



Rapport

Etude hydrologique et hydraulique Cours d'eau du Wahleschgracht,

Commune d'Aubange

Juillet 2024

Pour :
IDELUX EAU
Drève de l'Arc-en-Ciel, 98
6700 Arlon

Commune d'Aubange, province de Luxembourg

Version	Date	Remarques
1	15/07/2024	Rapport final

Disclaimer

HydroScan et ceux qui ont collaboré à ce rapport ont rassemblé soigneusement les données contenues dans ce rapport à partir des meilleures informations disponibles. Néanmoins, des inexactitudes peuvent se retrouver dans ce rapport.

HydroScan exclut, également au nom de ceux qui ont contribué à ce rapport, toute responsabilité pour les dommages résultant de l'utilisation de ces données.

Copyright

Aucune partie de ce rapport ne peut être reproduite sans le consentement écrit préalable d'IDELUX EAU et de la commune d'Aubange.

Table des matières

Table des matières	3
1 Introduction	5
2 Présentation générale de la zone d'étude	7
2.1 Situation du bassin versant étudié	7
2.2 Etude récente sur le Wasser Grund.....	7
2.3 Visite de terrain	12
3 Données disponibles	17
3.1 Données topographiques.....	17
3.2 Données égouttage.....	18
3.3 Données hydrologiques	20
3.3.1 Evénement du 4 Février 2020	20
3.3.2 Evénement du 14-15 Juillet 2021	20
3.3.3 Construction des pluies de projet	24
3.4 Données historiques	26
4 Méthodologie générale en matière de modélisation.....	30
5 Construction et validation du modèle intégré 1D-2D de la situation existante	32
5.1 Modélisation hydrologique	32
5.2 Modélisation hydraulique 1D-2D.....	34
5.2.1 Modélisation hydraulique du réseau rivière	34
5.2.2 Modélisation hydraulique du réseau d'égouttage	35
5.3 Conditions limites	36
5.4 Modélisation intégrée hydrologique-hydraulique	37
5.5 Validation du modèle intégré 1D-2D	38
5.5.1 Méthodologie générale	38
5.5.2 Validation du modèle pour les événements historiques	38
5.5.3 Validation du modèle sur base d'évènements synthétiques	43
5.5.4 Conclusion	43
5.6 Cartes d'inondation pour différentes périodes de retour.....	43
6 Construction et validation du modèle 2D intégrale de la situation existante	47
6.1 Modélisation intégrée hydrologique-hydraulique	47
6.2 Validation du modèle 2D intégrale	48
6.3 Cartes d'inondation pour différentes périodes de retour.....	48
7 Diagnostic hydrologique-hydraulique pour l'état existant	49
7.1 Analyse des enjeux touchés par les inondations en fonction de la période de retour.....	49
7.2 Impact des ouvrages sur l'écoulement du Wasser Grund et du Wahleschgracht	52
7.3 Impact de la Messancy sur l'écoulement du Wasser Grund.....	63
7.4 Conclusions principales	68
8 Recommandations générales pour limiter les risques d'inondation	69
9 Aménagements en vue de réduire le risque d'inondation : étude de pré faisabilité.....	71

9.1	Scénarios d'aménagement 1 et 2 : Zones d'Immersion Temporaire	71
9.1.1	Sélection des sites les plus pertinents pour l'implantation d'une ZIT	71
9.1.2	Dimensionnement et optimisation du fonctionnement des ZIT	73
9.2	Scénarios d'aménagement 3 : reprise du pertuis de Longeau	77
9.3	Impact sur le risque d'inondation à l'aval	79
9.4	Estimation des coûts	90
9.4.1	Scénarios 1 et 2	90
9.4.2	Scénario 3	90
9.5	Analyse cout-bénéfice	91
9.6	Conclusions	94
10	Aménagements pour les axes de ruissellement concentré	95
11	Conclusion	96
12	Annexes	98
12.1	Cartes d'inondation détaillées pour l'état existant au droit de la zone à enjeux	98
12.2	Cartes d'inondation territoriales pour l'état existant	99

1 Introduction

Le cours d'eau du Wahleschgracht, et son affluent principal le Wasser Grund, ont généré des inondations au droit de zones à enjeux en février 2020 et juillet 2021 (sur les communes de Messancy et Aubange). Les débordements et les dégâts associés sont accentués en aval, au niveau de la confluence entre ces deux cours d'eau, au niveau de la rue de Longeau. La présente étude, confiée à HydroScan SA/NV par IDELUX-Eau et la commune d'Aubange, intervient dans ce cadre. Elle fait suite à une première étude réalisée par HydroScan SA/NV, centrée sur le Wasser Grund et son bassin versant (étude réalisée pour la commune de Messancy).

Les objectifs de l'étude ont pour but de trouver une solution pérenne aux problèmes d'inondations au droit du bassin versant étudié (voir Figure 1-1) :

- Réaliser une étude hydrologique du bassin versant amont contributif (environ 7.3 km²) ;
- Appréhender le régime hydraulique du cours d'eau Wahleschgracht (2^{ème} catégorie) au droit du linéaire (repris à l'annexe 1 du CSC) pendant des événements de pluies ;
- Intégrer la modélisation du réseau d'égouttage et ses interactions avec le cours d'eau ;
- Caractériser le cheminement hydraulique dans la zone d'étude et déterminer les endroits les plus sensibles aux inondations sur base d'un diagnostic hydraulique.
- Proposer des solutions les plus adéquates pour réduire le risque d'inondation (zones d'immersion temporaire, protections locales, redimensionnement d'ouvrages, etc.)
- Conclure sur la pertinence des solutions proposées sur base d'une analyse coût-bénéfice.

Les parties suivantes sont détaillées dans le présent rapport :

- Présentation générale de la zone d'étude ;
- Données disponibles pour la modélisation ;
- Méthodologie générale en matière de modélisation ;
- Construction et validation du modèle 1D-2D de la situation existante ;
- Construction et validation du modèle 2D intégrale de la situation existante ;
- Diagnostic hydrologique-hydraulique pour l'état existant ;
- Recommandations générales pour limiter les risques d'inondations ;
- Aménagements pour limiter les risques d'inondations par débordement de cours d'eau ;
- Analyse coût-bénéfice des différents scénarios retenus ;
- Aménagements pour limiter les risques d'inondations par ruissellement ;
- Conclusions

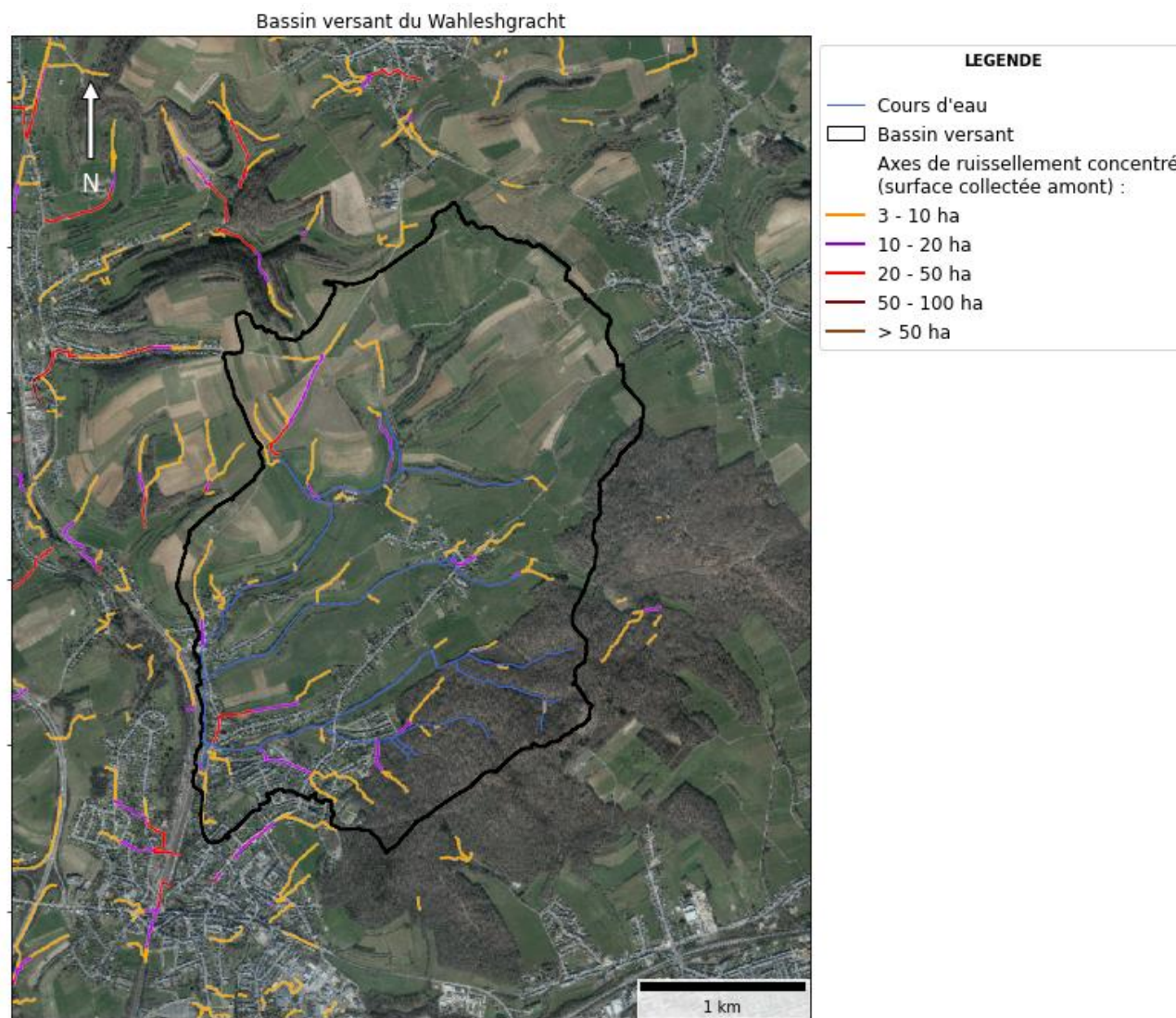


Figure 1-1 : Bassin versant du Wahleschgracht, linéaire du cours d'eau et principaux axes de ruissellement permanent (fond : orthophoto 2021).

2 Présentation générale de la zone d'étude

2.1 Situation du bassin versant étudié

Le bassin versant du Wahleschgracht couvre une superficie d'environ 7.3 km². Comme illustré à la Figure 2-1, le bassin versant a majoritairement un caractère rural. Il est principalement constitué de prairies, forêts et surfaces agricoles (48 % prairies) et présente un coefficient de ruissellement moyen d'environ 25 %. Cette valeur se situe dans les gammes habituelles relatives à ce type de bassin versant. Comme illustré à la Figure 2-2, il présente des pentes importantes (avec une pente moyenne élevée d'environ 9%), ce qui n'est pas optimal pour la création de volumes de stockage. La partie amont du bassin versant de son principal affluent, le Wasser Grund, est située au Luxembourg (ce qui explique l'absence de données cartographiques d'occupation du sol pour cette partie sur la Figure 2-1).

Dans la partie aval du bassin versant, le Wasser Grund entre dans le village d'Athus où il se jette dans le Wahleschgracht juste avant que celui-ci ne rejoigne la Messancy. La confluence avec le Wahleschgracht est souterraine, dans un long puits qui traverse ensuite la voie ferrée (le puits est nommé « puits de Longeau » dans la suite de cette étude). Avant de se jeter dans le Wahleschgracht/Messancy, le Wasser Grund est rejoint, dans le village de Longeau, par l'Oderinger Grund. Le Wahleschgracht est un cours d'eau de 2^{ème} catégorie. La longueur totale de cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant est d'environ 12.3 km. Les deux bassins versants sont présentés à la Figure 2-3.

La nomenclature des principaux ouvrages utilisée dans cette étude est présentée à la Figure 2-4.

2.2 Etude récente sur le Wasser Grund

Le bassin versant du Wasser Grund a récemment fait l'objet d'une étude hydrologique-hydraulique (confiée à HydroScan SA/NV par IDELUX-Eau et la commune de Messancy). Cette étude a notamment mis en exergue le rôle important du puits de Longeau où se réalise la confluence avec le Wahleschgracht. **La présente étude repart du même modèle hydrologique-hydraulique, mais y intègre de façon plus robuste les apports du Wahleschgracht** (et le fonctionnement hydraulique de ce dernier), ainsi que les interactions potentielles avec le réseau d'égouttage.

Dans le cadre de cette étude, le rôle du Wasser Grund dans les débordements rue de Longeau feront, de nouveau, l'objet d'une analyse approfondie. A contrario, les débordements de ce dernier plus en amont, sur la commune de Messancy (p. ex., rue d'Athus, place de Longeau, etc.), ne seront pas couverts par le présent rapport (voir le rapport de l'étude précédente pour plus d'informations relatives à ces derniers).

De façon similaire, l'analyse des problématiques de ruissellement direct ne couvriront pas celles déjà réalisées lors de l'étude précédente mais se concentreront sur le territoire de la commune d'Aubange (non analysées dans l'étude précédente).

Ce choix s'explique par l'absence de modifications majeures sur ces parties des modèles hydrologique-hydraulique, et donc par l'absence de différences significatives en termes de diagnostic pour ces parties du territoire d'intérêt.

Pour finir, dans un souci de cohérence, les pistes de solution qui ont été jugées pertinentes au cours de la précédente étude ont été intégrées à certains des scénarios d'aménagement de la présente étude.

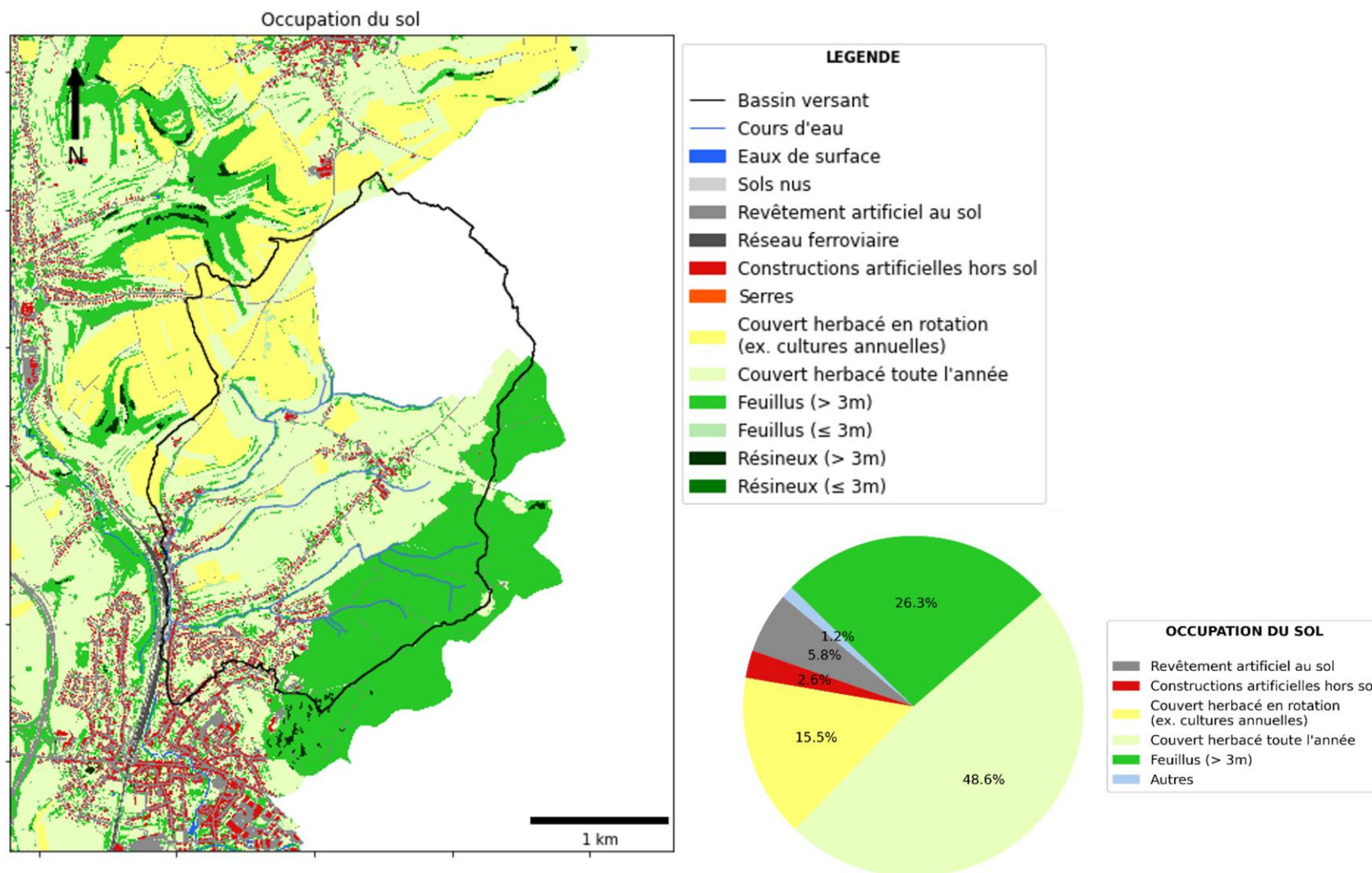


Figure 2-1 : Occupation du sol dans la zone d'étude sur base de la carte d'occupation du Sol de Wallonie (Walous 2018). Les données sont manquantes pour la partie amont du bassin versant, située au Luxembourg.

