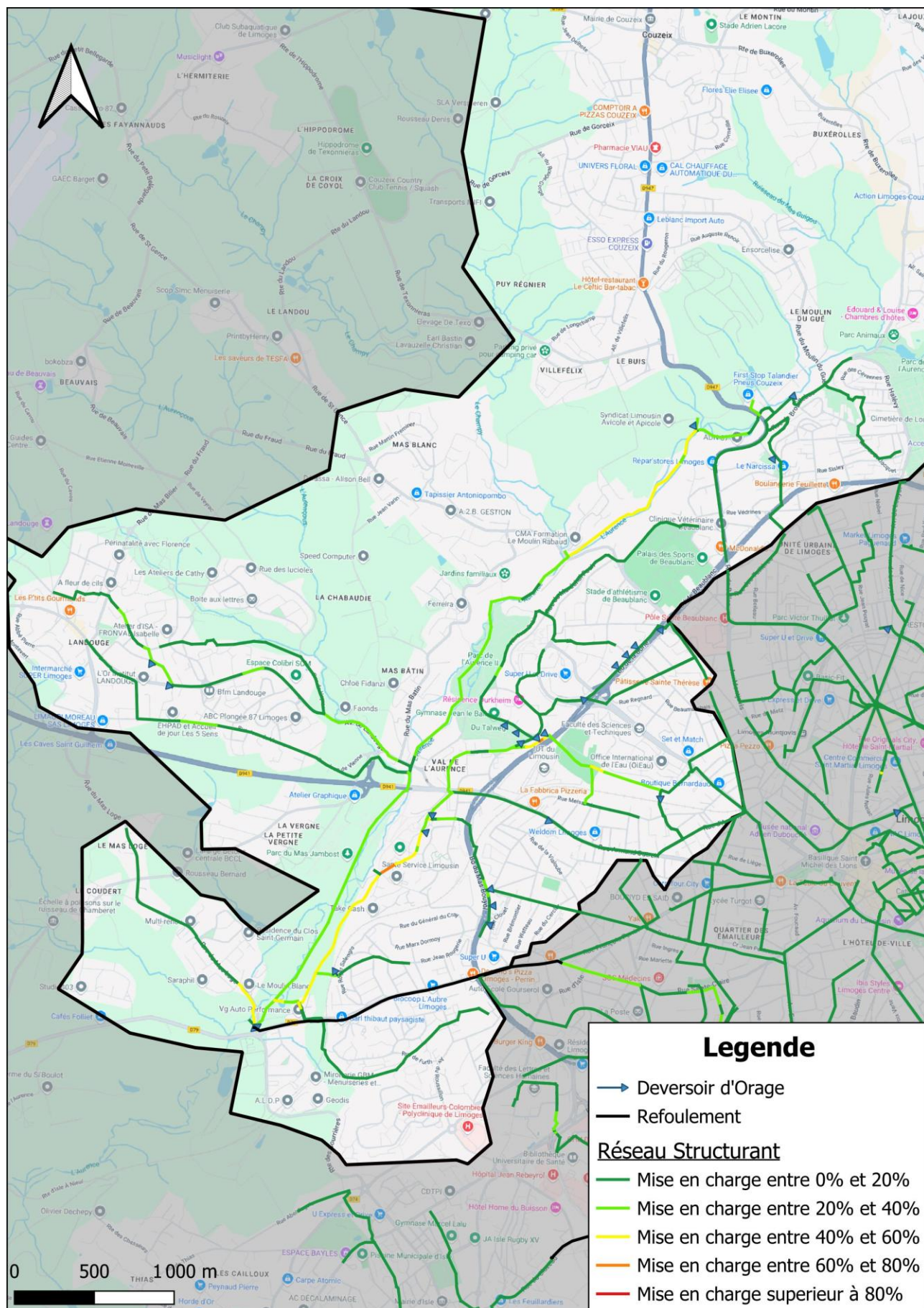


Figure 16 : Carte des mises en charge du réseau de Moulin Blanc

3.1.2. Romanet

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Les zones de faible vitesse ou de vitesses trop importantes sur le secteur de Romanet sont listées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le secteur des Romanet

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
La Valoine	Feytiat	Vitesse insuffisante
Avenue du Président John Kennedy	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Leonard Samie	Feytiat	Vitesse insuffisante
Rue de la Grande Pautaud	Feytiat	Vitesse insuffisante
La Valoine Aval	Feytiat	Vitesse insuffisante
Collecteur entre Rue Robert Desnos et la Valoine	Feytiat	Vitesse élevée
Collecteur entre rue Jean Zay et la Valoine	Feytiat	Vitesse élevée
Avenue du Général de Gaulle	Feytiat	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Le secteur de Romanet ne présente pas de problème de mise en charge du réseau par temps sec hors de l'amont direct du poste de Romanet (figure 18).

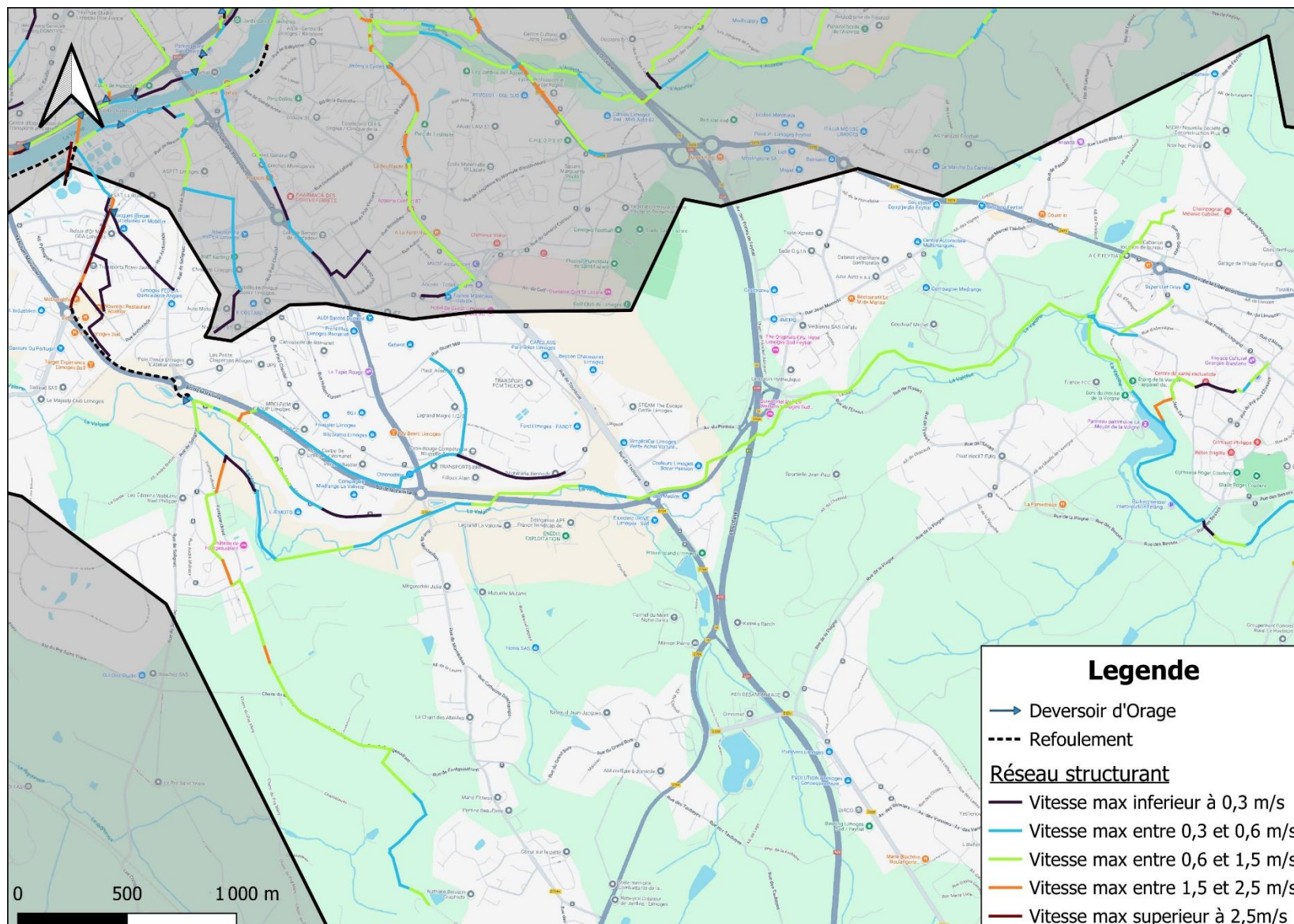


Figure 17 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Romanet en temps sec

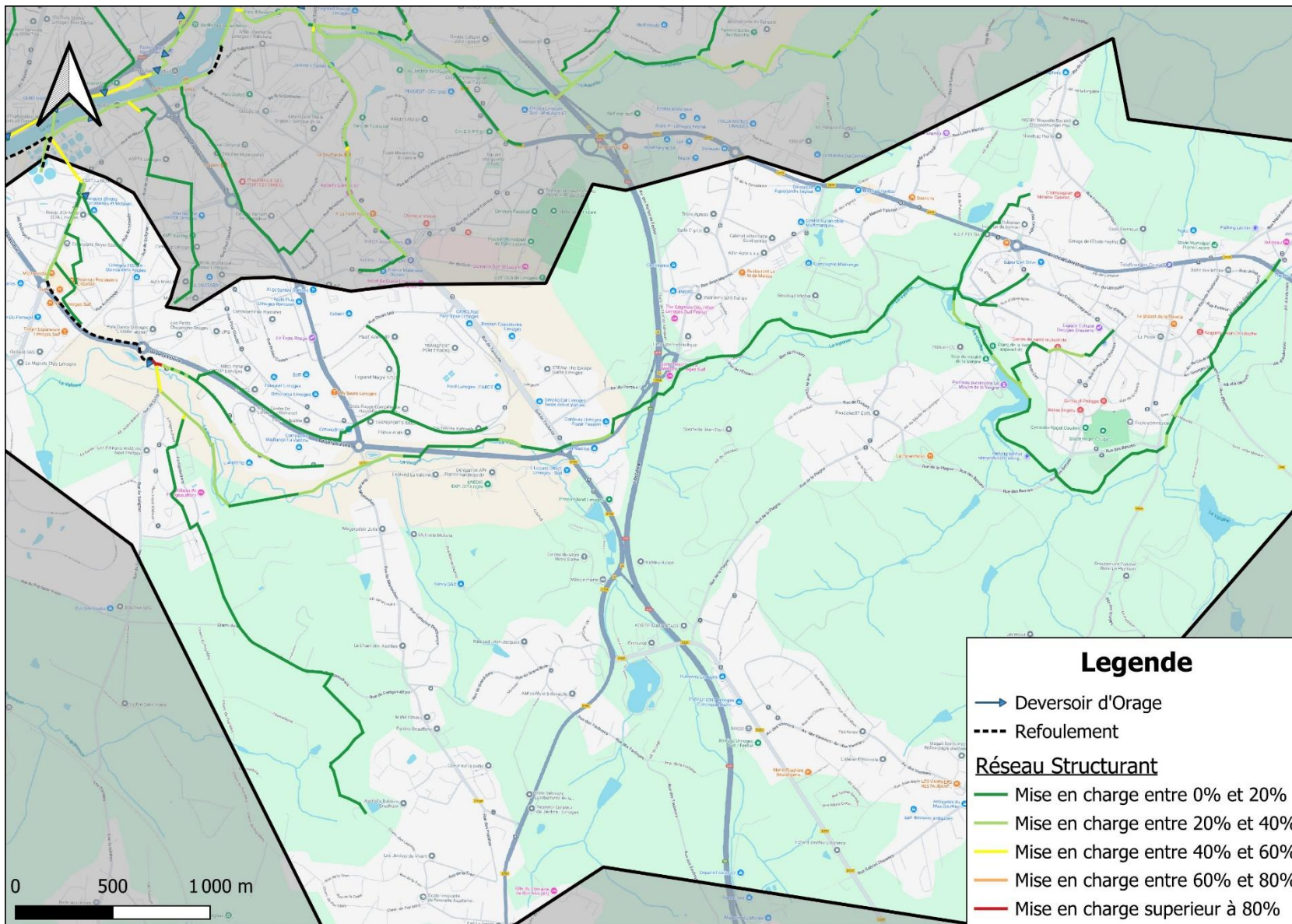


Figure 18 : Carte des mises en charge du réseau de Romanet

3.1.3. Aiguille

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Sur le bassin de l'Aiguille, le réseau de Bosmie l'Aiguille n'a pas été modélisé. Un point d'injection unique a été placé pour représenter la sortie du PR Lacaux.

Le bassin de collecte de l'Aiguille présente une vitesse d'écoulement idéal pour l'auto-curage sur l'ensemble du bassin (figure 15). Seuls les secteurs suivants présentent des problématiques de vitesse avec en majorité des vitesses élevées :

Tableau 10 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement sur le Bassin Aiguille

Secteur		Vitesse d'écoulement
Rue de la Chapelle	Isle	Vitesse insuffisante
Avenue René Gourinchas (Fin)	Isle	Vitesse insuffisante
Amont du PR le Pont de Condat	Condat sur Vienne	Vitesse élevée
Avenue René Gourinchas (début)	Isle	Vitesse élevée
Rue Jean Jaures	Condat sur Vienne	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Le bassin de l'Aiguille ne présente pas de problème de mise en charge par temps sec (figure20), ce qui est cohérent aux vues des vitesses d'écoulement simulées.

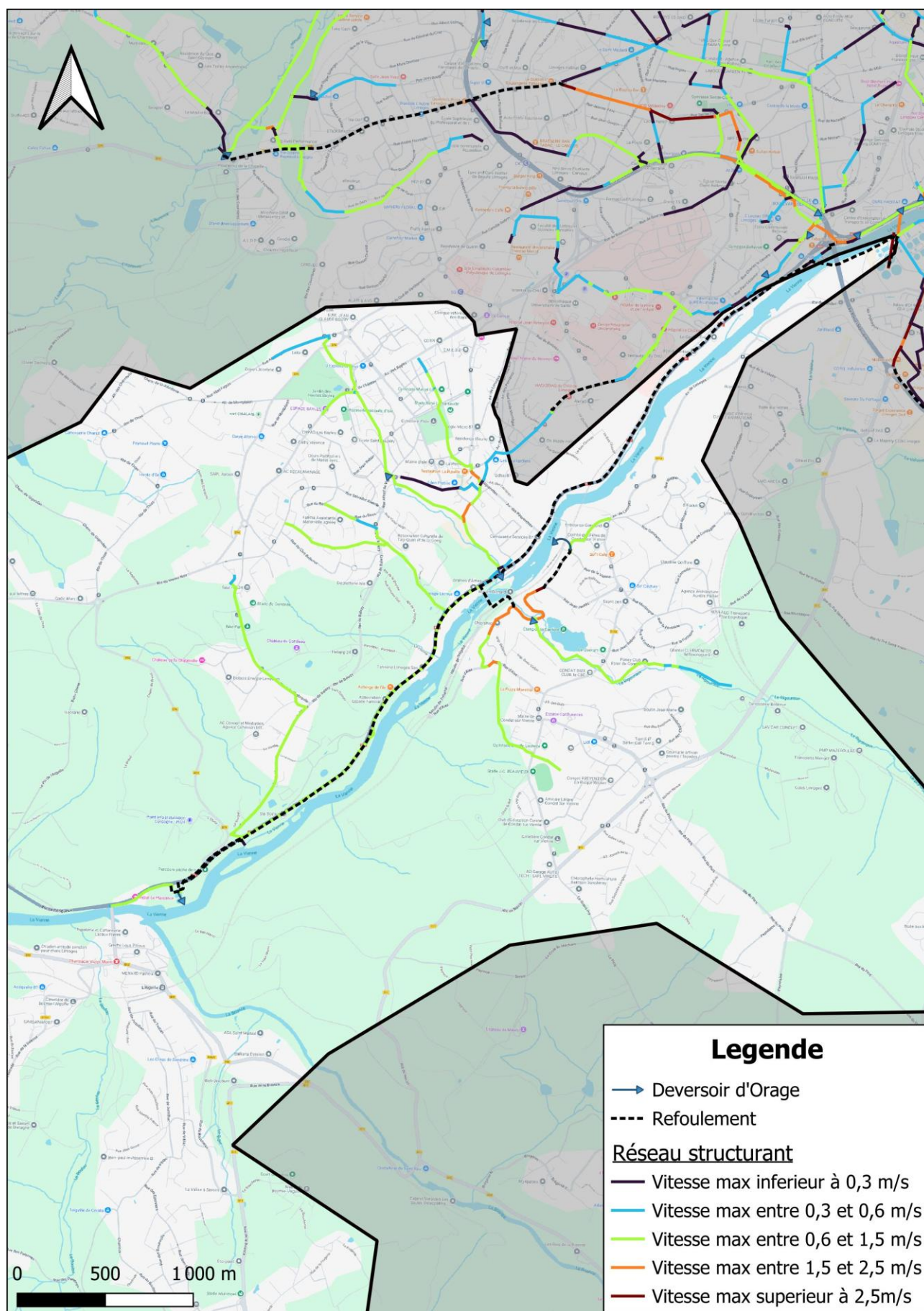


Figure 19 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de l'Aiguille en temps sec

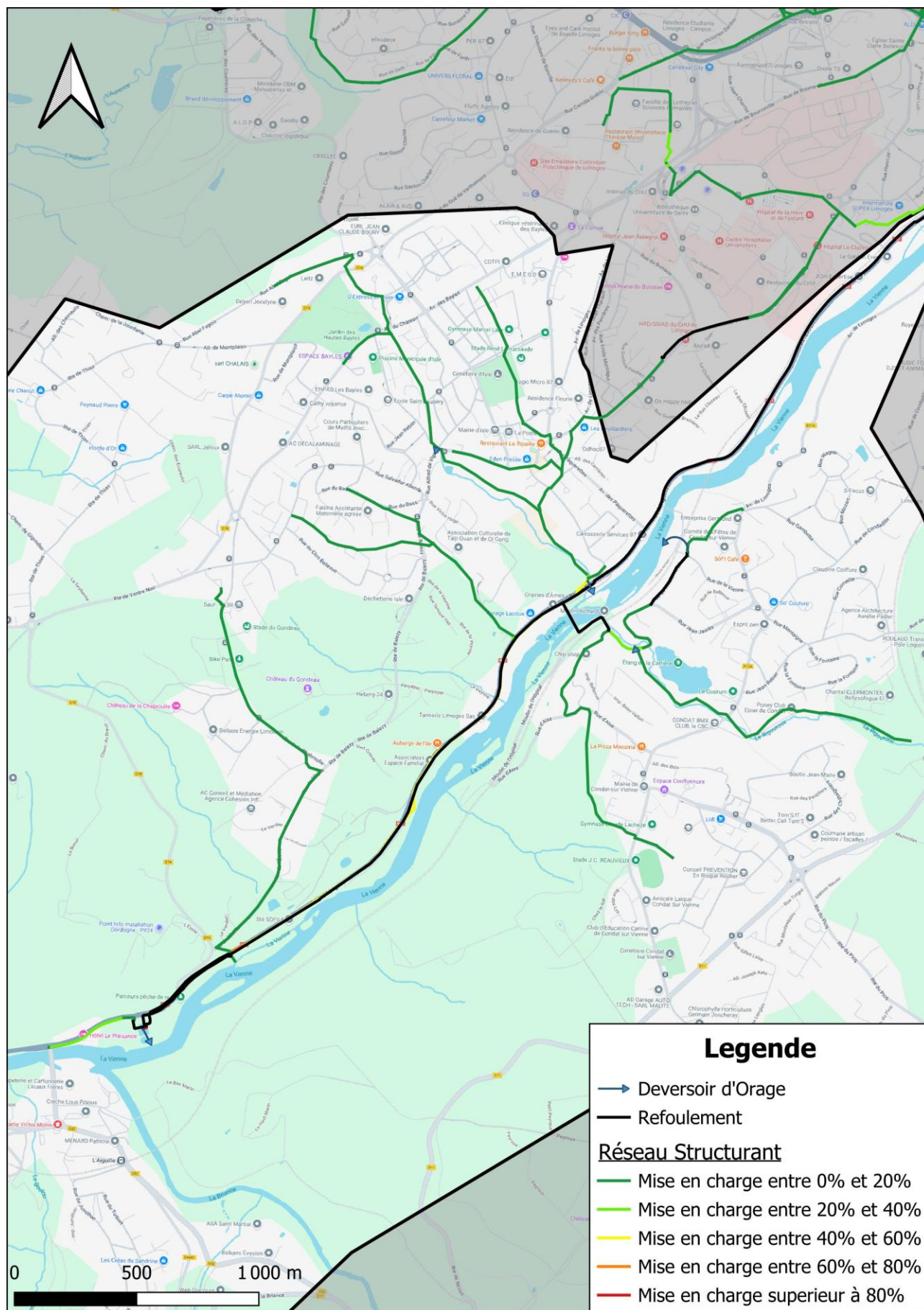


Figure 20 : Carte des mises en charge du réseau de l'Aiguille

3.1.4. Rive Gauche

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Pour le bassin Rive Gauche, la modélisation indique des vitesses globalement satisfaisantes sur l'ensemble du secteur. On notera **sur le collecteur en bord de Vienne des vitesses d'écoulement insuffisantes notamment entre le PR La Cible et le PR Auzette Babylone et en amont de la station d'épuration**. Ces résultats sont cohérents avec les observations effectuées sur le terrain où des dépôts de sable importants ont été identifiés sur ces secteurs.

On retrouve également des faibles vitesses d'écoulement le long de l'Auzette.

Les résultats obtenus sur le collecteur en bord de Vienne en amont de la traversée de Vienne sont peu représentatifs au vu du manque de connaissance sur les infrastructures actuelles (regard non accessible / traversée de Vienne en siphon ?).

Le tableau suivant synthétise les secteurs sur lesquels des vitesses trop lentes ou trop importantes ont été identifiés :

Tableau 11 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement

Secteur		Vitesse d'écoulement
Rue des Templiers	Palais sur Vienne	Vitesse insuffisante
Amont PR La Cible	Panazol	Vitesse insuffisante
Rue de Tourcoing	Limoges	Vitesse insuffisante
Avenue du Général Martial Valin	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue de Toulouse	Limoges	Vitesse élevée
Avenue Jean Giraudoux	Palais sur Vienne	Vitesse élevée
Rue de Feytiat	Limoges	Vitesse élevée
Avenue François Mitterrand	Palais sur Vienne	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Par temps sec, seuls les collecteurs situés le long de la Vienne présentent des hauteurs de charge supérieures à 40% de la hauteur totale disponible. Le secteur de liaison entre les réseaux de la Cane et de la Mazelle présente également des hauteurs de charge importantes par temps sec.