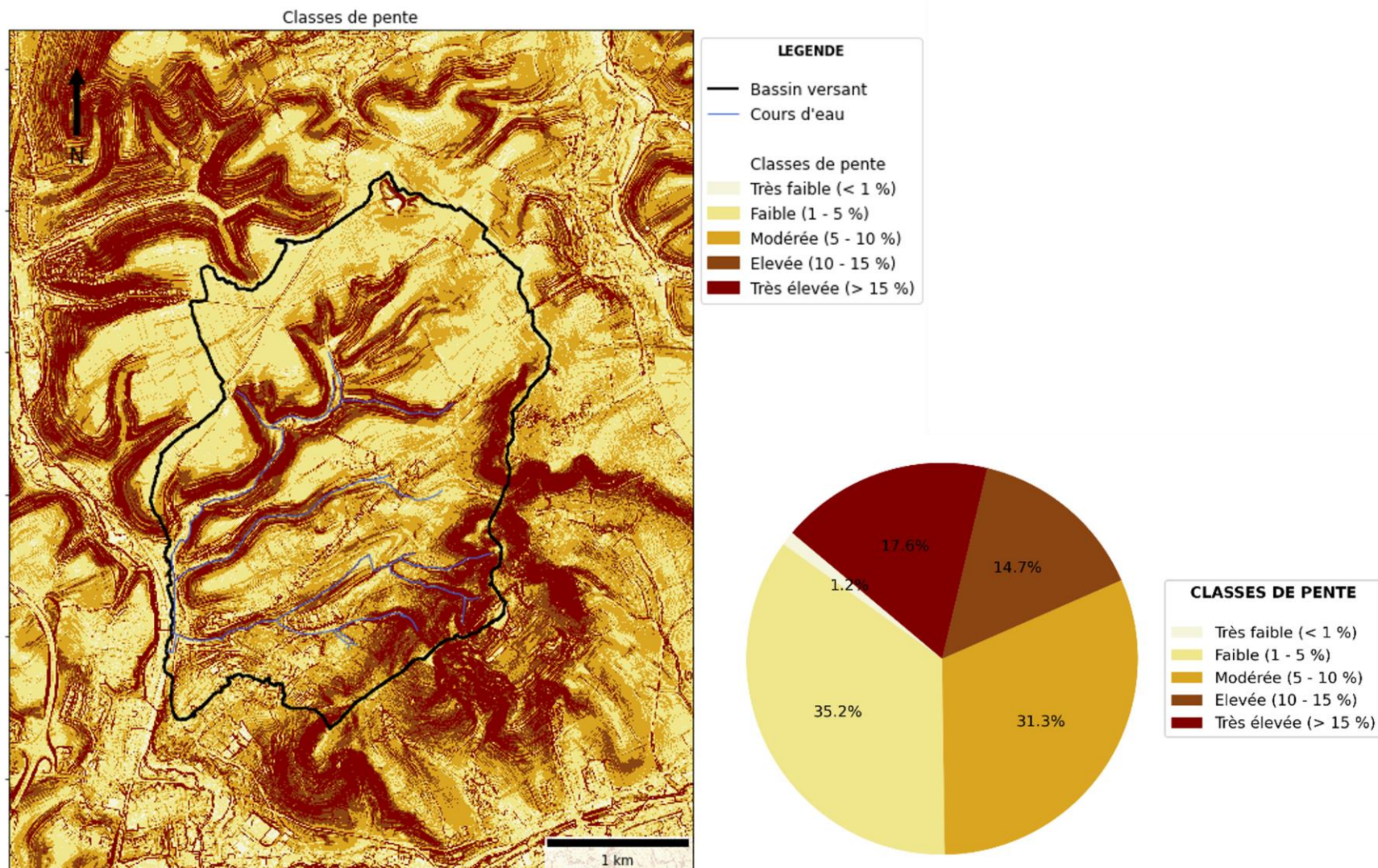


Figure 2-2 : Classes de pentes dans la zone d'étude dérivées du modèle numérique de terrain.

Légende :

- Cours d'eau
- Conduites
- Bassin versant du Wasser Grund
- Bassin versant du Wahleschgracht

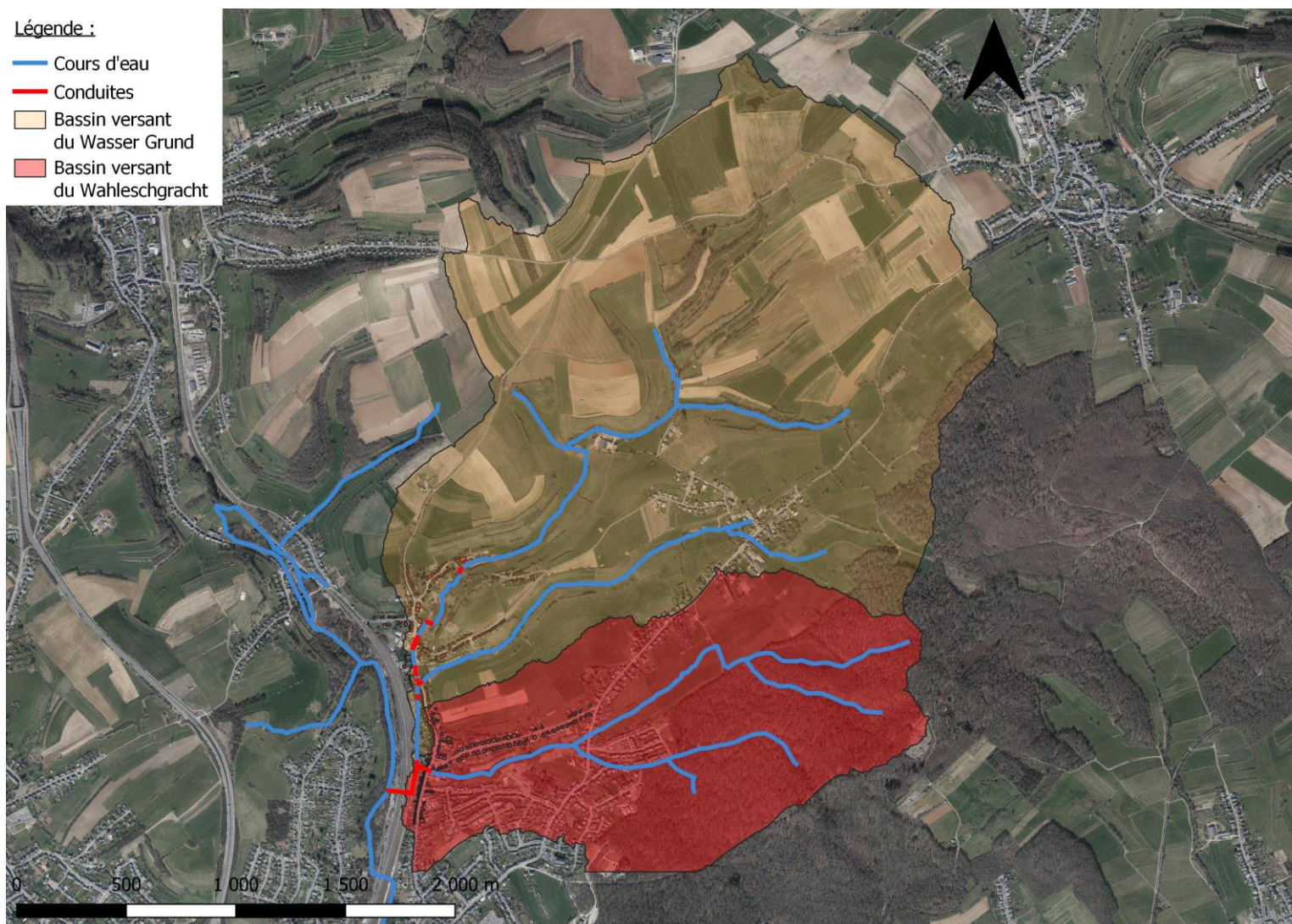


Figure 2-3 : Bassins versants du Wasser Grund (3^{ème} catégorie) et du Wahleschgracht (2^{ème} catégorie).

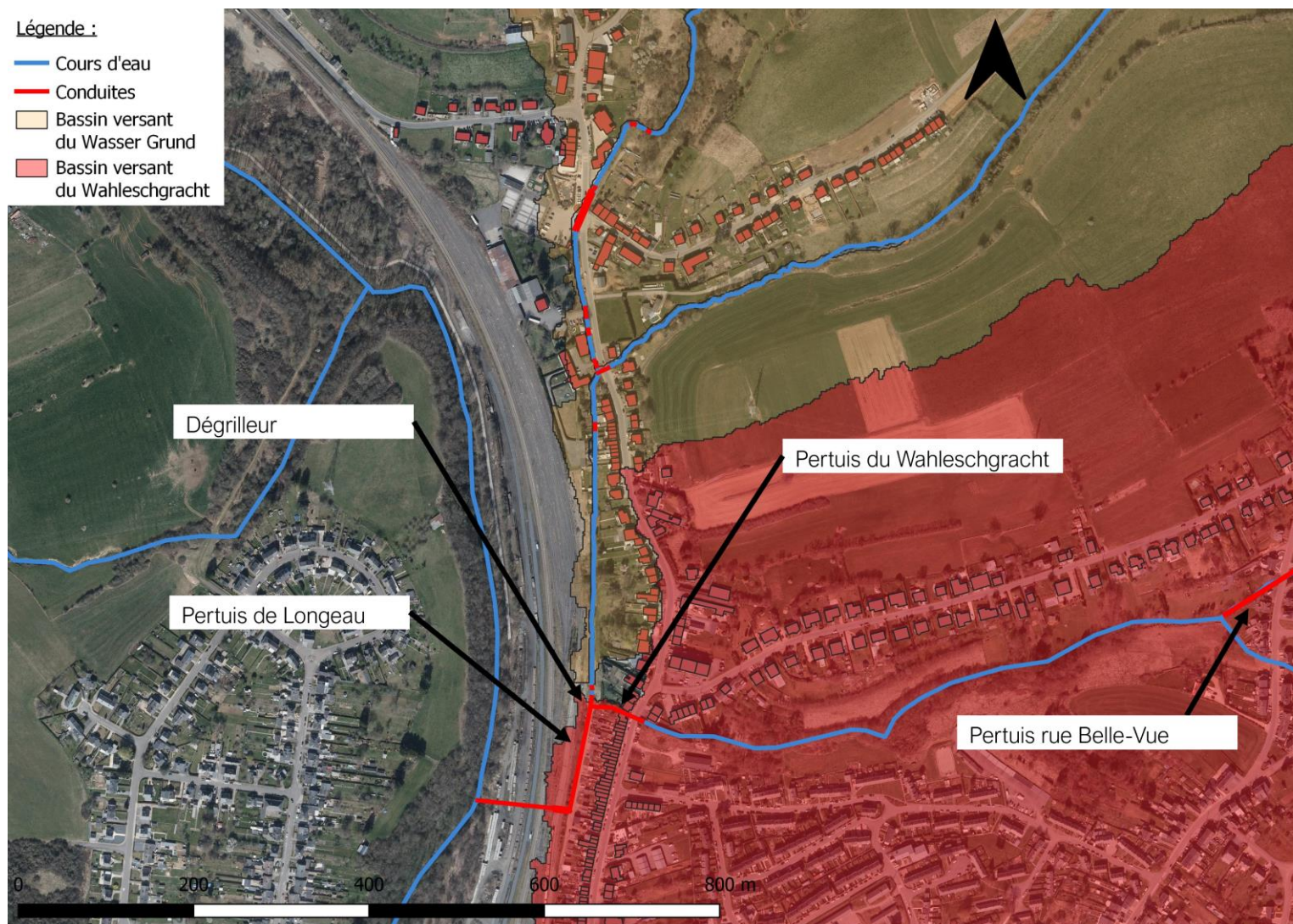


Figure 2-4 : Nomenclature des principaux ouvrages dans cette étude.

2.3 Visite de terrain

Une visite de terrain a eu lieu le 26/01/2024 avec le conseiller Technique d'IDELUX-Eau M. Frédéric Adam, le gestionnaire des cours d'eau du Service Technique Provincial M. Vincent Adam, Mme Céline Zintz du Contrat Rivière Semois-Chiers et M. Jean Lemaire et M. Pierre Lomry de la Ville d'Aubange. Cette visite s'est uniquement concentrée sur le Wahleschgracht (le Wasser Grund et son bassin versant ayant déjà fait l'objet d'une telle visite lors de la précédente étude). Lors de cette visite, le bassin versant a été parcouru de l'aval à l'amont du secteur à enjeux avec une attention particulière sur les zones critiques connues (voir Figure 2-5).

Seuls les éléments les plus importants de cette visite de terrain sont détaillés et illustrés (Figure 2-6 à Figure 2-11) ci-dessous :

- D'après les témoignages des acteurs locaux et gestionnaires du cours d'eau, le Wasser Grund et/ou le Wahleschgracht débordent relativement fréquemment (fréquence d'occurrence d'environ 5 ans) au niveau et à l'arrière de la rue de Longeau.
- Lors des inondations passées, les embâcles semblent avoir joué un rôle important, notamment au niveau des grilles situées à l'amont du pertuis de Longeau sur les deux cours d'eau. Il y a en tout trois grilles sur la partie aval des cours d'eau : une sur le Wahleschgracht (à l'entrée du pertuis) et deux sur le Wasser Grund (une à l'entrée du pertuis, nouvellement munie d'un dégrilleur, et une autre plus en amont).
- Le réseau d'égouttage semble poser des problèmes à l'aval de la zone d'étude rue de Longeau (notamment à l'arrière de celle-ci). L'inondation des caves de plusieurs riverains ont été rapportés par des acteurs locaux et gestionnaires du cours d'eau.
- A noter que depuis l'évènement de Juillet 2021, la partie aval du Wasser Grund a connu deux aménagements spécifiques : une réhausse des berges en rive gauche et l'installation d'un dégrilleur pour limiter les embâcles à l'entrée du pertuis.
- Le pertuis rue Belle-Vue (en amont sur le Wahleschgracht) ne semble pas poser de problème vis-à-vis des inondations. La hauteur des berges au droit de son entrée étant relativement importante, elle permet de limiter les débordements à cet endroit.
- En amont de la rue de Guerlange, deux petits cours d'eau sont interceptés par des conduites (équipées de grilles à l'entrée) et connectés au réseau d'égouttage à l'aval. D'après les acteurs locaux, cette partie du bassin versant n'est pas sujette à des inondations.
- Une zone potentiellement intéressante pour implémenter une zone d'immersion temporaire sur la partie amont du Wahleschgracht a également été visitée.
- Une étude sur la Messancy, réalisée par HydroScan SA/NV pour la Direction des Cours d'Eau Non-Navigables (SPW), indique une influence du niveau de la Messancy sur les débordements du Wahleschgracht et du Wasser Grund au niveau de la rue de Longeau.