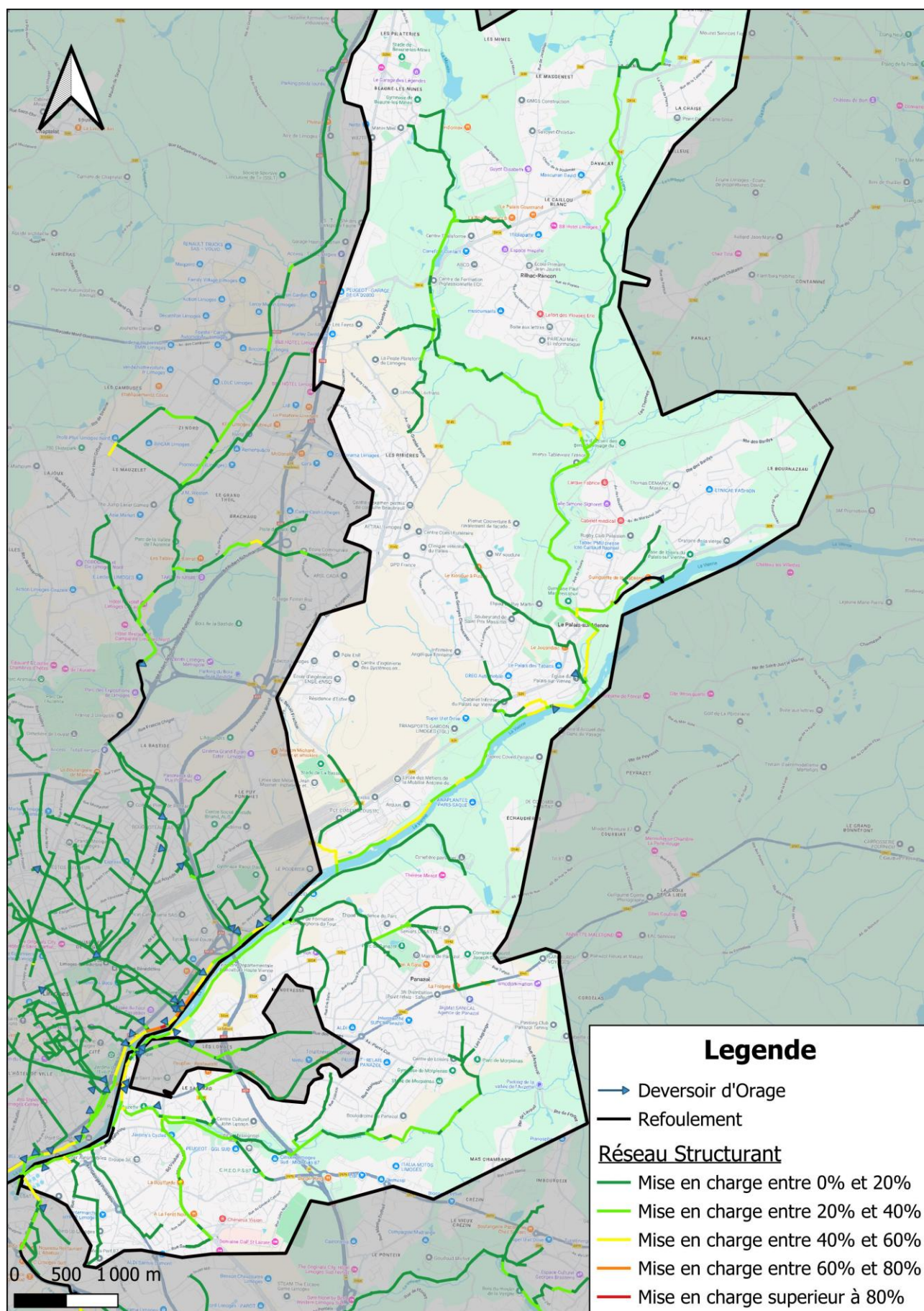


Figure 22 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Gauche

3.1.5. Rive Droite

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Gloabalement, les vitesses d'écoulement sur le bassin de collecte Rive Droite sont correcte avec la majorité des vitesses inférieures à 0.6m/s.

Les vitesses d'écoulement les plus importantes sont situés sur les axes descendant vers la Vienne (Théodore Bac, Bel Air, Révolution, Dumas...)

Le collecteur bord de Vienne présente des problématiques de vitesse avec des vitesses très faibles sur le secteur de Puy Imbert ainsi qu'en amont du PR Pont Saint Etienne.

Le tableau ci-dessous présente les secteurs les plus problématiques :

Tableau 12 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
Corderie	Limoges	Vitesse insuffisante
Montjovis	Limoges	Vitesse insuffisante
Chinchauvaud	Limoges	Vitesse insuffisante
Maupassant	Limoges	Vitesse insuffisante
Emailliers	Limoges	Vitesse insuffisante
Theodord Bac	Limoges	Vitesse insuffisante
Boulevard Bel Air	Limoges	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Sur le bassin de collecte de Rive Droite, le collecteur Bord de Vienne présente des mises en charge supérieures à 40% en période sec avec des mises en charge supérieures à 50% entre la rue du Pont St André et le bassin des Casseaux.

Sur le reste du bassin en période de pointe la mise en charge du réseau est inférieure à 20%.

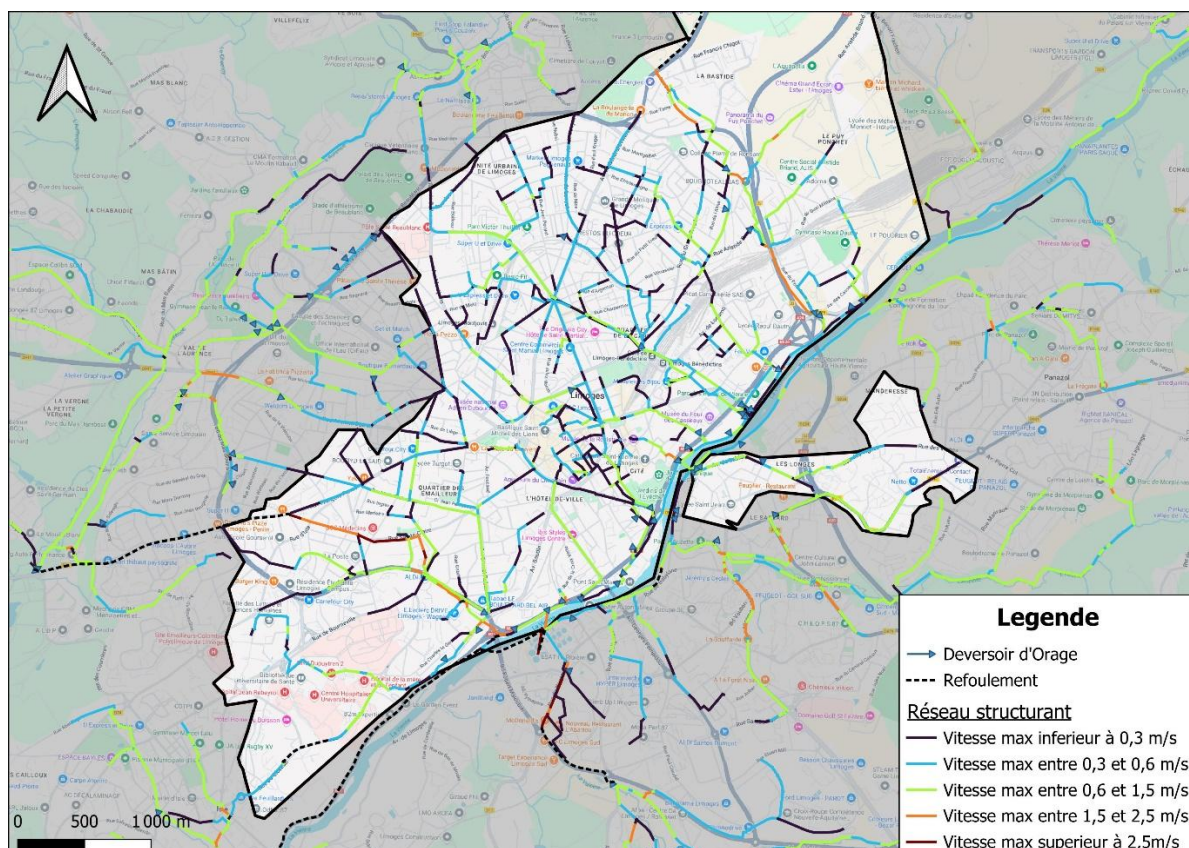
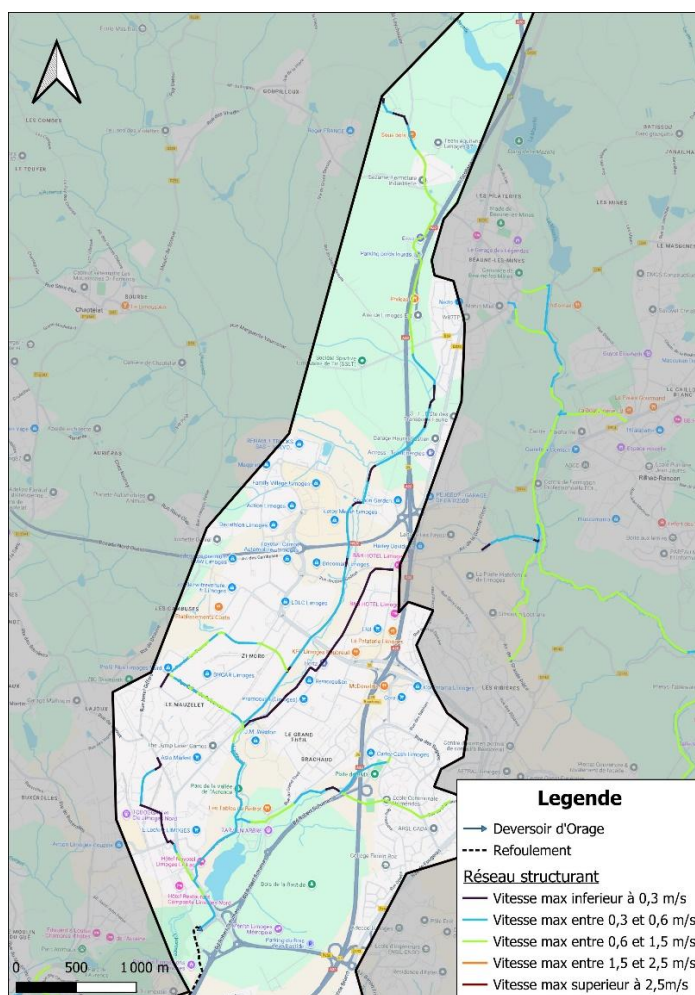


Figure 23 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Droite en temps sec

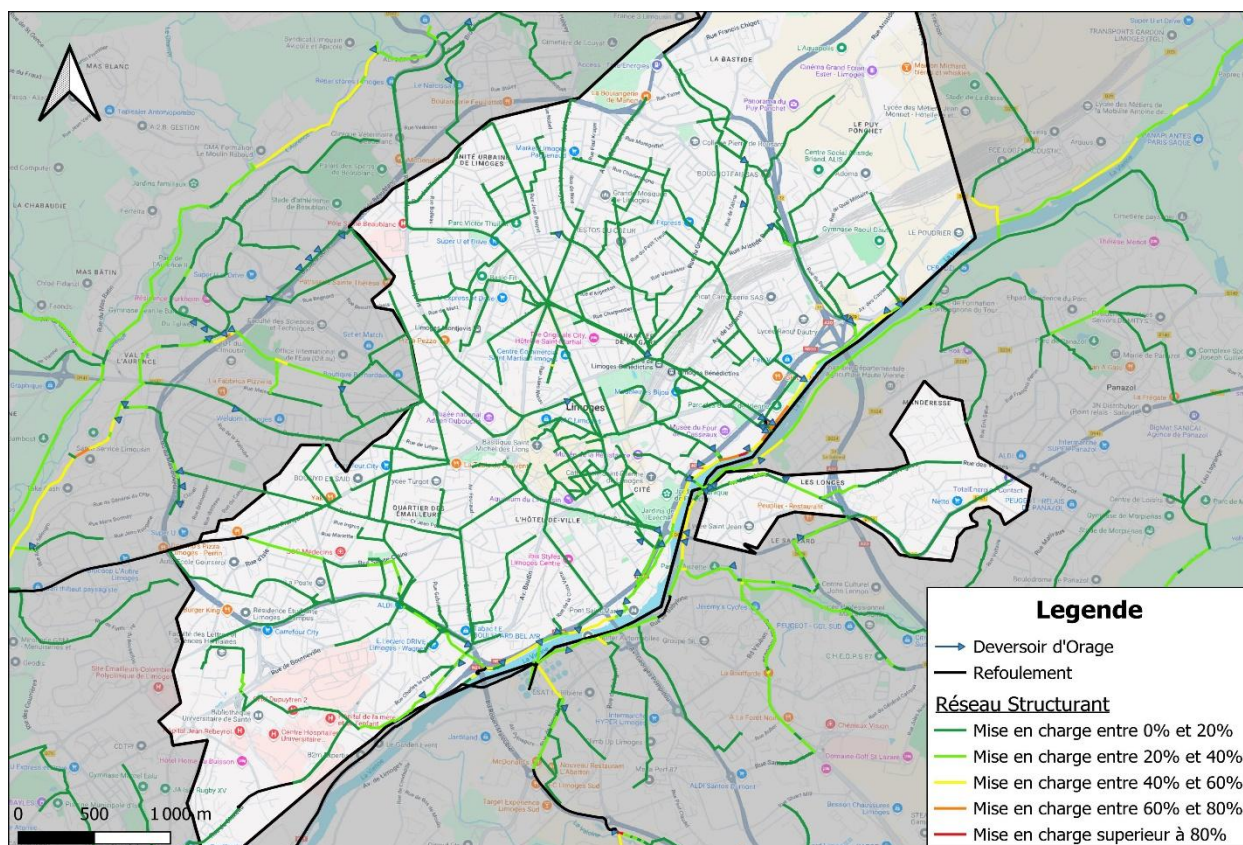
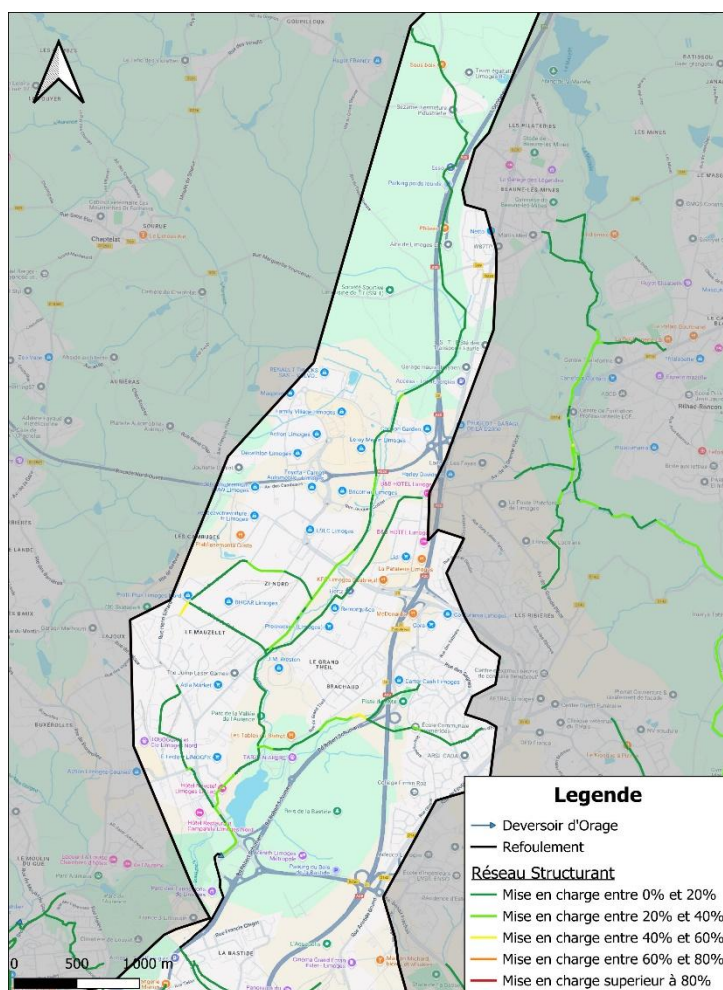


Figure 24 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Droite

3.2. Analyse du fonctionnement par temps de pluie – 20/03/2024 au 01/04/2024-

3.2.1. Moulin Blanc

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Par temps de pluie, les débits augmentent de façon importante dans le bassin de collecte malgré son caractère séparatif engendrant ainsi des vitesses élevées sur certains secteurs.

Le tableau ci-dessous présente les principaux secteurs avec des problématiques de vitesse :

Tableau 13 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
Rue Django Reinhardt	Limoges	Vitesse élevée
Rue du mas des Loges	Limoges	Vitesse élevée
Lycee Mas Jambost	Limoges	Vitesse élevée
Avenue de Landouge	Limoges	Vitesse élevée
Allée Jean Rebier	Limoges	Vitesse élevée
Avenue du président René Couty	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue d'Anthony et avenue Albert Thomas	Limoges	Vitesse insuffisante

MISE EN CHARGE

Par temps de pluie, le réseau longeant l'Aurence monte en charge rapidement allant jusqu'à des débordements sur certains regards entre le parc du Mas Jambost et la rue du Mas Loge.

Une mise en charge importante a lieu en amont du DO 81 Les Perdrix le faisant ainsi déverser. A noter que ce déversoir d'orage est supérieur à 120kg de DBO₅/j et doit faire l'objet d'un suivi au titre de l'arrêté du 21/07/2015.

Des mises en charge ont aussi lieu en aval de l'avenue de Landouge.

Globalement, les principales mises en charge sur le secteur concernent le collecteur de l'Aurence Rive Droite.

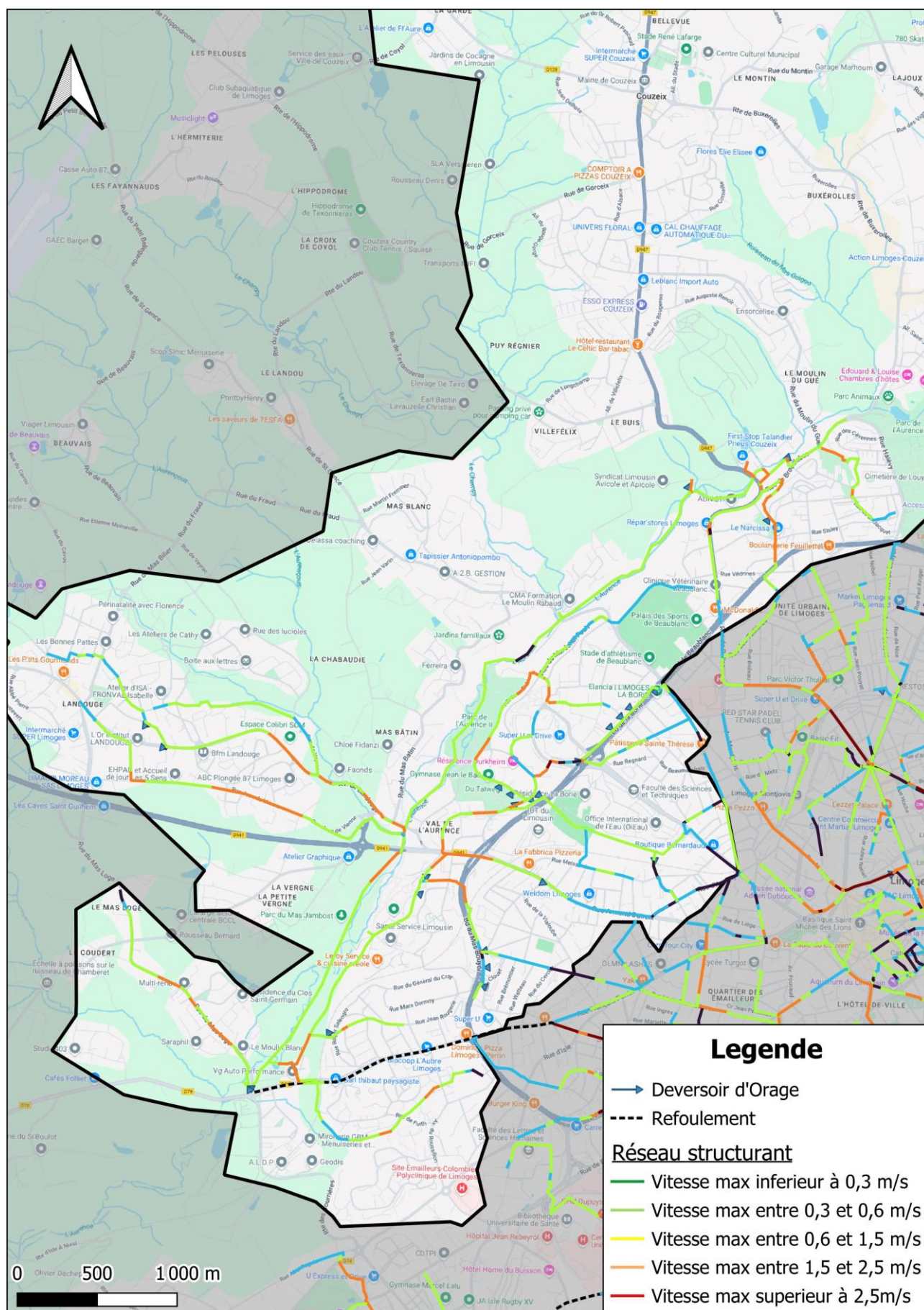


Figure 25 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Moulin Blanc en temps de pluie

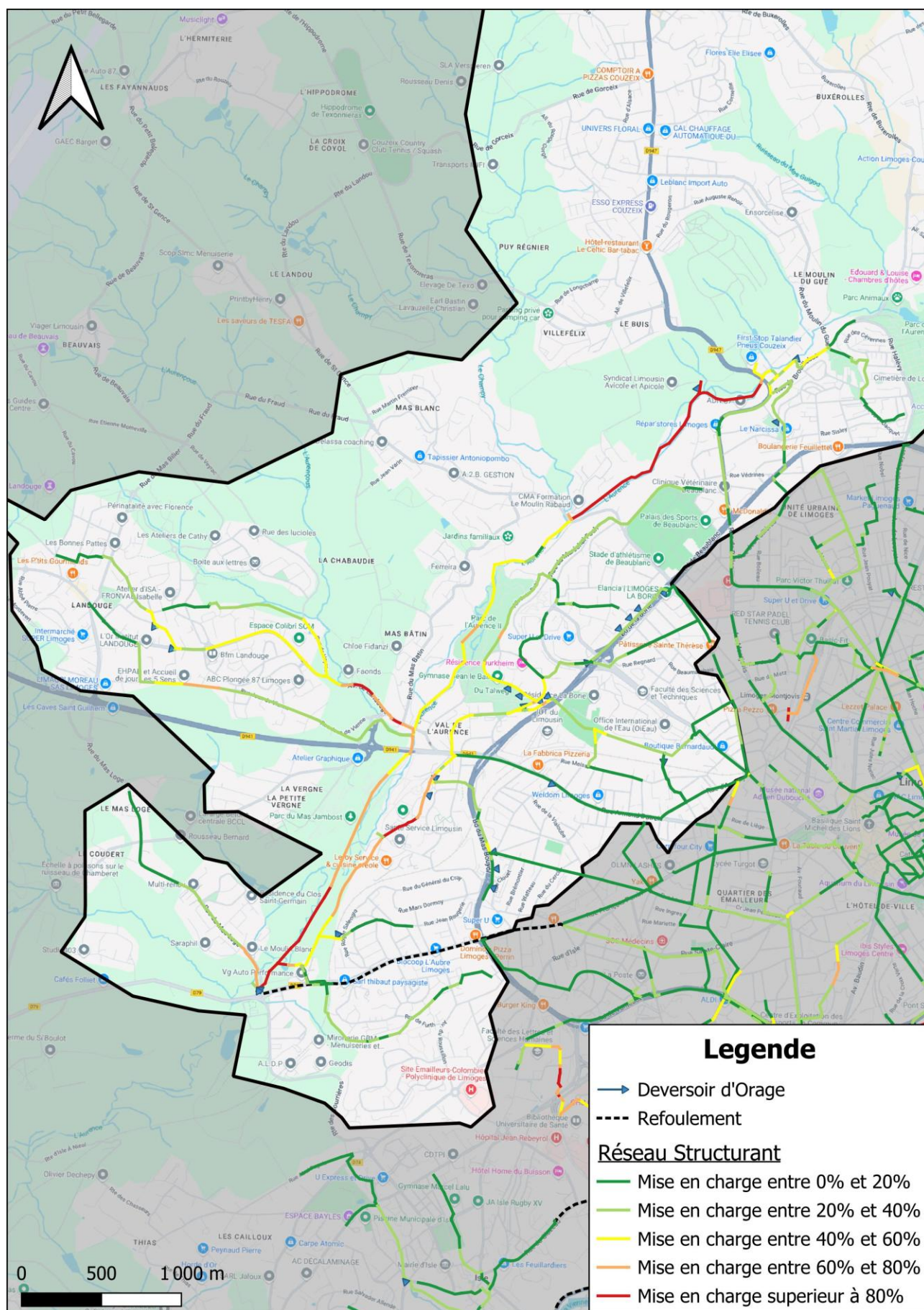


Figure 26: Carte des mises en charge du réseau de Moulin Blanc par temps de pluie

3.2.2. Romanet

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Sur le bassin de Romanet, les vitesses d'écoulement maximales simulées augmentent en moyenne de 70% entre le temps sec et le temps de pluie. Le tableau suivant présente les secteurs avec les vitesses d'écoulement les plus problématiques :

Tableau 14 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
Fontgeaudrant et allée Georges Bernanos	Limoges	Vitesse élevée
Avenue Georges Clemenceau	Feytiat	Vitesse élevée
La Valoine	Feytiat	Vitesse élevée
Collecteur entre rue Jean Zay et la Valoine	Feytiat	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Sur le secteur de Romanet, on observe une augmentation générale des taux de charge dans les collecteurs par temps pluie malgré le caractère séparatif du réseau de collecte.