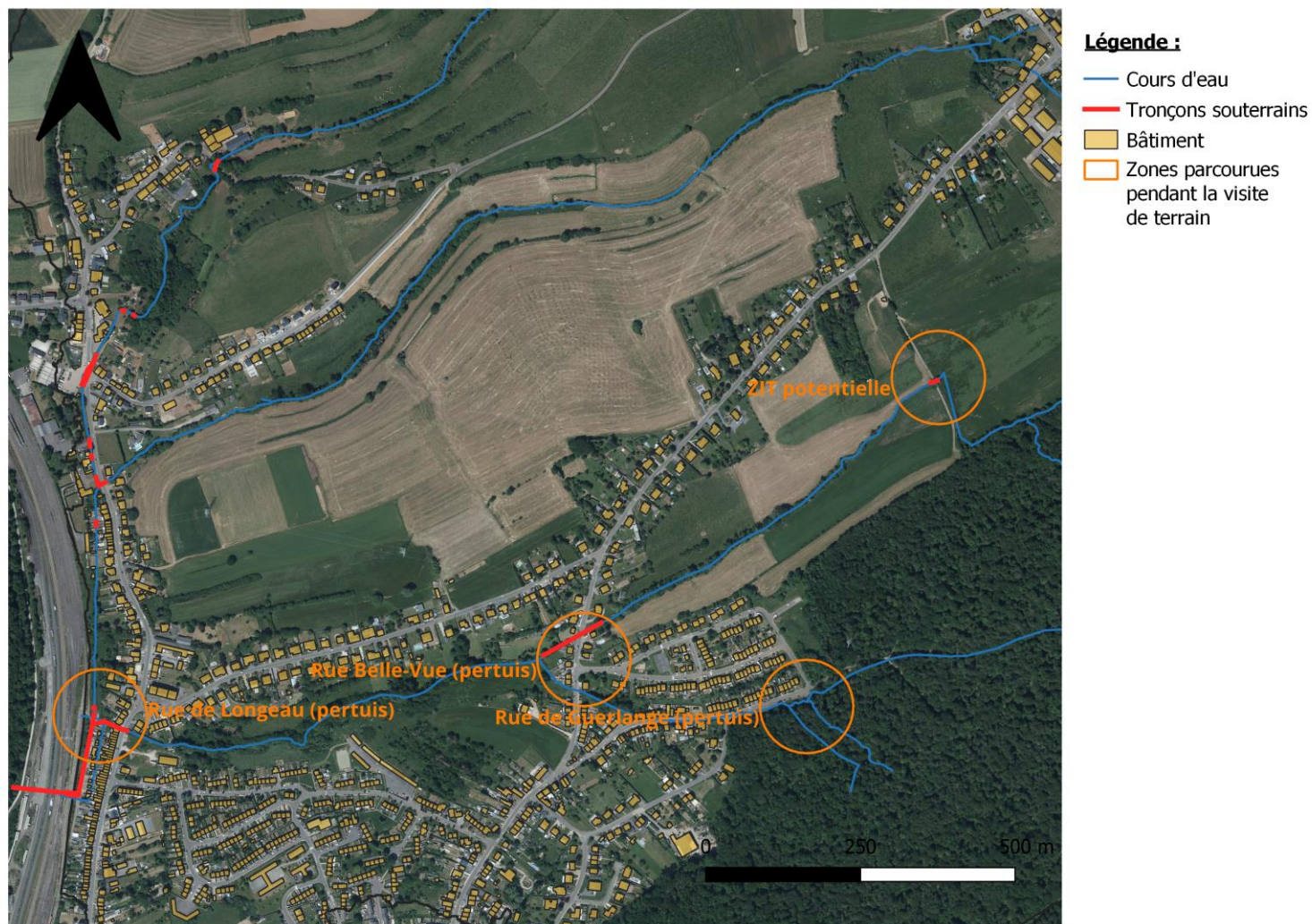


Figure 2-5 : Carte de la zone d'étude reprenant les principaux sites parcourus lors de la visite de terrain.



Figure 2-6 : Grille sur le Wahleschgracht, au niveau de l'entrée du puits de Longeau.



Figure 2-7 : Grille équipée d'un dégrilleur automatique sur le Wasser Grund, au niveau de l'entrée du puits de Longeau.



Figure 2-8 : Grille sur le Wasser Grund, en amont de l'entrée du puits de Longeau.



Figure 2-9 : Pertuis sur le Wahleschgracht au niveau de la rue Belle-Vue (vue amont).



Figure 2-10 : Grille et entrée de puits d'un des cours d'eau non classés, au niveau de la rue de Guerlange.



Figure 2-11 : Zone favorable à l'implémentation d'une zone d'immersion temporaire (en amont sur le Wahleschgracht).

3 Données disponibles

3.1 Données topographiques

- Levé topographique du lit mineur : les levés des sections en travers ont été effectués à l'aide d'un GPS différentiel afin de permettre la construction et la validation du modèle ;
- Seuls les ouvrages ayant un effet hydraulique notable sur les écoulements ont été levés. Sont relevés les cotes amont et aval, les dimensions (largeur, hauteur) et la hauteur du tablier (voir exemple Figure 3-2) ;

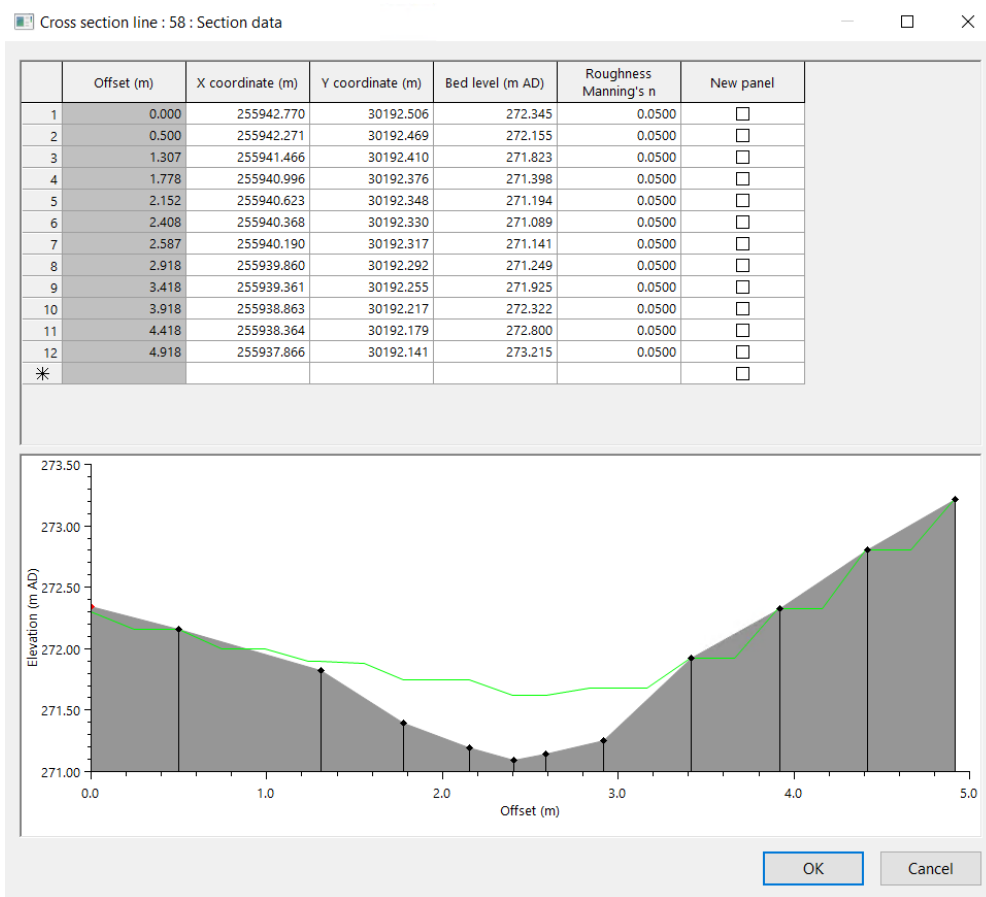


Figure 3-1 : Profil en travers du Wasser Grund levé sur terrain et implémenté dans le logiciel de modélisation. La ligne verte représente le Modèle Numérique de Terrain de la Région Wallonne.

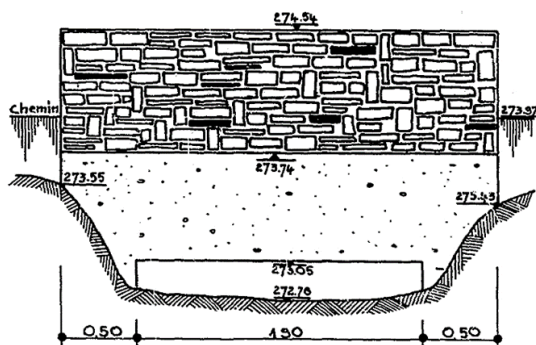


Figure 3-2 : Fiche ouvrage complémentaire du puits au niveau de la Rue d'Athus sur l'Oderinger Grund.

- Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la Région Wallonne (résolution spatiale de 0.5 m) est utilisé pour la construction de modèle, notamment pour la représentation du lit majeur.
- D'autres données topographiques obtenues via le Géoportail de Wallonie : les orthophotoplans, les Fonds de plan IGN Belgique 1/10 000, le Projet Informatique de Cartographie Continue (PICC), l'Atlas des cours d'eau, la Carte d'Occupation du Sol de Wallonie (COSW), la Base de données des types d'occupation du sol IGN vectorielle, le plan parcellaire cadastral (Cadmap 2021), Les axes de concentration du ruissellement LIDAXE, le réseau Natura 2000 en vigueur, la Conservation de la Nature, etc.

3.2 Données égouttage

Pour l'ensemble de la zone d'étude (limitée au réseau drainant jusqu'à la rue de Longeau), on dispose d'une base de données transportable (format .icmt) issue du logiciel de modélisation InfoWorks ICM et fournie par IDELUX-EAU.

Cette base de données, issue du cadastre de l'égouttage, comprend notamment :

- Les regards de visite du réseau d'égouttage avec les différents niveaux (chambre, cheminée, niveau terrain) ;
- Les conduites entrantes et sortantes avec les dimensions, les niveaux radiers, le type de système ;
- La localisation et caractéristiques des structures particulières (p. ex., déversoir d'orage, station de pompage).

En absence de certaines informations clés (niveaux d'un déversoir, etc.), certaines hypothèses relatives à la configuration du réseau ont été posées. Par ailleurs, les déversoirs d'orage situés dans la partie aval de la zone d'étude (en interaction avec le puits de Longeau) ont fait l'objet d'un levé complémentaire par la Ville d'Aubange en cours d'étude.

Un grand nombre de photos et vidéos ont également été fournies par IDELUX-EAU.

La Figure 3-3 présente l'étendue du réseau d'égouttage intégré au modèle hydrologique-hydraulique.

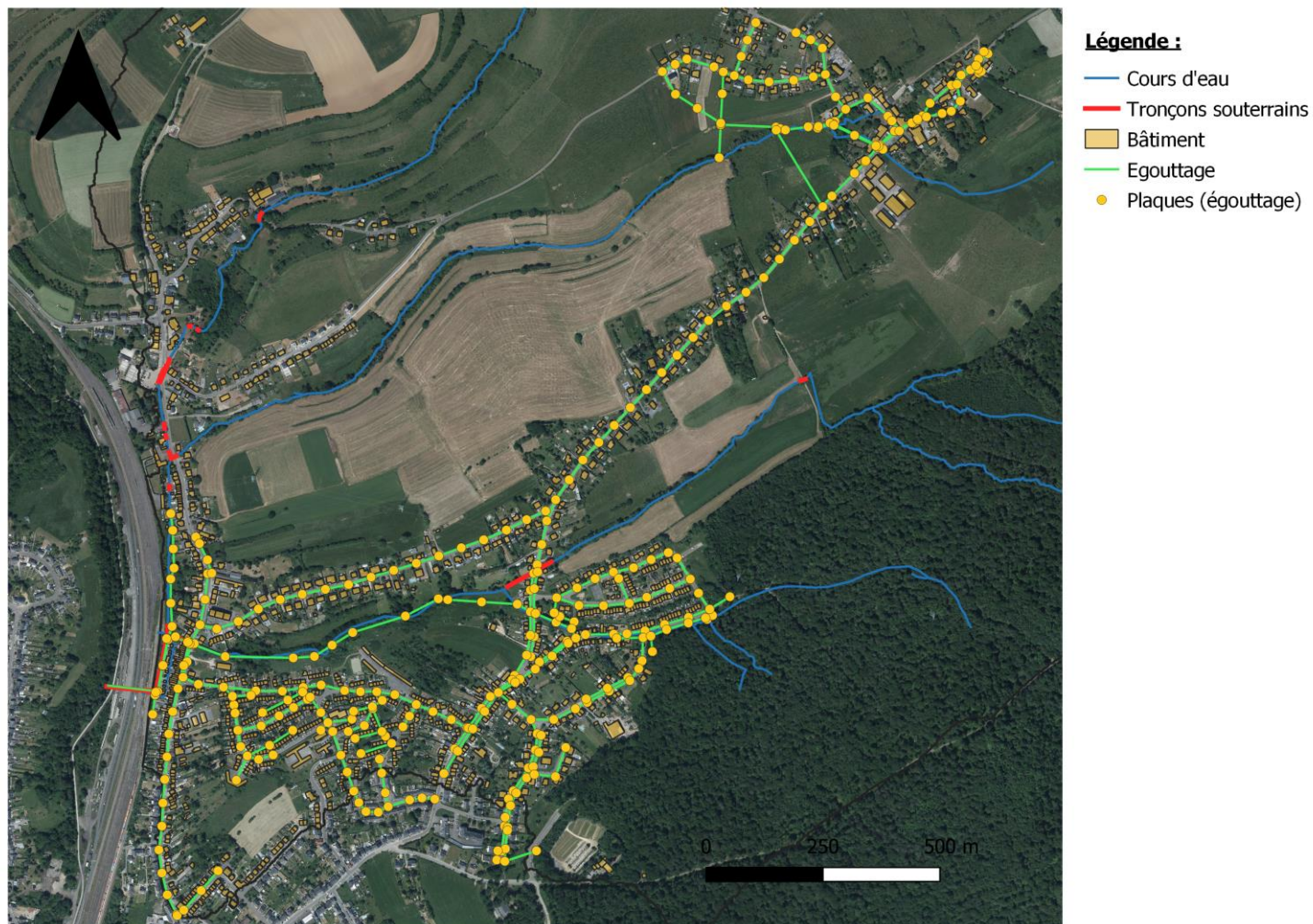


Figure 3-3 : Carte présentant l'étendue du réseau d'égouttage intégré au modèle hydrologique-hydraulique.

3.3 Données hydrologiques

Il n'existe pas de donnée limnimétrique disponible au droit ou à l'aval du tronçon de la rivière étudiée (se trouvant en 2^{ème} catégorie), ce qui limite les possibilités en termes de calibration du modèle. Il existe cependant un modèle intégré hydrologique-hydraulique de la Messancy où sa confluence avec le Wahleschgracht/Wasser Grund (via le pertuis de Longeau) est bien représentée. Ces données ont notamment été utilisées pour simuler l'effet du niveau de la Messancy sur les débordements rue de Longeau.

En ce qui concerne les données pluviométriques, il n'existe pas de pluviomètre dans le bassin versant étudié. Pour l'évènement de février 2020, la pluviométrie spatialisée issue du modèle intégré hydrologique-hydraulique de la Messancy a été utilisée (elle est dérivée des pluviomètres situés à proximité du bassin versant). Pour l'évènement de Juillet 2021, les données radar de l'IRM ont été utilisées.

3.3.1 Événement du 4 Février 2020

Sur bases des données disponibles, l'évènement de février 2020 ne présente pas des caractéristiques (intensités et lame d'eau précipitée en fonction de la durée) extrêmes. Il présente cependant une pluviométrie antécédente relativement importante. Cette dernière a probablement joué un rôle déterminant dans le débordement du cours d'eau et la réponse du bassin versant, notamment via une recharge importante des nappes souterraines et la saturation des sols (augmentant dès lors le ruissellement et le débit dans le cours d'eau). La Figure 3-4 présente les séries temporelles de pluie spatialisée et moyenne (sur le bassin versant) pour cet évènement.

3.3.2 Événement du 14-15 Juillet 2021

Les données de pluviométrie radar de l'évènement de juillet 2021 ont été rendues disponibles par l'IRM. Ces données montrent que l'évènement est particulièrement critique pour des durées importantes (12-48 heures). Compte tenu de ces durées et étant donné les intensités relativement faibles mesurées, ce sont surtout les volumes d'eau précipités qui ont occasionné le débordement du cours d'eau. Là encore, ces derniers ont participé à la saturation des sols et à la recharge importante de la nappe (augmentant dès lors le ruissellement et le débit dans le cours d'eau). La Figure 3-5 présente les séries temporelles de pluie spatialisée et moyenne (sur le bassin versant) pour cet évènement. La Figure 3-6 présente les périodes de retour maximales estimées pour cet évènement sur l'ensemble du bassin versant (à partir des données de pluviométrie radar et des courbes IDF de l'IRM). Elles sont obtenues pour une durée de 12 heures.