Le réseau de collecte situé en bordure de la Valoine et permettant le raccordement de Feytiat présente des taux de charge supérieur à 50%. Aucun débordement n'est identifié par la modélisation hydraulique sur le secteur.

On observe des mises en charge supérieures à 80% des collecteurs situés en amont direct du poste de Romanet.

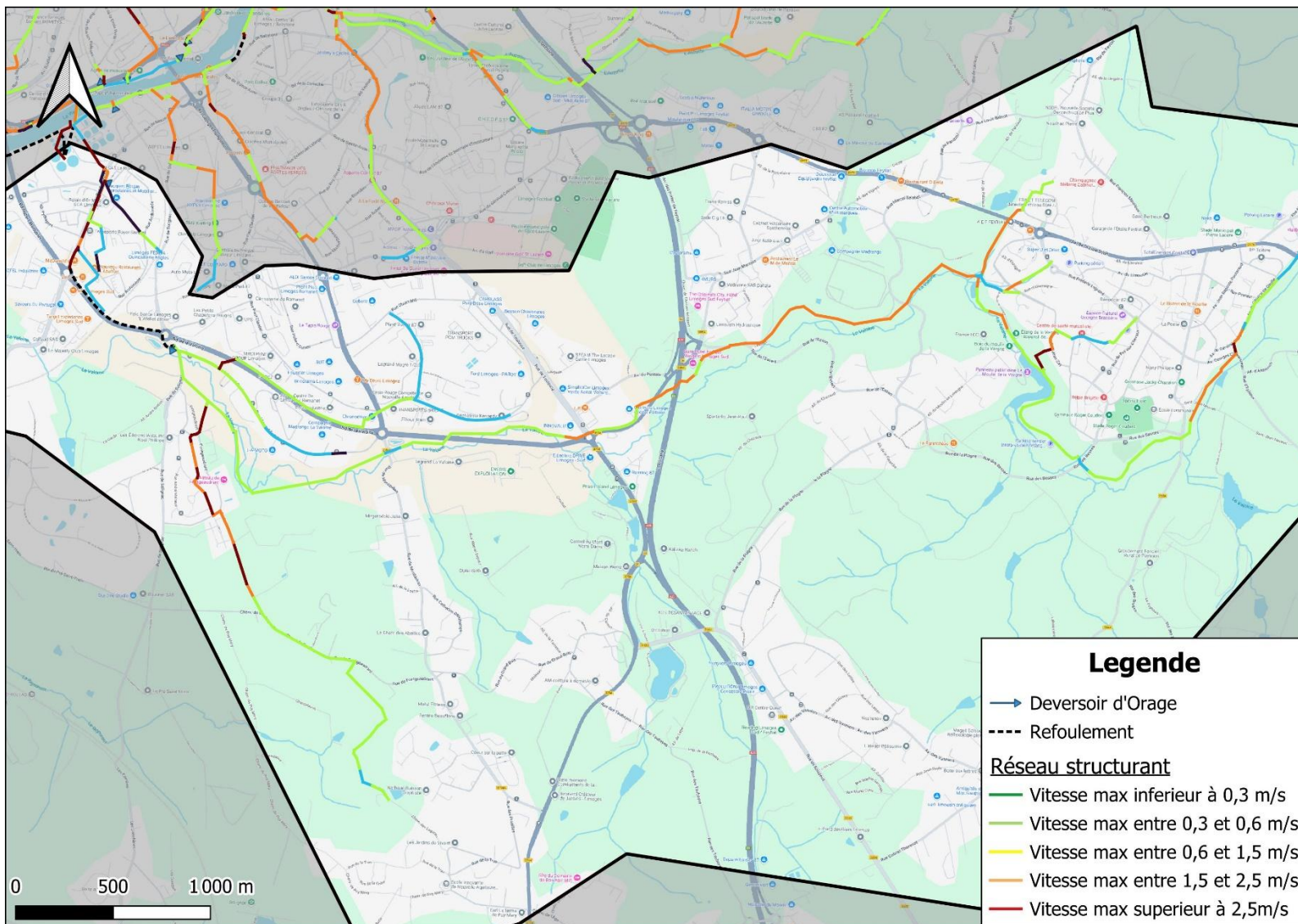


Figure 27 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Romanet en temps de pluie

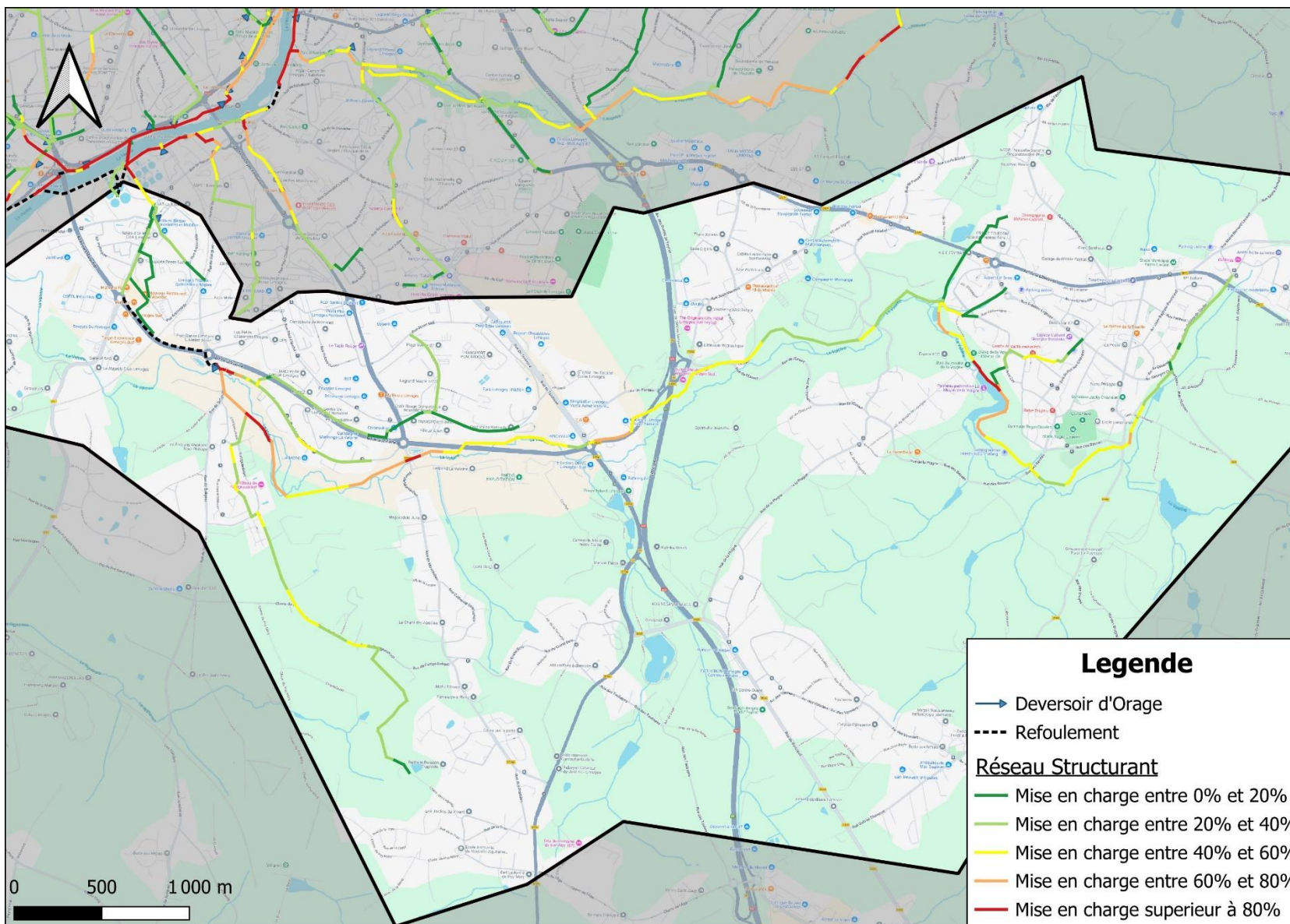


Figure 28 : Carte des mises en charge du réseau de Romanet par temps de pluie

3.2.3. Aiguille

VITESSE D'ÉCOULEMENT

En période de temps de pluie, les vitesses d'écoulement dans les collecteurs du bassin de l'Aiguille augmentent en moyenne de 67% par rapport au temps sec, malgré le caractère séparatif du réseau de collecte.

Les augmentations les plus importantes ont lieu en amont du poste de l'Etoile avec en moyenne une augmentation de 83%. Les secteurs ayant des vitesses les plus importantes sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie – Secteur Aiguille

Secteur		Vitesse d'écoulement
Route de la Chabrouille et Route de l'Etoile	Isle	Vitesse élevée
Les Fayes	Isle	Vitesse élevée
Amont direct du poste le Pont de Condat	Condat-sur-Vienne	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Les collecteurs du bassin de l'aiguille présentent en majorité des taux de mise en charge par temps de pluie inférieurs à 50%.

Le secteur des Fayes et le réseau en amont du poste du pont de Condat présente des mises en charge supérieures à 50 %.

La hauteur d'eau du collecteur présent sur la route de Périgueux varie entre 80% et 100% avec des hauteurs d'eau les plus importantes en amont du poste d'Etoile.