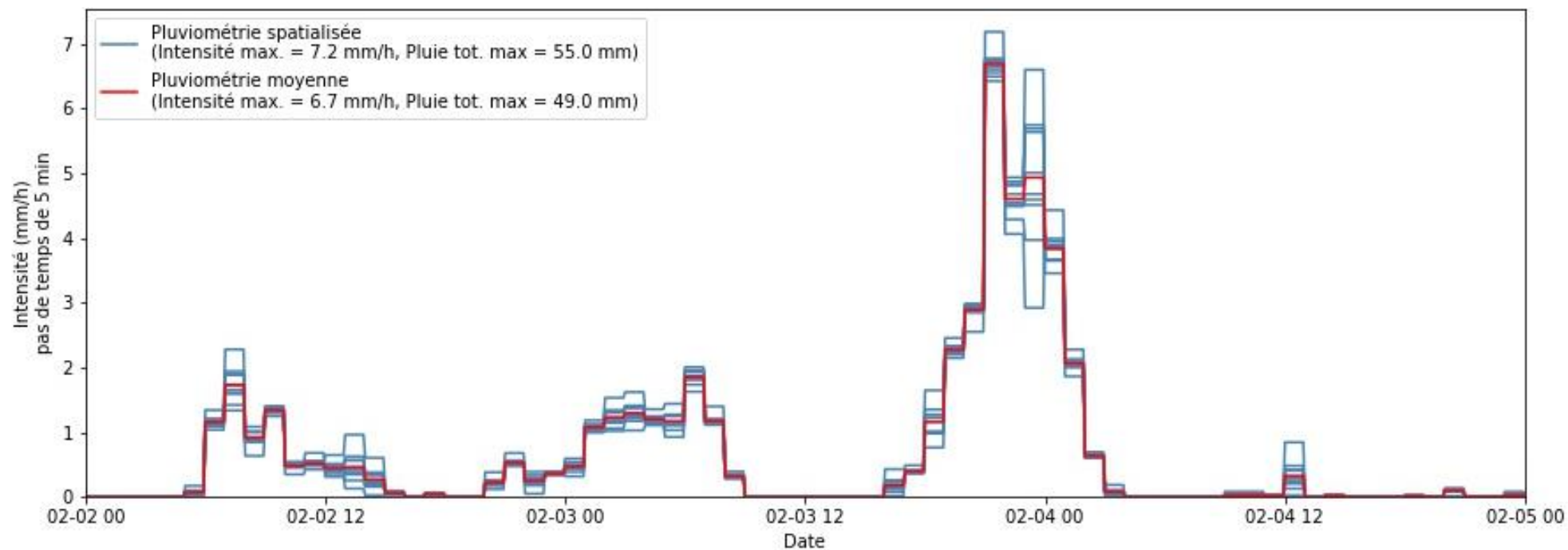


Figure 3-4 : Pluviométrie spatialisée et moyenne au droit du bassin versant du Wahleschgracht pour l'événement du 4 février 2020. La spatialisation est effectuée à partir des données de pluviomètres situés à proximité du bassin versant.

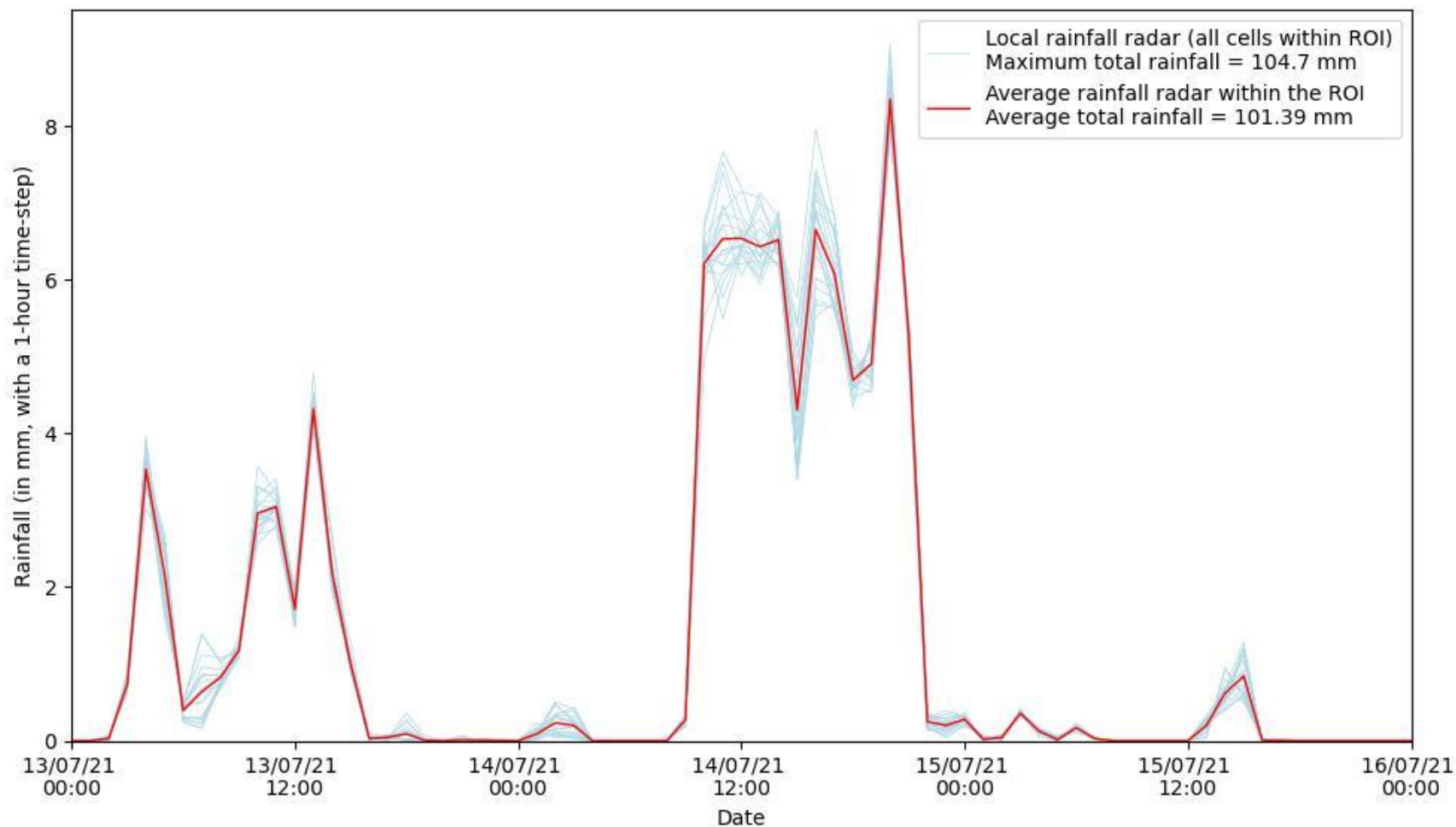


Figure 3-5 : Pluviométrie spatialisée et moyenne au droit du bassin versant du Wahleschgracht pour l'événement du 14-15 juillet 2021 sur base des données de pluviométrie radar de l'IRM.

Légende :

— Cours d'eau

— Routes

Période de retour, en année
pour une durée de 12h

0.2

1

2

5

10

50

100

150

> 200

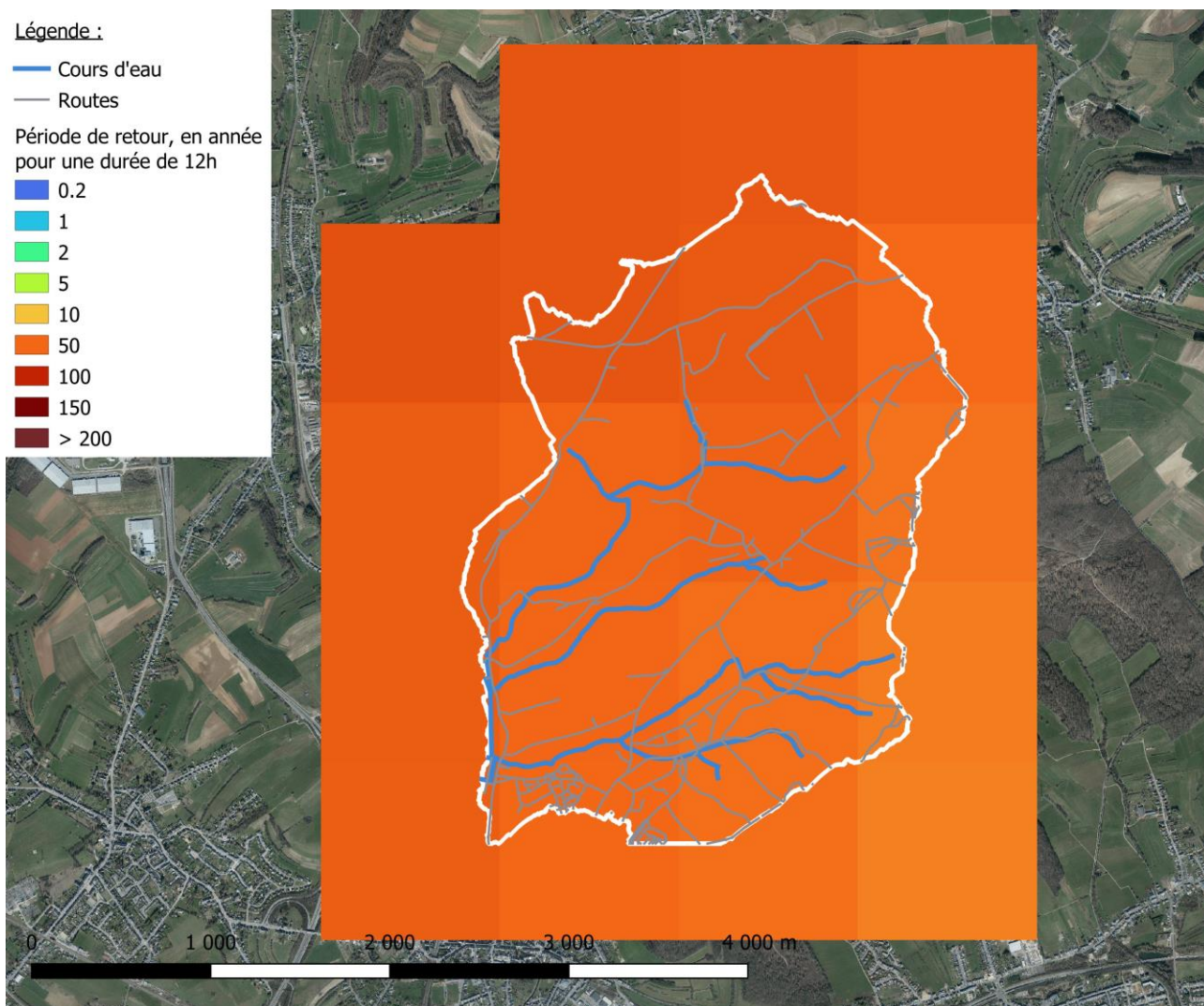


Figure 3-6 : Périodes de retour maximales de l'événement du 14-15 juillet 2021 sur l'emprise du bassin versant à l'étude (pixels colorés). Les périodes de retour sont dérivées des données radar et statistiques de l'IRM. Elles sont présentées pour la durée la plus critique sur l'ensemble de l'évènement (durée de 12 h).

3.3.3 Construction des pluies de projet

Les données statistiques disponibles sur le site de l'IRM pour la commune d'Aubange, reprenant les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF), ont été collectées pour construire des pluies de projet (pluies synthétiques) de différentes périodes de retour. Celles-ci sont utilisées pour le dimensionnement et sont critiques tant du point de vue de l'intensité que du volume. Les pluies de projet pour les périodes de retour de 5 ans, 25 ans, 50 ans et 100 ans sont construites conformément au CSC. Pour raffiner le diagnostic hydrologique-hydraulique, les périodes de retour de 10 et 15 ans ont également été rajoutées. La Figure 3-7 présente ces pluies pour certaines des périodes de retour retenues pour l'analyse.

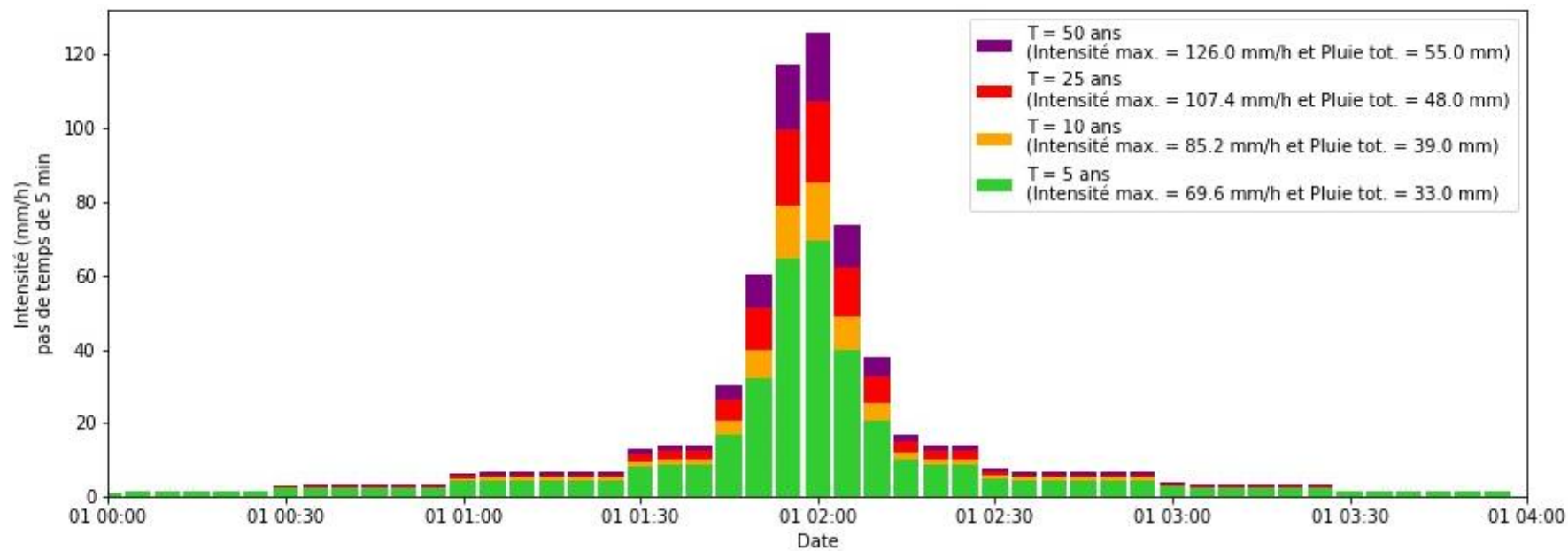


Figure 3-7 : Pluies synthétiques construites sur base des données IRM de la commune d'Aubange pour une durée de 4 h (240 min).

3.4 Données historiques

De manière générale, assez peu d'informations historiques ont pu être collectées, et celles reçues sont constituées de photographies des inondations de février 2020 et juillet 2021 fournies par les communes de Messancy et Aubange, ainsi que les riverains qui habitent à proximité du cours d'eau. Ces photos laissent entrevoir l'ampleur potentielle des débordements dans les villages de Longeau (Messancy) et Athus (Aubange), notamment leurs conséquences le long des rues d'Athus et Longeau (Figure 3-8 à Figure 3-12). Néanmoins, elles ne couvrent pas l'ensemble des zones impactées, et pas nécessairement le moment le plus critique (en termes de hauteur d'eau et/ou d'emprises inondées).

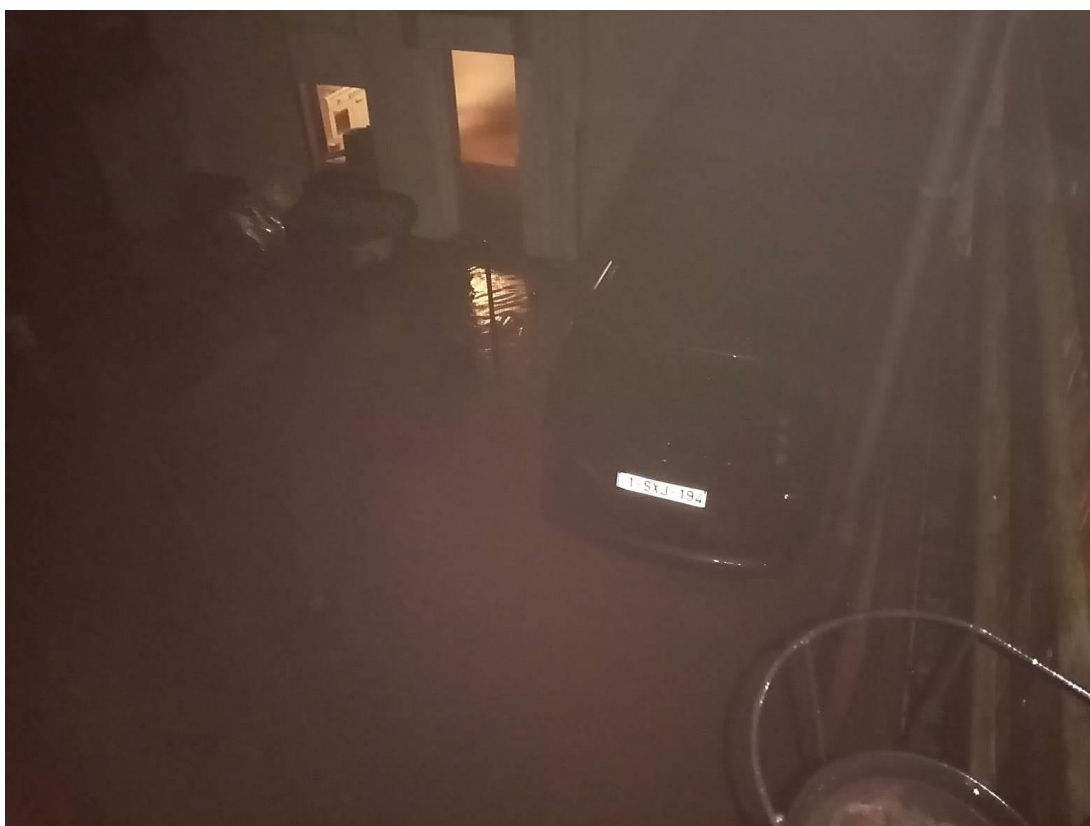


Figure 3-8 : Photo prise au niveau de la rue d'Athus le 4 février 2020 (vue de dessus).



Figure 3-9 : Photo prise au niveau de la rue d'Athus le 4 février 2020.



Figure 3-10 : Photo prise au niveau de la rue de Longeau le 4 février 2020.



Figure 3-11 : Photo prise au niveau de la rue d'Athus le 15 juillet 2021.



Figure 3-12 : Photo prise au niveau de la rue d'Athus le 15 juillet 2021.



Figure 3-13 : Photo prise au niveau de la rue d'Athus le 15 juillet 2021.

4 Méthodologie générale en matière de modélisation

Pour répondre aux objectifs de l'étude, deux types de modélisation hydrologique-hydraulique ont été mises en œuvre sur le bassin versant :

1. **Une modélisation hydrologique et hydraulique 1D-2D détaillée** permettant de quantifier les apports au cours d'eau et d'estimer les hauteurs d'eau dans le lit mineur et majeur en fonction des débits passants. Cette modélisation se limite au droit des zones à enjeux (villages de Longeau et d'Athus). Elle intègre les structures de façon détaillée, ainsi que l'ensemble du réseau d'égouttage drainant jusqu'à la rue de Longeau. Il a été paramétré afin d'établir une situation de référence permettant d'effectuer un diagnostic du fonctionnement hydraulique du cours d'eau et de dimensionner des aménagements hydrauliques en fonction des apports et des structures limitantes sur le tronçon étudié. Les résultats de cette modélisation permettent notamment de déterminer des débits admissibles et des emprises d'inondations (voir Figure 4-1 (a)).
2. **Une modélisation hydrologique et hydraulique 2D intégrale à l'échelle du bassin versant global.** Les structures sont intégrées partiellement et le modèle permet de réaliser un diagnostic territorial des problématiques de ruissellement et de débordement de cours d'eau. Il permet d'avoir une vision globale des apports en tout point du territoire d'étude avec des résultats quantifiables (hauteurs d'eau et débits) mais aussi de faciliter la localisation et le dimensionnement des aménagements plus spécifiquement liés à la lutte contre les inondations par ruissellement direct (voir Figure 4-1 (b)).

La deuxième étape de l'étude consistera à effectuer un prédimensionnement d'aménagements de lutte contre les inondations et d'analyser les effets de ces derniers sur les écoulements et la réduction des inondations sur les zones à enjeux. L'utilisation de la modélisation servira de base pour l'analyse coût-bénéfice et pour conclure sur la pertinence des différents aménagements évalués.



Figure 4-1 : Exemple de résultats issus des modélisations (a) 1D-2D détaillée au droit de la zone à enjeux et (b) 2D intégrale à l'échelle du bassin versant global.

5 Construction et validation du modèle intégré 1D-2D de la situation existante

5.1 Modélisation hydrologique

Deux types de modèles hydrologiques sont combinés dans le cadre de cette étude de manière à reproduire au mieux la réponse hydrologique du bassin versant en distinguant des parties urbaines et des parties rurales. Pour ces deux modèles, une approche semi-spatialisée est appliquée. Des sous-bassins ruraux et urbains sont ainsi définis (voir Figure 5-1).

- La délimitation des **sous-bassins ruraux** se fait à l'aide du MNT hydrologiquement continu grâce à différentes procédures SIG prenant en considération la configuration du réseau hydrographique, les caractéristiques physiographiques (occupation du sol, type de sol et topographie), les éléments structurants (ouvrages, routes) et les objectifs de modélisation.

Le modèle d'hydrologie de surface **SCS** (*Soil Conservation Service*) est utilisé pour simuler à l'échelle d'un bassin versant et pour une pluie donnée, le ruissellement de surface généré et contribuant au débit dans le **réseau hydrographique**. Les fonctions de production (*Curve Number*) et de transfert (*Unit Hydrograph*) sont estimées avant calibration pour chaque sous-bassin en fonction des données topographiques et physiographiques disponibles (occupation du sol, type de sol, etc.).

- La délimitation des **sous-bassins urbains** se fait sur base du réseau d'égouttage. Il n'y a aucun recouvrement entre les sous-bassins urbains et ruraux de sorte que les surfaces contributives ne soient pas comptées deux fois.

Le modèle d'hydrologie de surface à **coefficient fixe** est utilisé pour simuler à l'échelle d'un bassin versant et pour une pluie donnée, le ruissellement de surface généré contribuant au débit dans le **réseau d'égouttage**. Les fonctions de production (*coefficients fixes*) et de transfert (*Wallingford*) sont estimées avant calibration pour chaque sous-bassin en fonction de l'occupation du sol (toitures et routes, prairies, jardins, etc.). Ce modèle hydrologique est bien adapté pour simuler la réponse hydrologique des surfaces imperméables avec un temps de réponse rapide à une pluie.

Les données d'entrée du modèle hydrologique sont des pluies observées (événements du 4 février 2020 et du 14-15 juillet 2021) et des pluies de projet (pluies synthétiques) construites sur base des données statistiques disponibles sur le site de l'IRM pour la commune d'Aubange, reprenant les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) pour différentes périodes de retour. Elles ont été présentées à la section 3.3.3.

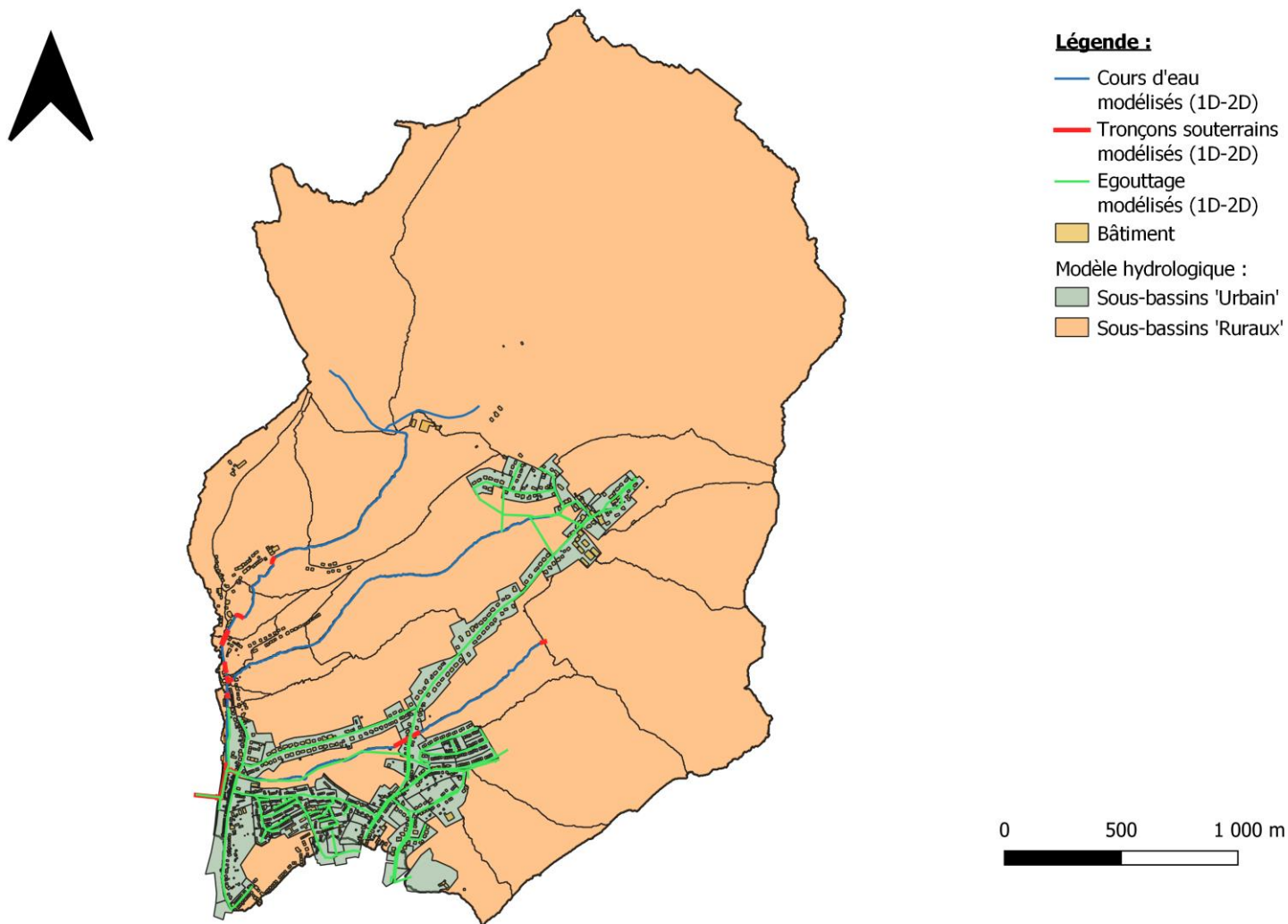


Figure 5-1 : Principaux éléments du modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D.

5.2 Modélisation hydraulique 1D-2D

5.2.1 Modélisation hydraulique du réseau rivière

La création du modèle hydraulique 1D-2D se divise en deux parties :

1. La construction de la partie **1D relative au lit mineur** du cours d'eau : elle prend en compte la capacité hydraulique du cours d'eau via les profils en travers mesurés à intervalle régulier et la capacité des ouvrages via l'intégration dans le modèle de leurs caractéristiques (dimension, forme, etc.). De l'amont vers l'aval, une quinzaine d'ouvrage ont été intégrés et considérés dans le modèle 1D. A noter que toutes les passerelles localisées derrière les habitations rue d'Athus n'ont pas été intégrées (seules celles qui semblaient avoir un impact hydraulique clair ont fait l'objet d'une intégration).
2. La construction de la partie **2D relative au lit majeur** du cours d'eau modélisé via un maillage bidimensionnel. La zone 2D est construite sur base de la topographie du terrain dont l'information est contenue dans le MNT. Le maillage est affiné avec, entre autres, l'intégration des bâtiments.

A noter que pour mieux représenter le transfert des contributions des bassins versants situés plus à l'amont du modèle hydraulique 1D-2D détaillé, un modèle hydraulique 1D conceptuel a également été intégré (pas de débordement considéré).

Il est important de noter que la zone 2D n'est pas uniquement connectée au modèle 1D au niveau des berges, mais également au niveau des ouvrages (p. ex., l'eau peut transiter depuis le lit mineur en 1D vers le lit majeur 2D via le tablier d'un pont), ce compris les chambres de visite des pertuis (en cas de charges trop importantes au sein du pertuis, l'eau est susceptible de rejoindre la zone 2D, et donc la surface, via les chambres de visite).

La Figure 5-2 illustre les principaux éléments composant le modèle hydraulique 1D-2D détaillé construit dans le cadre de cette étude. Ils sont également repris sur la Figure 5-1.

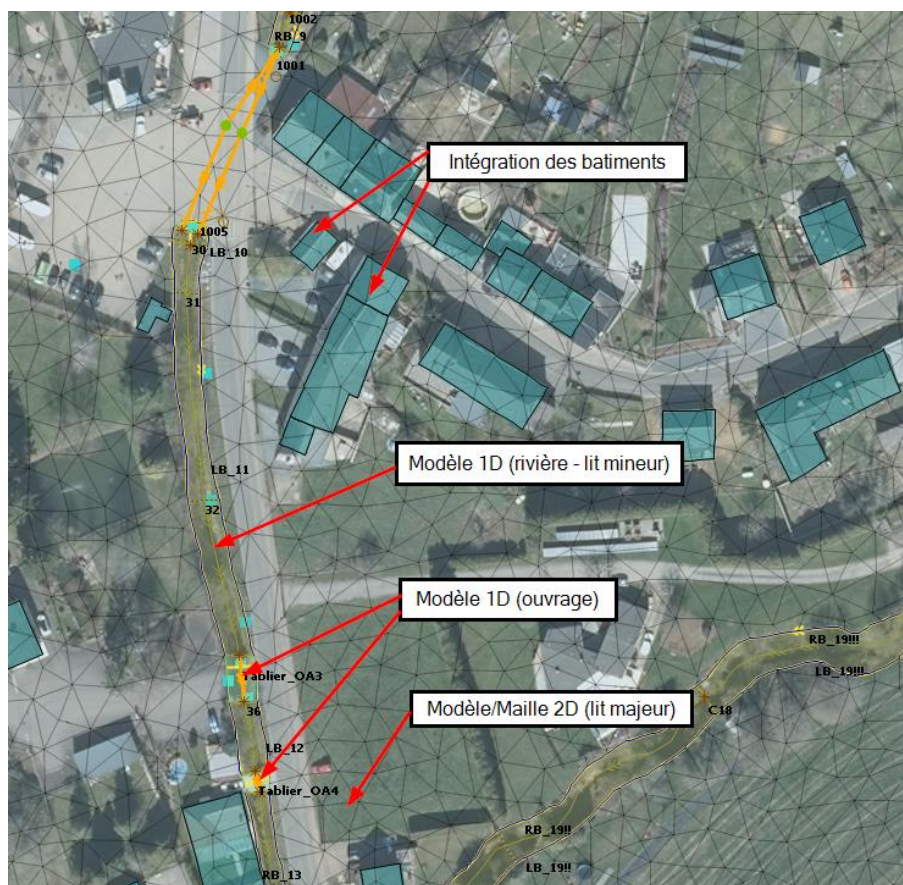


Figure 5-2 : Principaux éléments du modèle hydraulique 1D-2D : intégrations de différents ouvrages dans le modèle 1D, maillage du modèle 2D et éléments structurants pouvant affecter les écoulements intégrés dans le maillage 2D (bâtiment).

5.2.2 Modélisation hydraulique du réseau d'égouttage

Le réseau d'égouttage a été modélisé afin de reproduire au mieux la réponse du réseau à une pluie et les interactions de ce dernier avec la rivière, notamment au niveau du puits de Longeau. Un réseau d'égouttage est généralement composé de conduites et de structures de régulation de débit qui peuvent occasionner des surverses vers le réseau d'eau de surface au niveau de déversoirs d'orage.

Comme mentionné précédemment, des données existent au droit de notre zone d'étude. Les informations suivantes ont été fournies :

- Les caractéristiques des chambres de visites (niveau haut, base de la chambre) ;
- Les caractéristiques des conduites (forme, diamètre, niveau radier) ;
- Les caractéristiques des déversoirs d'orage (types, dimension orifice, niveau de crête).

Des corrections ont parfois été effectuées et des données manquantes ont été complétées (par interpolation) afin d'avoir un réseau continu permettant la modélisation. Le suivi des modifications effectuées est traçable dans la modèle grâce à l'utilisation de drapeaux utilisateurs.

5.3 Conditions limites

Conditions aux limites amont

Pour chaque simulation, la condition limite amont est constituée par un hyétogramme observé ou synthétique injecté en entrée du modèle et appliqué sur l'ensemble des sous-bassins :

- Les pluies observées sont celles relatives aux événements du 4 février 2020 et du 14-15 juillet 2021 ;
- Les pluies composites (ou synthétiques) sont des pluies de type double triangle permettant de modéliser à la fois des événements intenses et courts (plutôt représentatifs des événements orageux de printemps-été) et des événements peu intenses mais longs (plutôt représentatifs des événements volumiques d'hiver). Les périodes de retour considérées pour l'analyse sont de 5 ans, 10 ans, 15 ans, 25 ans, 50 ans et 100 ans. Les pluies synthétiques ont une durée de 4 heures. Elles sont appliquées de façon uniforme sur l'ensemble des sous-bassins (modèle hydrologique).