On notera la présence de trois regards (20205 / 20204 et 20192) sur lesquels des risques de débordements du réseau de collecte ont été identifiés par temps de pluie. Ces regards sont représentés sur le plan suivant :



Figure 29 : Risques de débordement sur le secteur Aiguille par temps de pluie

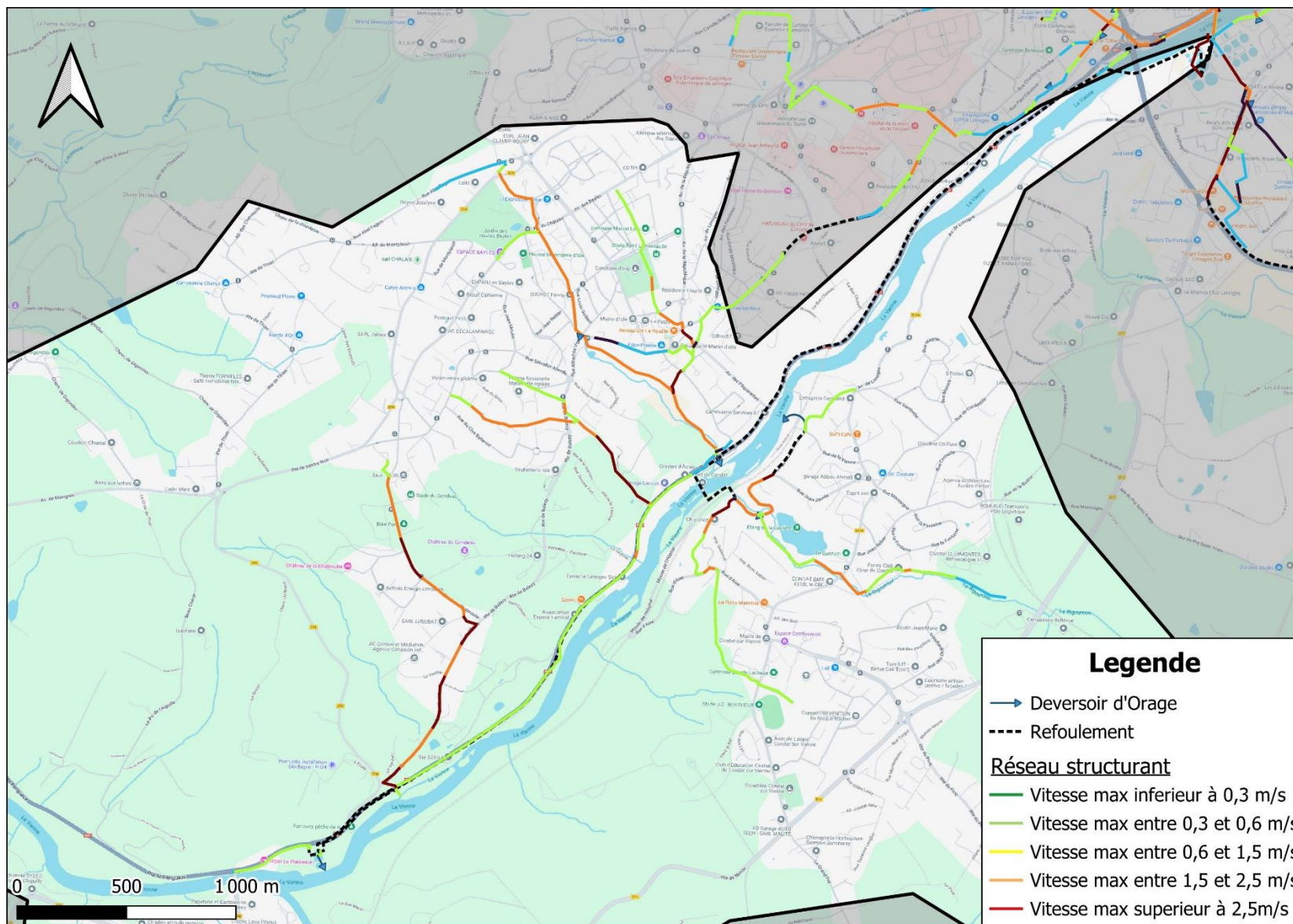


Figure 30 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur Aiguille en temps de pluie

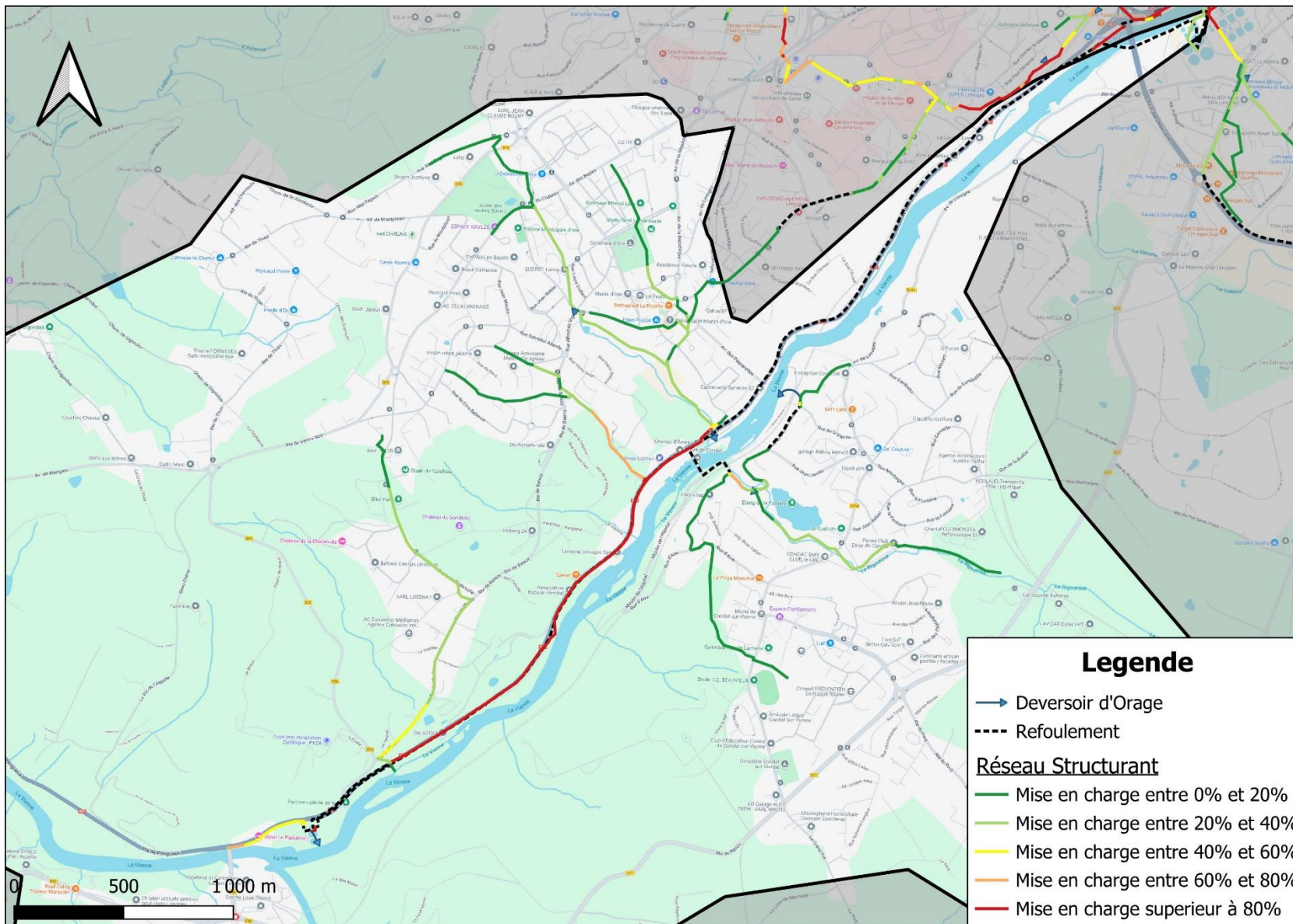


Figure 31 : Carte des mises en charge du réseau Aiguille par temps de pluie

3.2.4. Rive Gauche

VITESSE D'ÉCOULEMENT

La vitesse d'écoulement dans les collecteurs du bassin de collecte Rive Gauche augmente de 85% en moyenne entre le temps de pluie et le temps sec.

Le tableau ci-dessous présente les secteurs avec des vitesses critiques :

Tableau 16 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie – Secteur Rive Gauche

Secteur		Vitesse d'écoulement
Rue des Portes Ferrées	Limoges	Vitesse élevée
Secteur La Canne	Rilhac	Vitesse élevée
Rue Victor Hugo et rue du Maréchal Leclerc	Le palais sur Vienne	Vitesse élevée
Rue de la filature	Panazol	Vitesse élevée
Amont direct du poste La Cible	Panazol	Vitesse élevée

MISE EN CHARGE

Les collecteurs situés le long des cours d'eau de la Cane, de l'Auzette et la Vienne présentent des mises en charge supérieure à 50% avec des hauteurs critiques pouvant aller jusqu'à 100% de la hauteur du collecteur en bord de Vienne. On note des points de déversements du collecteur entre le PR la Cible et la PR Auzette Babylone.

Des mises en charge importantes sont aussi simulées en amont de la STEP, et ce à cause du fonctionnement du poste de relevage en entrée de station.

Des risques de débordements ont également été identifiés sur le secteur Rive Gauche, principalement sur trois regards situés sur le collecteur Bord de Vienne en aval du PR de la Cible (R15711 / R35208 / R524-2) ainsi qu'en amont de la traversée de Vienne sur la commune du Palais et en amont du PR La Cible. La localisation de ces regards est présentée ci dessous.

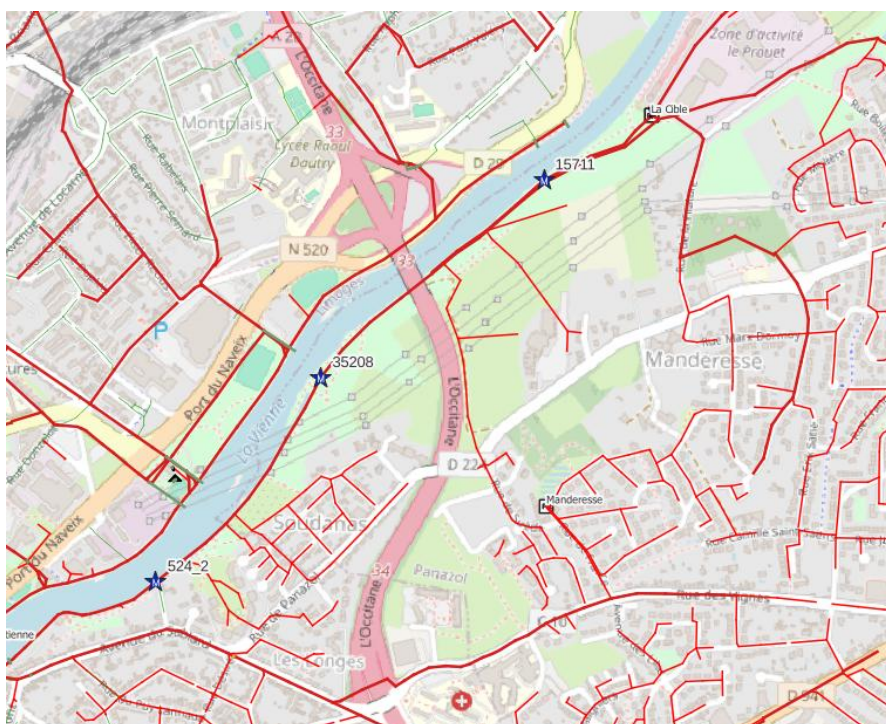


Figure 32 : Zones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Aval PR La Cible

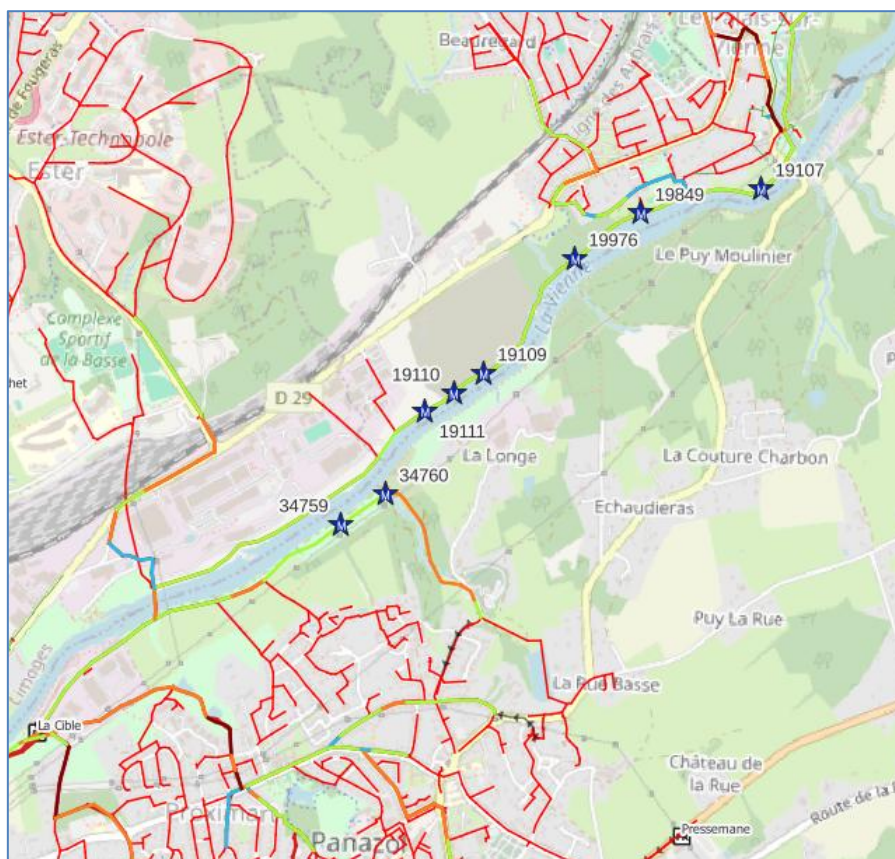


Figure 33 : Zones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Amont PR La Cible