Ces pluies ont déjà été présentées ci-avant.

Conditions aux limites aval

Les conditions aux limites aval sont les conditions à appliquer à l'aval du modèle hydraulique (1D et 2D). Comme précisé ci-avant, la Messancy pourrait avoir un effet sur l'écoulement et/ou les débordements du Wahleschgracht, ce qui peut être testé via le modèle. Dès lors, trois conditions limites aval ont été appliquées au modèle 1D :

1. Une condition normale appliquée au dernier tronçon du modèle se trouvant après le puits de Longeau au niveau de la confluence avec la Messancy ;
2. Une condition de niveau d'eau de la Messancy (~270.72 mDNG) représentant la crue de la Messancy du 4 février 2020 (appliquée pour simuler cet événement) ;
3. Une condition de niveau d'eau de la Messancy (~270.8 mDNG) représentant une crue de la Messancy d'une période de retour de 5 ans (appliquée en combinaison avec des pluies synthétiques pour effectuer le diagnostic).

Les conditions de niveau d'eau de la Messancy sont déterminées à partir du modèle intégré hydrologique-hydraulique de la Messancy (réalisé par Hydroscan SA/NV pour la DCENN) ;

La condition limite appliquée aux limites de la zone 2D est également une condition normale.

5.4 Modélisation intégrée hydrologique-hydraulique

Le modèle hydrologique est couplé au modèle hydraulique de manière à obtenir un modèle intégré hydrologique-hydraulique. Les sous-bassins sont pour cela connectés à un nœud où un lien du réseau hydraulique rivière dans le modèle de manière à ce que leurs apports (débit résultant d'une pluie appliquée en entrée) puissent être acheminés vers la rivière et que les flux soient distribués le long des différents tronçons en fonction des surfaces contributives.

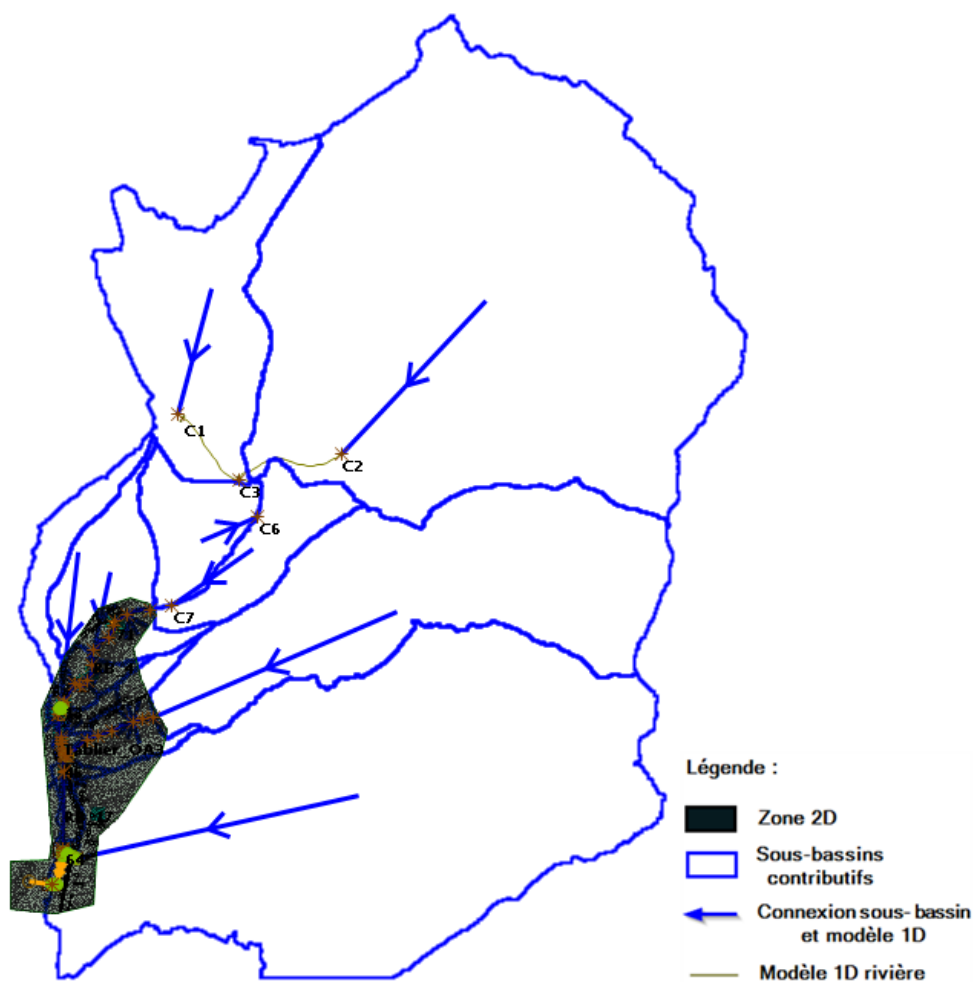


Figure 5-3 : Exemple de connexion des sous-bassins (ruraux) au réseau rivière dans le logiciel de modélisation InfoWorks ICM.

5.5 Validation du modèle intégré 1D-2D

5.5.1 Méthodologie générale

Le modèle doit faire l'objet d'une validation pour s'assurer de la bonne représentativité des résultats qu'il génère. La calibration concerne essentiellement la modification des paramètres du modèle hydrologique (CN, temps de concentration, coefficients de ruissellement fixes, etc.) et du modèle hydraulique (paramètres de rugosité et de perte de charge) afin de minimiser l'écart entre simulations et observations.

Comme expliqué précédemment dans ce rapport, il n'existe pas de données limnimétriques permettant d'obtenir des données de hauteur d'eau et de débit dans le bassin versant de la zone d'étude. Il n'est donc pas possible d'effectuer une calibration-validation classique du modèle (ajustement des coefficients du modèle pour minimiser l'écart entre un hydrogramme observé et un hydrogramme simulé).

Au vu des données disponibles, la validation du modèle est cependant envisageable grâce à :

- La comparaison entre les emprises d'inondations observées et simulées pour les événements du 4 février 2020 et du 14-15 juillet 2021. Les zones inondées observées peuvent être identifiées sur base des photos et témoignages disponibles ;
- L'analyse de la bonne représentation par le modèle de la dynamique du cours d'eau et des phénomènes observés dans le passé (par exemple : le pertuis de Longeau qui se met en charge et crée les premiers débordements en rive gauche) ;
- La comparaison entre les emprises d'inondations observées et attendues pour différentes périodes de retour (par exemple : sur base de témoignage, recueil d'inondations, etc.). A titre d'exemple, dans le cas de la rue de Longeau, il est attendu que des débordements surviennent pour des périodes de retour d'environ 5-10 ans.

Il est important de noter que les modèles utilisés pour simuler les événements historiques et synthétiques diffèrent légèrement. En effet, le modèle utilisé pour les événements synthétiques intègre les aménagements effectués sur le cours d'eau après 2021 (rehausse de la berge gauche et installation du dégrilleur en amont du pertuis de Longeau).

5.5.2 Validation du modèle pour les événements historiques

Les comparaisons effectuées entre les emprises inondées observées et simulées sont effectuées au moment le plus critique de la simulation (emprise maximale d'inondation). Ces résultats de modélisation 1D-2D sont présentés à la Figure 5-4 (rue d'Athus, 4 février 2020), à la Figure 5-5 (rue de Longeau, 4 février 2020) et à la Figure 5-6 (rue d'Athus, 14-15 juillet 2021).

Dans l'ensemble, le modèle reproduit bien les débordements dans les zones les plus critiquelement touchées (d'après les témoignages et les photos), notamment les bâtiments :

- Situés le long du Wasser Grund au niveau de la rue d'Athus ;
- Situés au niveau et à l'aval du pertuis de Longeau au niveau de la rue de Longeau.

L'analyse plus détaillée des résultats de la simulation tend à confirmer le rôle limitant du pertuis de Longeau lors de ces événements (repris sur la Figure 5-5), comme décrit lors de la visite de terrain.

En termes de hauteurs d'eau simulées, le modèle semble sous-estimer les débordements observés au niveau des bâtiments de la rue d'Athus. Cela peut s'expliquer par le fait que le modèle n'intègre pas toutes les passerelles ni d'éventuels embâcles qui ont pu aggraver les débordements lors de ces événements. Il est important de noter que les annexes de ces habitations, en partie localisées en rive

droite et particulièrement touchées, ne sont pas explicitement représentées sur les cartes mais le modèle simule bien des débordements au droit de ces dernières.

Concernant les inondations observées rue de Longeau, le modèle semble reproduire correctement les observations disponibles en termes d'emprise spatiale. Par ailleurs, même si peu d'informations précises sont disponibles en ce qui concerne les hauteurs d'eau atteintes lors de ces événements, les gammes de hauteurs simulées au droit des habitations (10-60 cm en fonction de la localisation) semblent correspondre aux témoignages recueillis (lors de la visite de terrain et articles de presse).

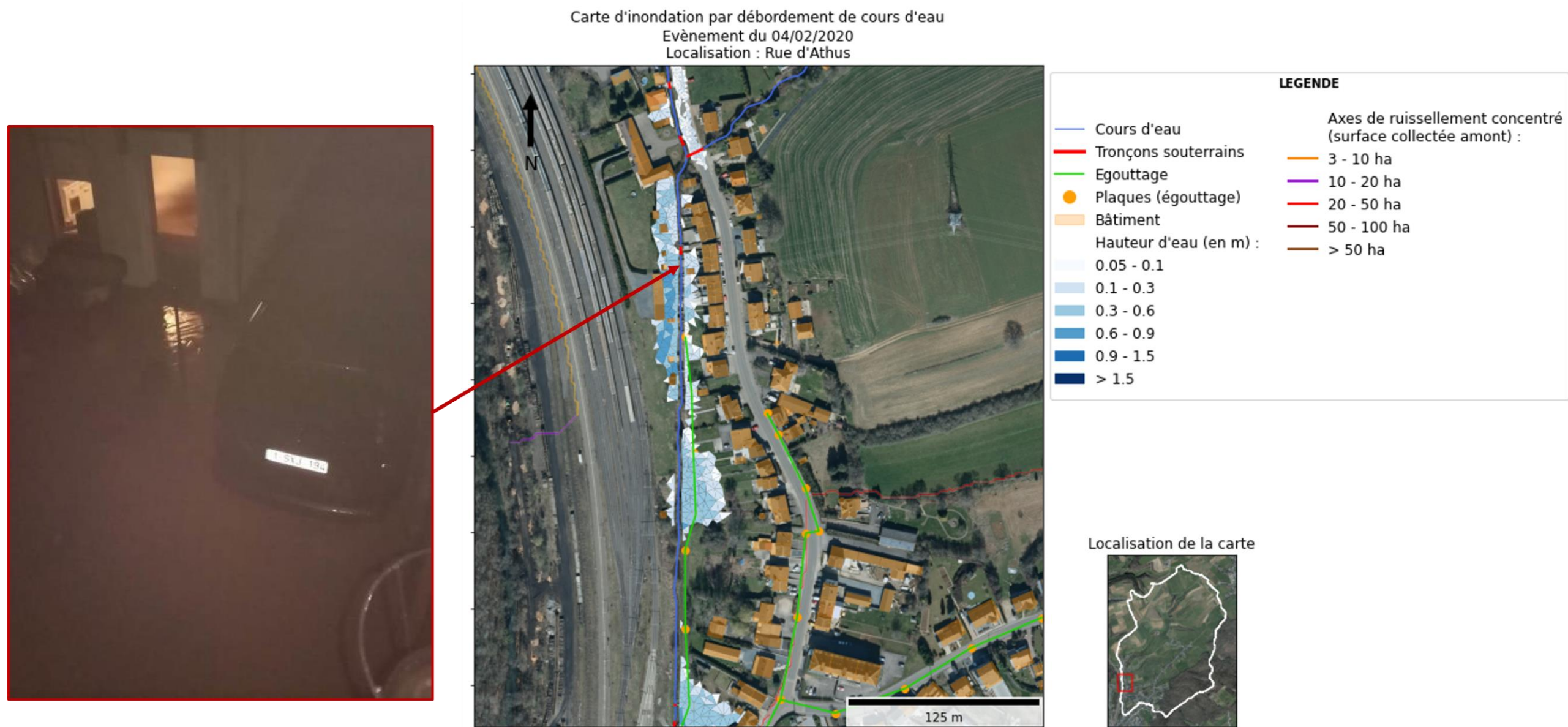


Figure 5-4 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation pour l'évènement du 4 février 2020 au niveau de la rue d'Athus.

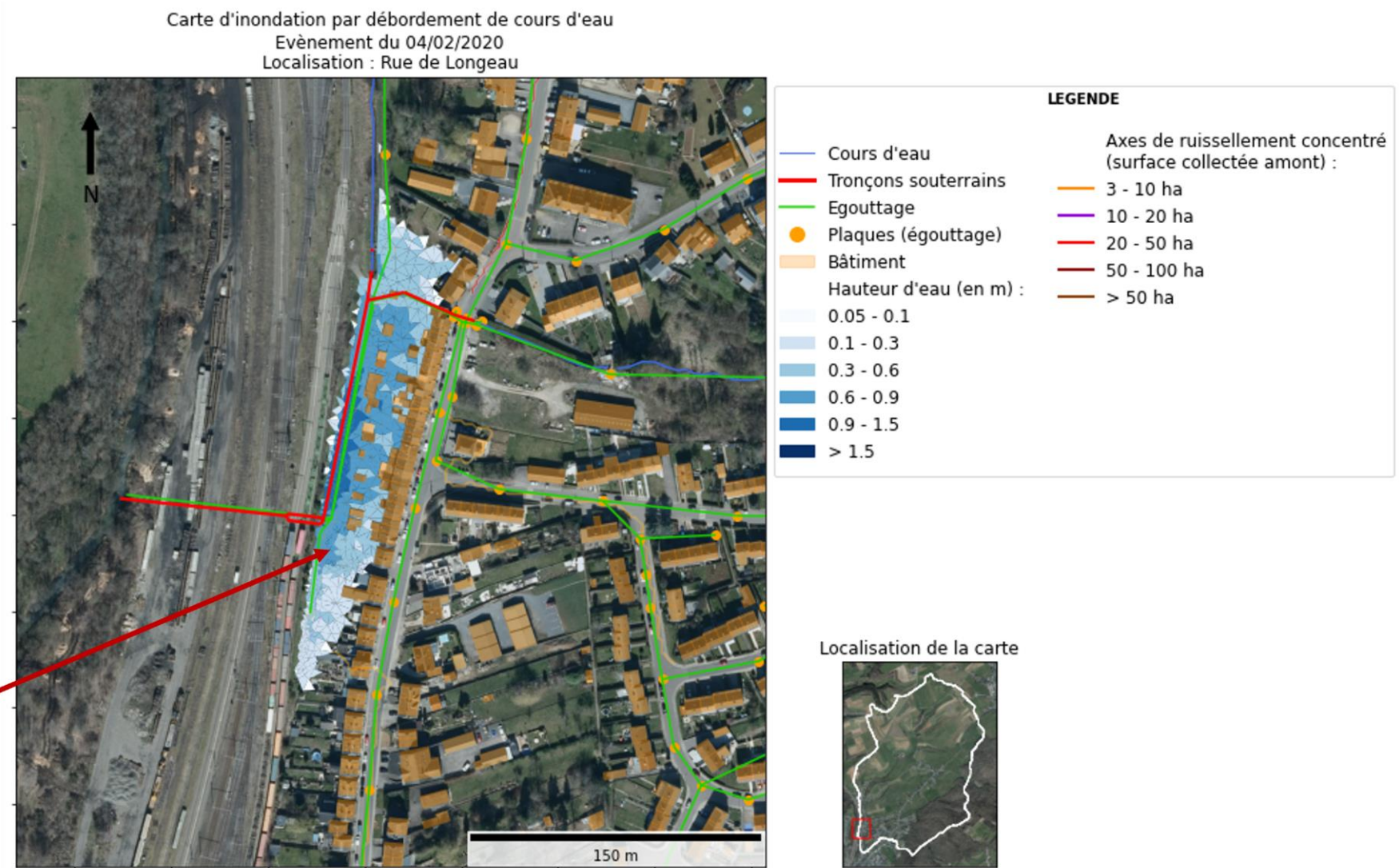


Figure 5-5 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation pour l'évènement du 4 février 2020 au niveau de la rue de Longeau.

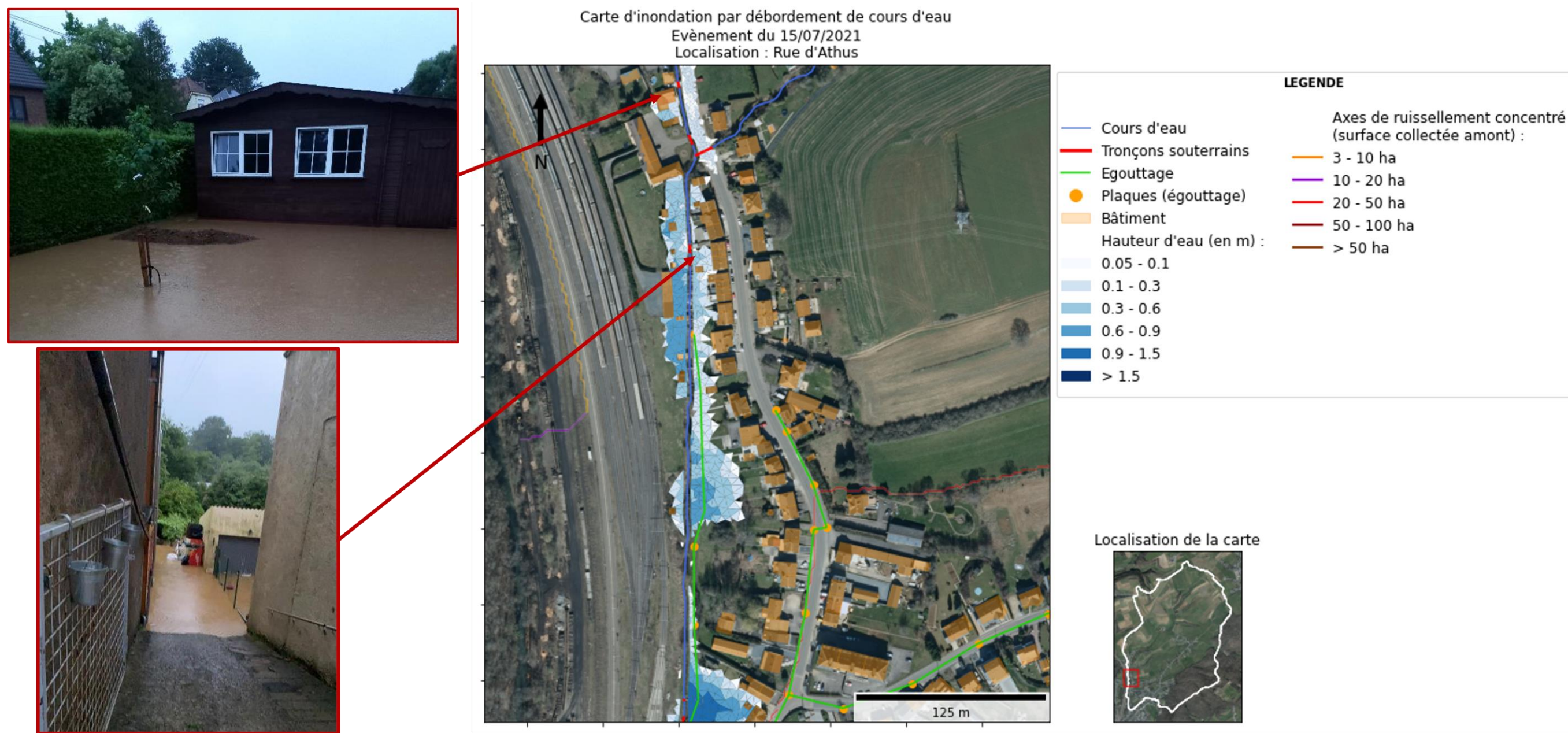


Figure 5-6 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation pour l'évènement du 14-15 juillet 2021 au niveau de la rue d'Athus.

5.5.3 Validation du modèle sur base d'évènements synthétiques

Les résultats de simulation pour les périodes de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans ont été générés sans considérer d'effet aval de la Messancy au sein du modèle (évalué ci-dessous). Trois zones principales ont été délimitées pour présenter les résultats sous forme de cartes :

- La rue de Longeau (Figure 5-7) ;
- La rue de Guerlange (partie amont) et la rue Belle-Vue (Figure 5-8) ;
- La rue de Guerlange (partie aval) et l'avenue des Chasseurs Ardennais (Figure 5-9).

A noter que les zones susceptibles d'être inondées plus en amont sur le Wasser Grund, au niveau de la commune de Messancy (rue d'Athus, place de Longeau, etc.), ne sont pas reprises ici car déjà couvertes par la récente étude centrée sur cette partie du territoire.

Au niveau de la rue de Longeau, principal point noir de la zone d'intérêt, ces résultats sont alignés avec les témoignages recueillis auprès des riverains, des acteurs locaux et/ou des gestionnaires du cours d'eau qui tendent à indiquer que cette zone à enjeux est relativement sensible vis-à-vis du risque d'inondation, avec :

- Des débordements notables pour des événements de faible période de retour (10 ans), susceptibles de toucher les annexes des maisons situées à l'arrière de la rue de Longeau (débordement du réseau d'égouttage).
- Des débordements importants pour des événements de période de retour de 15 ans, touchant un grand nombre d'habitations rue de Longeau ;
- Pour les événements plus extrêmes (périodes de retour de 25, 50 et 100 ans), les débordements s'accroissent significativement tant en termes d'emprises (nombre de maisons touchées) que de sévérité (hauteur d'eau au droit des maisons touchées).

Au niveau de la rue de Guerlange (partie amont), le modèle semble surestimer un peu les débordements attendus, avec des maisons déjà touchées pour des périodes de retour de 10-15 ans (débordement du réseau d'égouttage reprenant les cours d'eau non classés en provenance de l'amont). Cette surestimation peut s'expliquer par le modèle hydrologique qui « pénalise » fortement les zones argileuses (production de ruissellement accentué). La zone argileuse étant couverte par une forêt, il est possible que la production de ruissellement y soit en réalité moins importante (via une structuration importante du sol par exemple).

Au niveau de la rue de Guerlange (partie aval), l'avenue des Chasseurs Ardennais et la rue de Belle-Vue, le modèle semble aligné avec les témoignages recueillis. En effet, en dehors des périodes de retour extrêmes (égales ou supérieures à 25 ans) pour lesquelles quelques habitations sont touchées, le modèle ne simule pas de débordements significatifs du cours d'eau et/ou du réseau d'égouttage.

5.5.4 Conclusion

Sur base des résultats de validation obtenus (pour les événements de Février 2020 et Juillet 2021 ainsi que les événements synthétiques), le modèle a été jugé comme suffisamment robuste et représentatif par les experts locaux et les gestionnaires du cours d'eau.

5.6 Cartes d'inondation pour différentes périodes de retour

Les cartes d'inondations pour les périodes de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans sont présentées ci-dessous (Figure 5-7 et Figure 5-9). Les cartes relatives aux autres périodes de retour simulées sont disponibles en annexe.



Figure 5-7 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation au niveau de la rue de Longeau (pour les pluies synthétiques de période de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans).

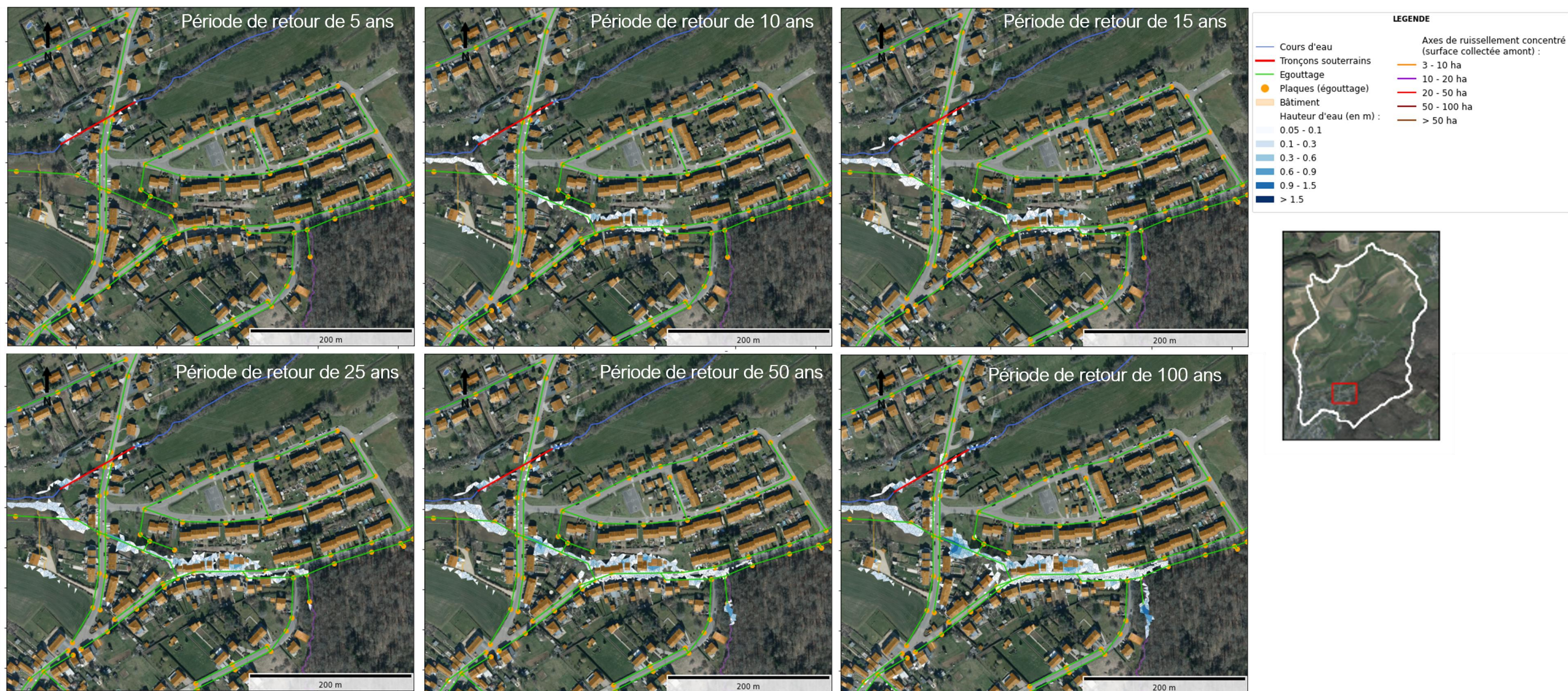


Figure 5-8 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation au niveau de la rue de Guerlange et de la rue Belle-Vue (pour les pluies synthétiques de période de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans).

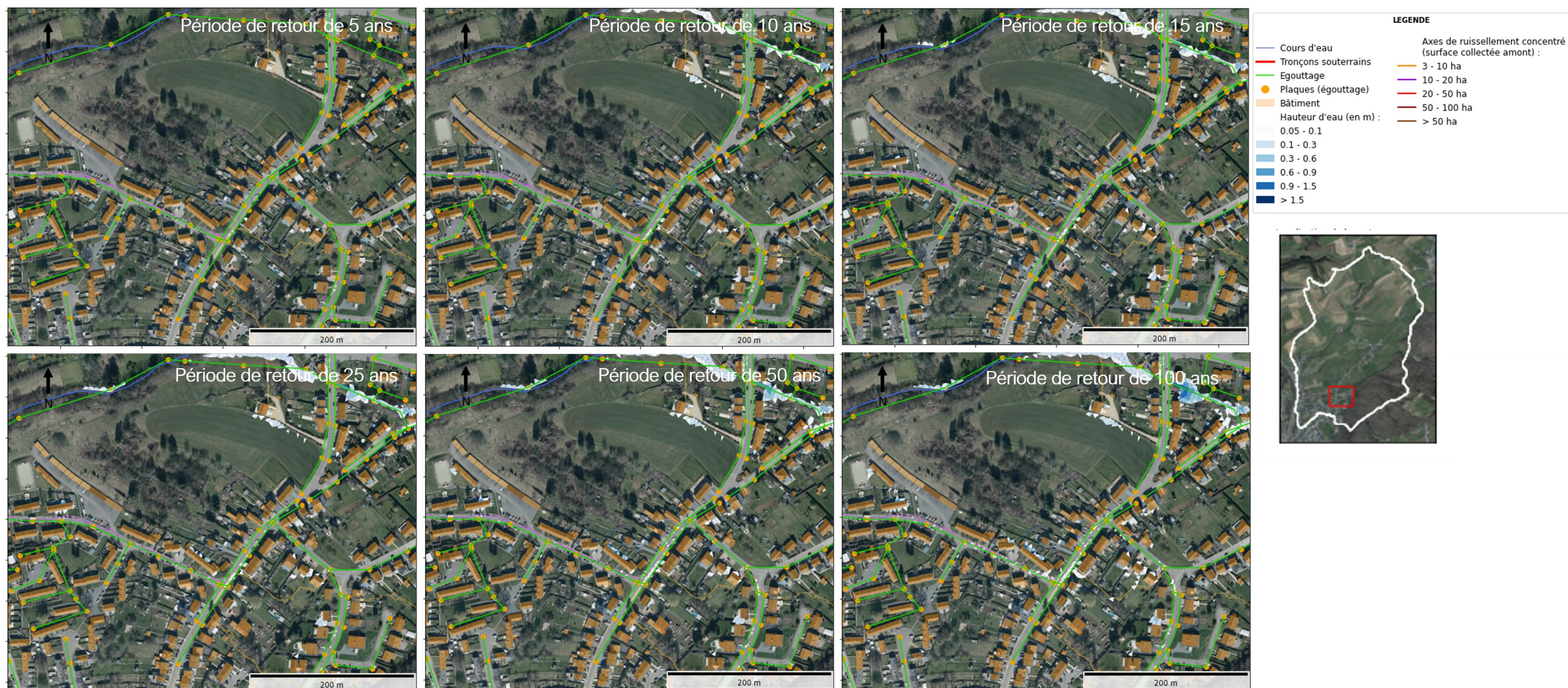


Figure 5-9 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation au niveau de la rue de Guerlange et de l'Avenue des Chasseurs Ardennais (pour les pluies synthétiques de période de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans).

6 Construction et validation du modèle 2D intégrale de la situation existante

Afin d'évaluer le risque d'inondation à l'échelle du bassin versant, ce compris la représentation du ruissellement direct, le recours à un modèle hydrologique-hydraulique 2D intégrale est essentiel. En effet, cette approche de modélisation permet de déterminer la quantité de ruissellement générée en tout point de la zone d'étude considérée et d'évaluer comment ce ruissellement va transiter vers et au sein du cours d'eau. Cela permet de générer des informations pertinentes par rapport à la localisation des axes de ruissellement principaux, les hauteurs d'eau, les débits de pointe et les zones d'accumulation des eaux en tout point du bassin versant. Dans le cadre de cette étude, ce modèle a été construit via le logiciel de modélisation InfoWorks-ICM.

Concrètement, cette approche consiste à appliquer une pluie en tout point de la zone d'étude sur un maillage bidimensionnel représentatif de la topographie existante. La génération du ruissellement (fonction de production) s'effectue via l'application de coefficients de ruissellement sur chaque maille du modèle (ces coefficients varient en fonction de l'occupation du sol). Le transfert des écoulements vers l'exutoire du bassin versant s'effectue grâce au routage hydraulique au sein du maillage bidimensionnel. Ce routage est fonction de la topographie (direction des écoulements) et de la rugosité propre à chaque maille du modèle (coefficient de rugosité de Manning variant en fonction de l'occupation du sol).

6.1 Modélisation intégrée hydrologique-hydraulique

Le modèle hydrologique-hydraulique 2D construit dans le cadre de cette étude repose sur :

- La génération d'un maillage 2D sur base du modèle numérique de terrain (MNT) avec une résolution spatiale fine (maille de 5-50 m²) permettant de correctement représenter la topographie ;
- La paramétrisation des coefficients de ruissellement variant en fonction de l'occupation du sol pour correctement représenter les volumes ruisselés (Tableau 6-1) ;
- La paramétrisation des coefficients de rugosité (n de Manning) variant en fonction de l'occupation du sol pour correctement représenter l'écoulement en fonction du type de surface (Tableau 6-2) ;
- L'inclusion des bâtiments et des routes pour correctement représenter leurs effets sur les écoulements.