Des zones de débordement sont également présentes sur le secteur de la Cane. La localisation des regards concernés est présentée ci-dessous :

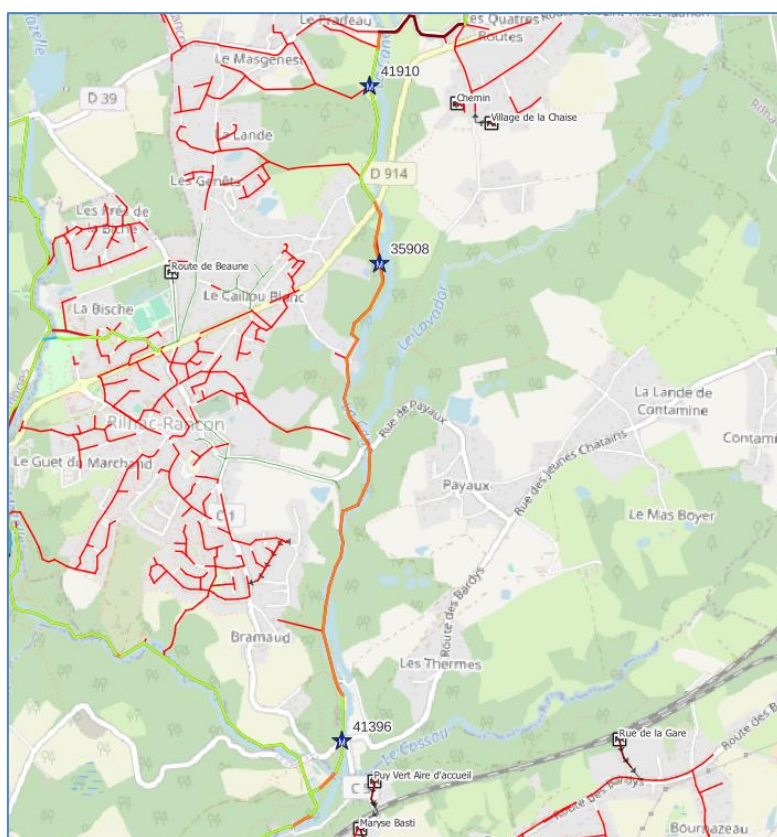


Figure 34 : Zones de débordement sur le secteur Rive Gauche – Secteur Cane

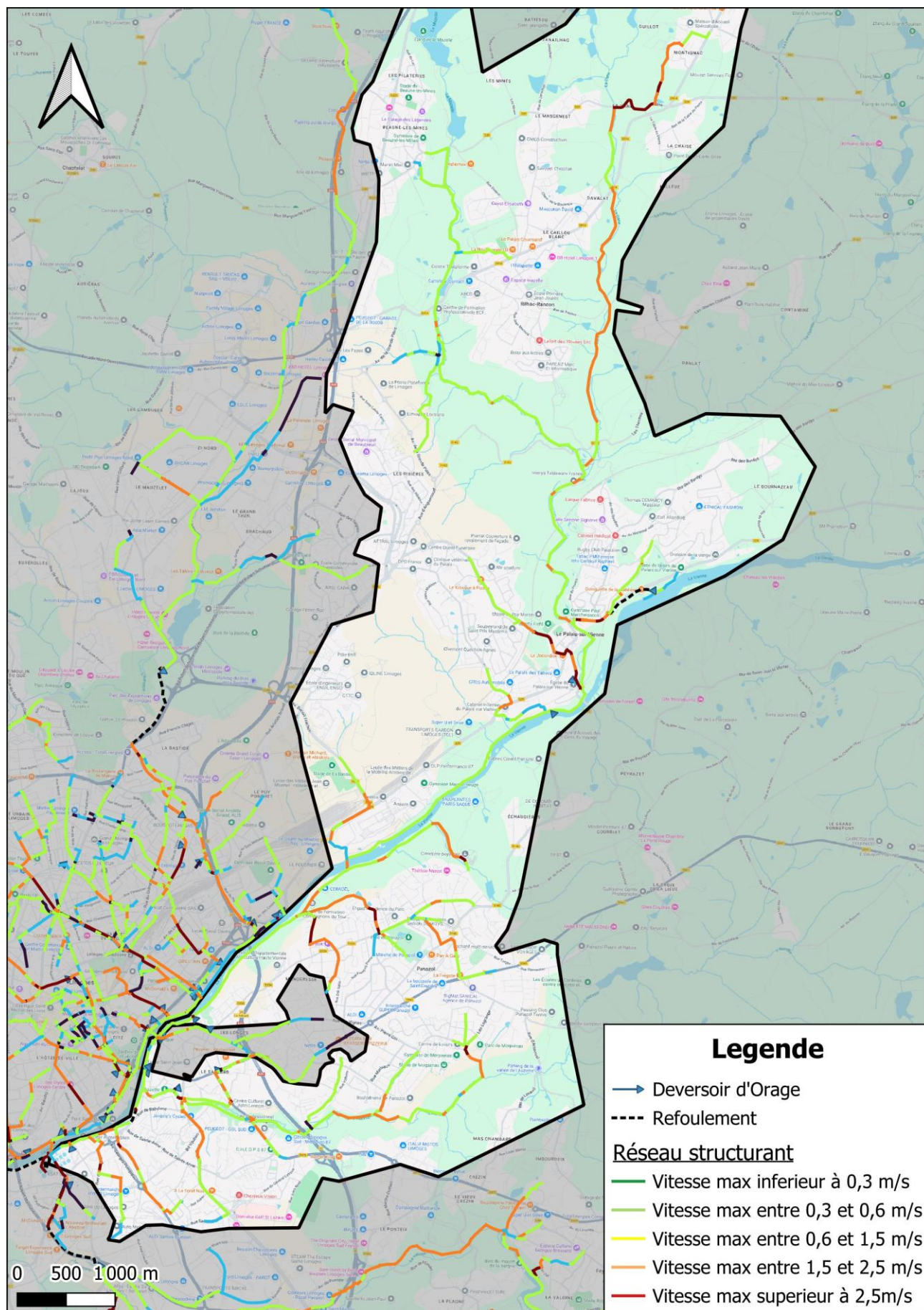


Figure 35 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Gauche en temps de pluie

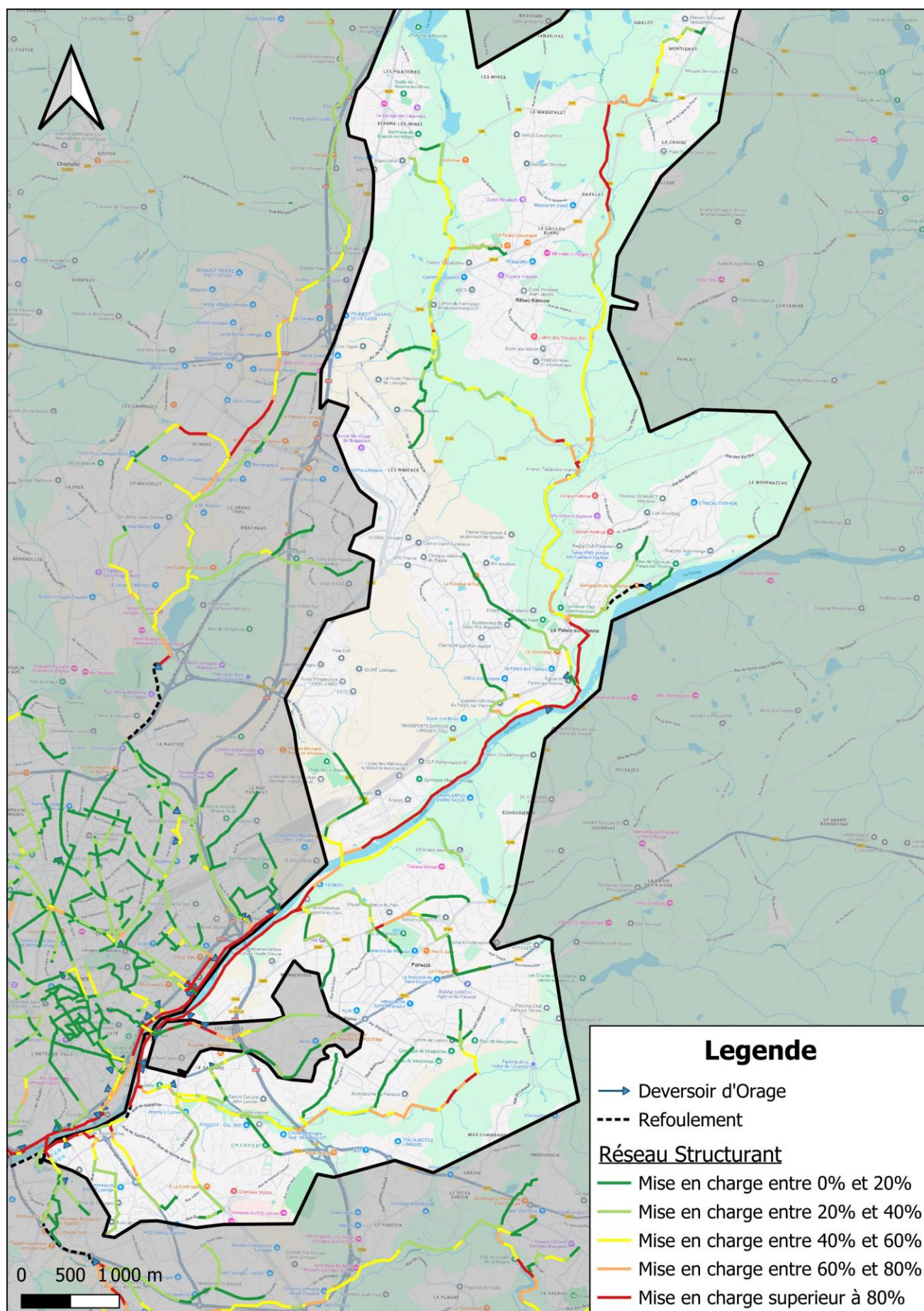


Figure 36 : Carte des mises en charge du réseau de Rive Gauche par temps de pluie

3.2.5. Rive Droite

VITESSE D'ÉCOULEMENT

Le secteur Rive droite montre une évolution des vitesses d'écoulement entre le temps de pluie et le temps sec de 184% en moyenne. A noter que ce secteur est presque exclusivement unitaire ce qui explique ces fortes augmentations de débit et de vitesse entre le temps sec et le temps de pluie.

Les secteurs avec les augmentations de vitesse les plus marquées sont les secteurs dans le centre-ville de Limoges.

Le collecteur bord de Vienne présente des augmentations de vitesse importantes avec une augmentation des vitesses de 241% en pointe. Le tableau suivant présente les principaux secteurs avec des vitesses problématiques :

Tableau 17 : Tableau de synthèse des secteurs avec un problème de vitesse d'écoulement en temps de pluie

Secteur	Commune	Vitesse d'écoulement
Boulevard Bel Air	Limoges	Vitesse élevée
Avenue Ernest Ruben	Limoges	Vitesse élevée
Rue d'Aquitaine	Limoges	Vitesse élevée
Avenue de la Révolution	Limoges	Vitesse élevée
Quai saint martial en amont du DOME12	Limoges	Vitesse élevée
DOMÉ13	Limoges	Vitesse élevée
Rue Elisée Reclus	Limoges	Vitesse élevée
Rue Jean Jaures, Rue Charles Michel et rue de la Loi	Limoges	Vitesse insuffisante
Rue Theodore Bac	Limoges	Vitesse insuffisante

MISE EN CHARGE

En moyenne, le taux de mise en charge des collecteurs sur le secteur Rive Droite en période de pluie est proche de 40%

On notera des zones où des mises en charge totale des collecteurs sont présentes, notamment sur les bords de Vienne sur le réseau allant de Puy Imbert à Salvator Allendé ainsi que qu'en amont du bassin d'orage des Casseaux.

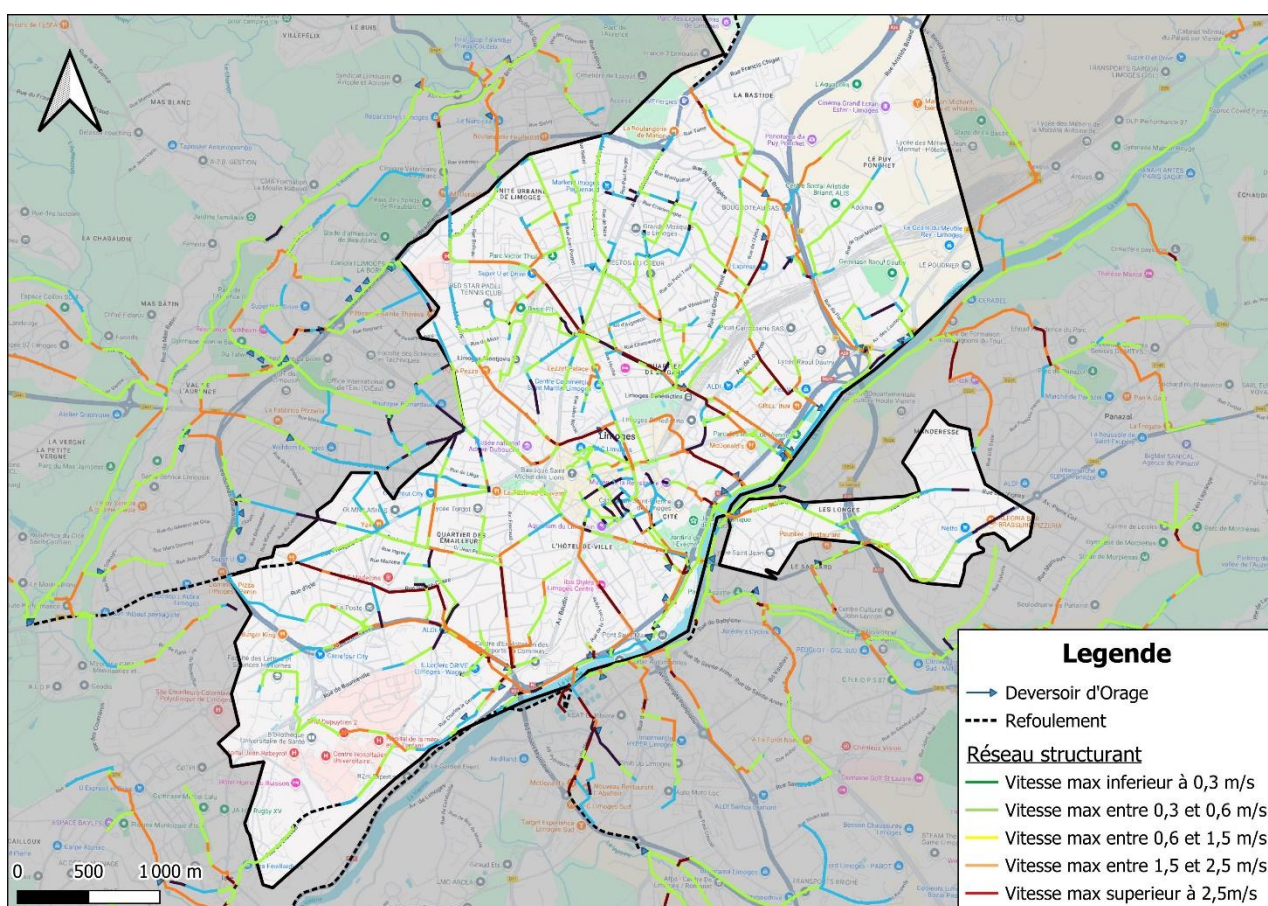
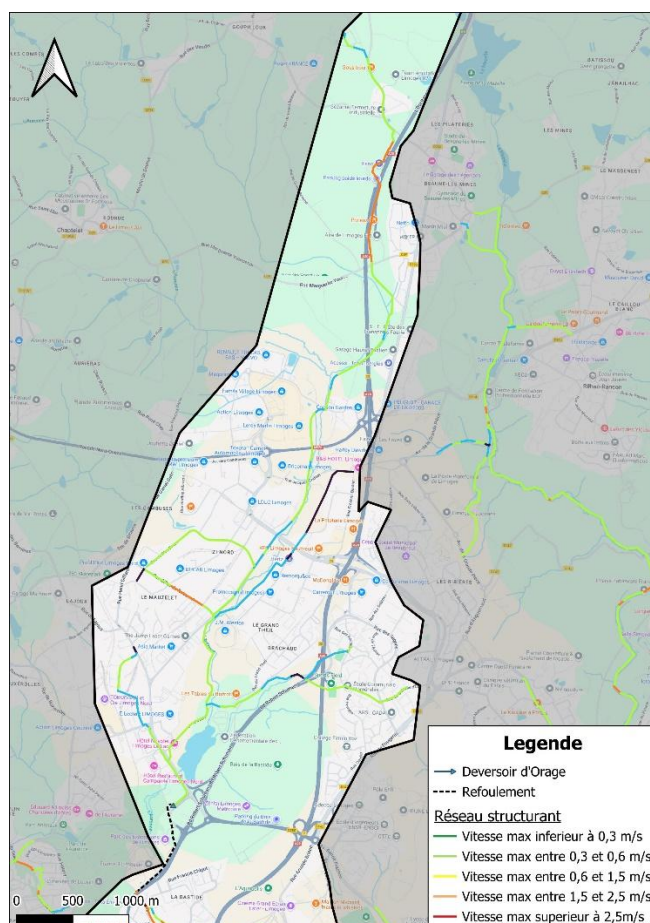


Figure 37 : Carte des vitesses maximales simulées sur le secteur de Rive Droite en temps de pluie

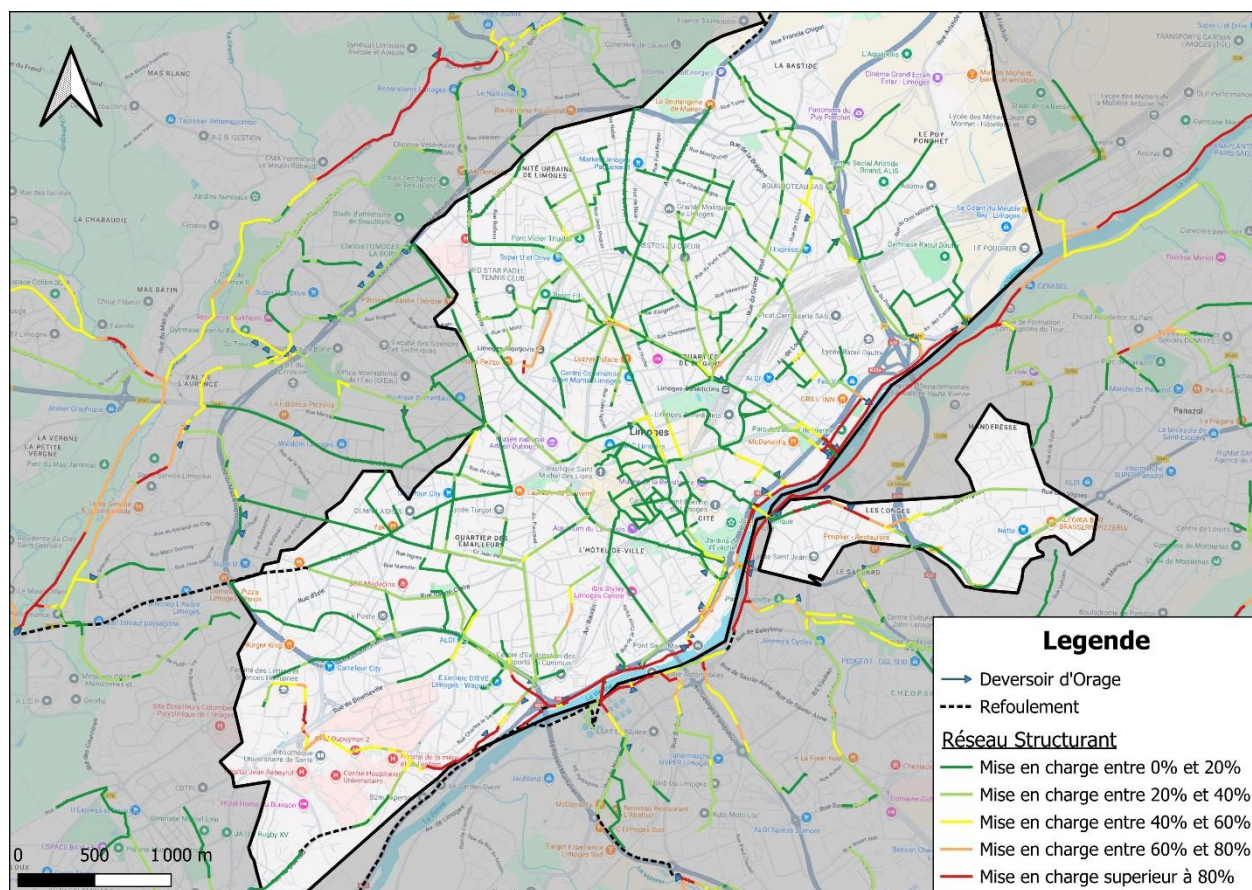
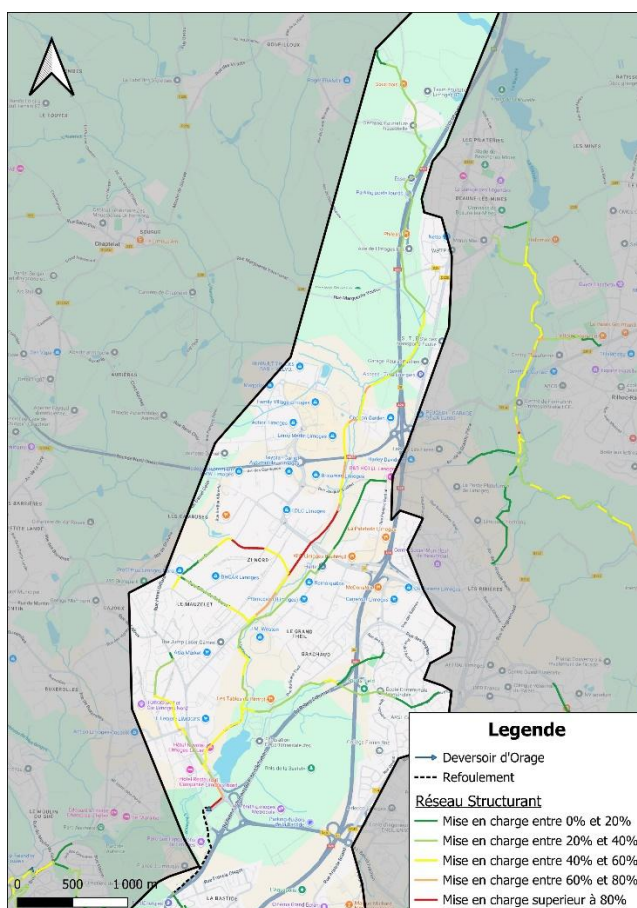


Figure 38 Carte des mises en charge du réseau de Rive Droite par temps de pluie

Annexes

ANNEXE 1 : CARTE DE REPARTITION DES VITESSES MAXIMALE D'ÉCOULEMENT SIMULEES EN TEMPS SEC

ANNEXE 2 : CARTE DES MISES EN CHARGE SIMULEES EN TEMPS SEC

ANNEXE 3 : CARTE DE REPARTITION DES VITESSES MAXIMALE D'ÉCOULEMENT SIMULEES EN TEMPS DE PLUIE

ANNEXE 4 : CARTE DES MISES EN CHARGE SIMULEES EN TEMPS DE PLUIE