Tableau 6-1 : Valeurs de CR considérées pour chaque type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Coefficient de ruissellement
Forêt	0.20
Route	0.90
Rivière	1
Bâtiment	0.90
Prairie/Culture	0.30

Tableau 6-2 : Valeurs de n considérées pour chaque type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	n de Manning
Forêt	0.075
Route	0.04
Rivière	0.02
Bâtiment	0.04
Prairie/Culture	0.06

6.2 Validation du modèle 2D intégrale

Le modèle 2D construit dans le cadre de cette étude n'a pas fait l'objet d'une validation exhaustive car aucune donnée historique (photos, etc.) n'était disponible pour appuyer cette dernière. Par ailleurs, aucun problème structurel d'inondation liée à du ruissellement direct ont été documentés et/ou rapportés par les acteurs locaux et/ou gestionnaires du cours d'eau en ce qui concerne le territoire de la commune d'Aubange (des problèmes localisés liés à du ruissellement direct avait été documentés et correctement représentés par le modèle lors de l'étude précédente).

En absence de données de validation, cette dernière s'est effectuée via :

- La comparaison avec les emprises d'inondation simulées avec le modèle 1D-2D (validé de façon plus robuste comme décrit ci-avant) ;
- La comparaison avec les axes de ruissellement concentré dérivés de la couche LIDAXES de la Région Wallonne.

Dans l'ensemble, il apparaît que le modèle 2D est relativement cohérent en comparaison avec les résultats de simulation obtenus avec le modèle 1D-2D. Les divergences observées s'expliquent notamment par une intégration plus grossière des ouvrages (et l'absence de calibration avancée des paramètres de production de ruissellement). Par ailleurs, il reproduit bien tous les axes de ruissellement concentré renseignés par la couche LIDAXES.

6.3 Cartes d'inondation pour différentes périodes de retour

Les cartes d'inondations (2D sur l'ensemble du bassin versant) pour les périodes de retour de 5, 10, 25, 50 et 100 ans sont fournies en annexe à ce rapport (format numérique avec une haute résolution pour pouvoir appréhender chaque zone du bassin versant).

7 Diagnostic hydrologique-hydraulique pour l'état existant

Le diagnostic hydrologique-hydraulique pour la situation de référence (état existant) s'effectue sur base des résultats de simulation avec les pluies composites relatives à des périodes de retour allant de 5 à 100 ans. Ce diagnostic vise à fournir une vision globale de la problématique des inondations, notamment via l'analyse :

- Du nombre d'enjeux touchés par les inondations en fonction de la période de retour ;
- De l'impact des ouvrages sur l'écoulement dans le Wasser Grund et le Wahleschgracht (notamment à l'aval, au niveau du puits de Longeau) ;
- De l'impact du réseau d'égouttage sur les inondations ;
- De l'effet aval de la Messancy sur l'écoulement du Wasser Grund et du Wahleschgracht.

Cette analyse se concentre sur les inondations par débordement de cours d'eau et/ou du réseau d'égouttage.

7.1 Analyse des enjeux touchés par les inondations en fonction de la période de retour

Cette première partie du diagnostic vise à déterminer le nombre d'enjeux (habitations/bâtiments) touchés et la sévérité de l'impact des inondations sur ces derniers. L'idée est de fournir une idée du niveau de risque auquel les habitants sont exposés.

Cette analyse repose sur l'analyse des résultats de simulation du modèle 1D-2D pour des périodes de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans. Concrètement, via une approche cartographique, sont recensés :

- Le nombre d'habitations touchées par les inondations ;
- La hauteur d'eau maximale simulée au droit des habitations touchées.

Cinq catégories de hauteurs d'eau sont considérées afin de synthétiser l'information sous forme de graphique :

- 5 cm – 10 cm ;
- 10 cm – 30 cm ;
- 30 cm – 60 cm ;
- 60 cm – 90 cm ;
- > 90 cm.

Les hauteurs d'eau au droit des maisons qui sont inférieures à 5 cm ne sont pas considérées dans l'analyse.

Il est important de noter qu'avec la méthodologie retenue, **l'impact des inondations est minoré au niveau des habitations localisées en rive gauche du Wasser Grund le long de la rue d'Athus**, notamment car :

- Seules les limites des habitations principales sont considérées, ce qui exclut un certain nombre de garage et/ou annexes particulièrement à risque (car situés à proximité du Wasser Grund) ;
- Les inondations des caves, ne peuvent être correctement modélisées et donc, prises en considération (des emprises et hauteurs d'eau plus faibles sont susceptibles de les inonder mais les points/niveaux d'entrée d'eau ne sont pas connus).

Les résultats sont présentés à la Figure 7-1. En faisant abstraction de la première catégorie de hauteur (5-10 cm) pour laquelle pas ou peu de dommages sont attendus, ils confirment que :

- Peu d'enjeux sont sujets à des inondations récurrentes (période de retour de 5 à 10 ans), ce qui doit être nuancé par la minoration potentielle des impacts rue d'Athus. En effet, certaines annexes des habitations localisées très près du cours d'eau (et potentiellement certaines caves dépendamment de leur point d'entrée d'eau) sont déjà touchées pour ces faibles périodes de

retour (surtout à partir d'une période de retour de 10 ans). Cela ne transparait pas à travers ce résultat en raison de la méthodologie retenue (voir ci-avant). Par ailleurs, comme discuté ci-après, le cours de la Messancy peut, en fonction de son niveau, significativement augmenter le nombre d'habitations touchées rue de Longeau pour ces plus faibles périodes de retour ;

- Dès que les débordements deviennent légèrement plus significatifs, sans pour autant être générés par des événements extrêmes (période de retour de 15 ans), un nombre conséquent d'enjeux (une trentaine) sont susceptibles d'être touchés avec des hauteurs d'eau importantes (supérieures à 30 cm) ;
- Pour des périodes de retour plus extrêmes (25 – 100 ans), le nombre d'enjeux touchés continue d'augmenter et la sévérité de l'impact augmente sensiblement.

Sans considérer les périodes de retour plus extrêmes, pour lesquelles des dommages importants sont attendus, ces résultats confirment la sensibilité de la zone d'intérêt au risque d'inondation par débordement de cours d'eau.

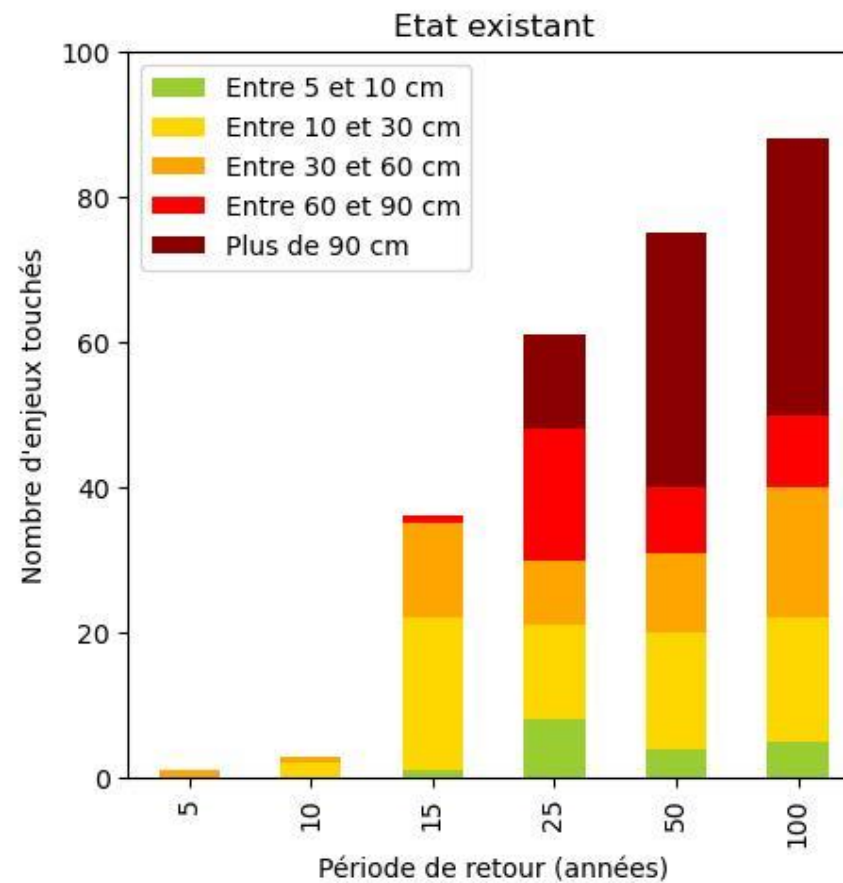


Figure 7-1 : Graphique présentant le nombre d'enjeux (habitations) touchés et la sévérité de l'impact des inondations (exprimé en classe de hauteurs d'eau maximales simulées au droit des enjeux). Les résultats sont dérivés d'une analyse des simulations du modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D pour des périodes de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans.

7.2 Impact des ouvrages sur l'écoulement du Wasser Grund et du Wahleschgracht

Cette deuxième partie du diagnostic vise à évaluer le rôle potentiel de certains ouvrages (ponts, pertuis) situés sur l'écoulement et les débordements du Wasser Grund et du Wahleschgracht. Concrètement, les résultats du modèle 1D-2D sont analysés via des profils en travers du cours d'eau et une analyse dynamique de la séquence des débordements pour évaluer :

- Le débit seuil de débordement (pour lequel des habitations sont touchées) ;
- Si un ouvrage provoque un rehaussement de la ligne d'eau à l'amont de celui-ci ;
- Si ce rehaussement est susceptible de générer des débordements ;
- Pour quel débit l'ouvrage génère ces débordements ;
- Comment ces débordements transitent vers l'aval.

En ce qui concerne le Wasser Grund, cette partie de l'analyse se concentre uniquement sur la partie aval (au niveau de son entrée dans le pertuis de Longeau), le diagnostic hydraulique sur la partie amont ayant déjà été couvert lors d'une étude récente (reposant sur le même modèle pour cette partie de la zone d'intérêt).

En complément de l'analyse sur les cours d'eau, le réseau d'égouttage modélisé fait également l'objet d'un diagnostic.

La Figure 7-2, la Figure 7-3, la Figure 7-4, la Figure 7-5 et la Figure 7-6 présentent des profils en long pour les principaux ouvrages et portions du réseau d'égouttage d'intérêt pour des périodes de retour variant de 10 à 25 ans (en fonction de l'ouvrage considéré). La Figure 7-7, Figure 7-8, Figure 7-9 et illustrent l'analyse réalisée plus spécifiquement sur les débordements des cours d'eau et du réseau d'égouttage (origine, vitesse et direction). La Figure 7-10 compare les apports (volume, débit et timing du pic) du Wasser Grund, du Wahleschgracht et du réseau d'égouttage sur l'aval de la zone d'étude (au niveau de la rue de Longeau).

L'analyse des résultats des différentes simulations montre au niveau de la zone d'étude (de l'aval vers l'amont) que :

- Au niveau du Wasser Grund, des débordements surviennent en rives gauche (principalement) et droite en amont du pertuis de Longeau du fait de la capacité limitante de ce dernier (voir Figure 7-2). Cet ouvrage occasionne des débordements à partir d'un débit de l'ordre de 4-5 m³/s. Cela correspond au débit généré par une pluie de période de retour entre 10 et 15 ans. A noter que ces débordements pourraient survenir pour des périodes de retour plus faibles en cas d'embâcles, notamment au niveau de la première grille (située en amont du dégrilleur).
- Au niveau du Wahleschgracht, des débordements surviennent au droit du pertuis du fait de la capacité limitante de ce dernier (voir Figure 7-3). Cet ouvrage occasionne des débordements à partir d'un débit de l'ordre de 2-3 m³/s. Cela correspond au débit généré par une pluie de période de retour entre 15 et 25 ans. A noter que ces débordements pourraient survenir pour des périodes de retour plus faibles en cas d'embâcles, qui sont favorisées par la configuration de l'entrée du pertuis (grille).
- En amont du pertuis de Longeau, des débordements surviennent également en rive gauche sur le Wahleschgracht. Ces débordements sont susceptibles de toucher des bâtiments, mais également de transiter jusqu'à la rue de Longeau (voir Figure 7-7). Ces débordements s'observent à partir d'un débit de l'ordre de 2-3 m³/s. Cela correspond au débit généré par une pluie de période de retour entre 15 et 25 ans. Là encore, il est important de noter que ces débordements pourraient survenir pour des périodes de retour plus faibles en cas d'embâcles.
- La portion du réseau d'égouttage située à l'arrière de la rue de Longeau sature et déborde en surface pour des événements de période de retour de 10 ans ou supérieure (voir Figure 7-4). Ces débordements sont directement liés à la saturation du pertuis de Longeau qui limite l'évacuation des eaux pluviales du réseau d'égouttage vers ce dernier (via un déversoir

d'orage). Les réseaux d'égouttage étant généralement dimensionnés pour des périodes de retour de 10 ans, ces résultats suggèrent que cette portion du réseau d'égouttage est quelque peu sous-dimensionnée.

- La portion du réseau d'égouttage située au niveau de la rue de Longeau sature et déborde en surface pour des événements de période de retour de 15 ans ou supérieure (voir Figure 7-5). Ces débordements sont directement liés à la saturation du puits de Longeau qui limite l'évacuation des eaux pluviales du réseau d'égouttage vers ce dernier (via un ensemble de déversoirs d'orage). Les réseaux d'égouttage étant généralement dimensionnés pour des périodes de retour de 10 ans, ces résultats n'indiquent pas de problème majeur de dimensionnement à proprement parler. Il est important de noter que la restriction (D300) représentée sur la Figure 7-5 est conceptuellement voulue/nécessaire : elle fait partie intégrante d'un déversoir d'orage permettant de rediriger le surplus dû aux eaux pluviales vers le puits de Longeau.
- Le puits de Longeau est un « nœud » hydraulique où convergent les apports du Wasser Grund, du Wahleschgracht et du réseau d'égouttage. La Figure 7-10 compare ces différents apports pour des périodes de retour de 5 et 25 ans. Elle permet de mieux cerner la dynamique temporelle de ces différents apports : ce sont les apports du réseau d'égouttage qui arrivent en premier, très rapidement suivis par ceux du Wahleschgracht (entre 10 et 30 min après), puis enfin ceux du Wasser Grund (environ 50 min après). Cette dynamique explique sans doute pourquoi le Wasser Grund est le principal « moteur » des débordements : son pic de débit survient lorsque le puits est déjà en partie saturé par le Wahleschgracht et les apports du réseau d'égouttage. Un autre élément important à cet égard sont les proportions respectives des différents apports, où là encore le Wasser Grund prédomine (environ 65 %, contre 25 % pour le Wahleschgracht et 10 % pour le réseau d'égouttage).
- La sévérité des inondations rue de Longeau s'explique également par la configuration du site : il s'agit d'une cuvette topographique d'où l'eau ne peut s'échapper qu'autrement qu'en passant par ledit puits. Cette configuration est due à la présence de la voie ferrée, qui obstrue le cheminement naturel de l'eau vers l'aval. Cette configuration accentue *de facto* la sévérité des inondations, l'eau ne pouvant circuler s'y accumule (voir Figure 7-7).
- Au niveau de la rue de Guerlange, des débordements du réseau d'égouttage sont simulés pour une période de retour de 10 ans (voir Figure 7-6). Ces débordements sont liés aux apports du bassin versant forestier en amont de la rue de Guerlange, qui sont évacués vers l'aval via le réseau. Comme expliqué précédemment, ces apports sont vraisemblablement surestimés par le modèle et il est probable que cette portion du réseau ne déborde en surface que pour des périodes de retour supérieures. La Figure 7-8 présente comment ces débordements transitent vers l'aval pour une période de retour de 25 ans.
- Au niveau de la rue Belle-Vue et l'Avenue des Chasseurs Ardennais, des débordements du réseau d'égouttage sont simulés pour une période de retour de 25 ans (voir Figure 7-8 et Figure 7-9). Les réseaux d'égouttage étant généralement dimensionnés pour des périodes de retour de 10 ans, ces résultats n'indiquent pas de problème de dimensionnement à proprement parler. Par ailleurs, ces débordements transitent vers l'aval via la route et ne semble pas affecter un grand nombre d'habitations lors de ce transfert.
- Le passage du Wahleschgracht sous puits au niveau de la rue de Belle-Vue ne semble pas générer de débordements susceptibles de toucher les habitations alentours, même pour des périodes de retour extrêmes (supérieures à 25 ans). Cela s'explique par la configuration des berges, relativement hautes à cet endroit (le puits se met rapidement en charge mais les berges ne sont pas atteintes). Cette analyse doit cependant être nuancée en cas d'embâcles.

Cette analyse tend à indiquer que c'est le puits de Longeau qui est le plus problématique des ouvrages vis-à-vis du risque d'inondation (en provoquant des débordements importants pour une période de retour de 15 ans). Par ailleurs, en dehors de l'arrière de la rue de Longeau, l'analyse ne montre pas de problème majeur au niveau du dimensionnement et de la configuration du réseau d'égouttage.

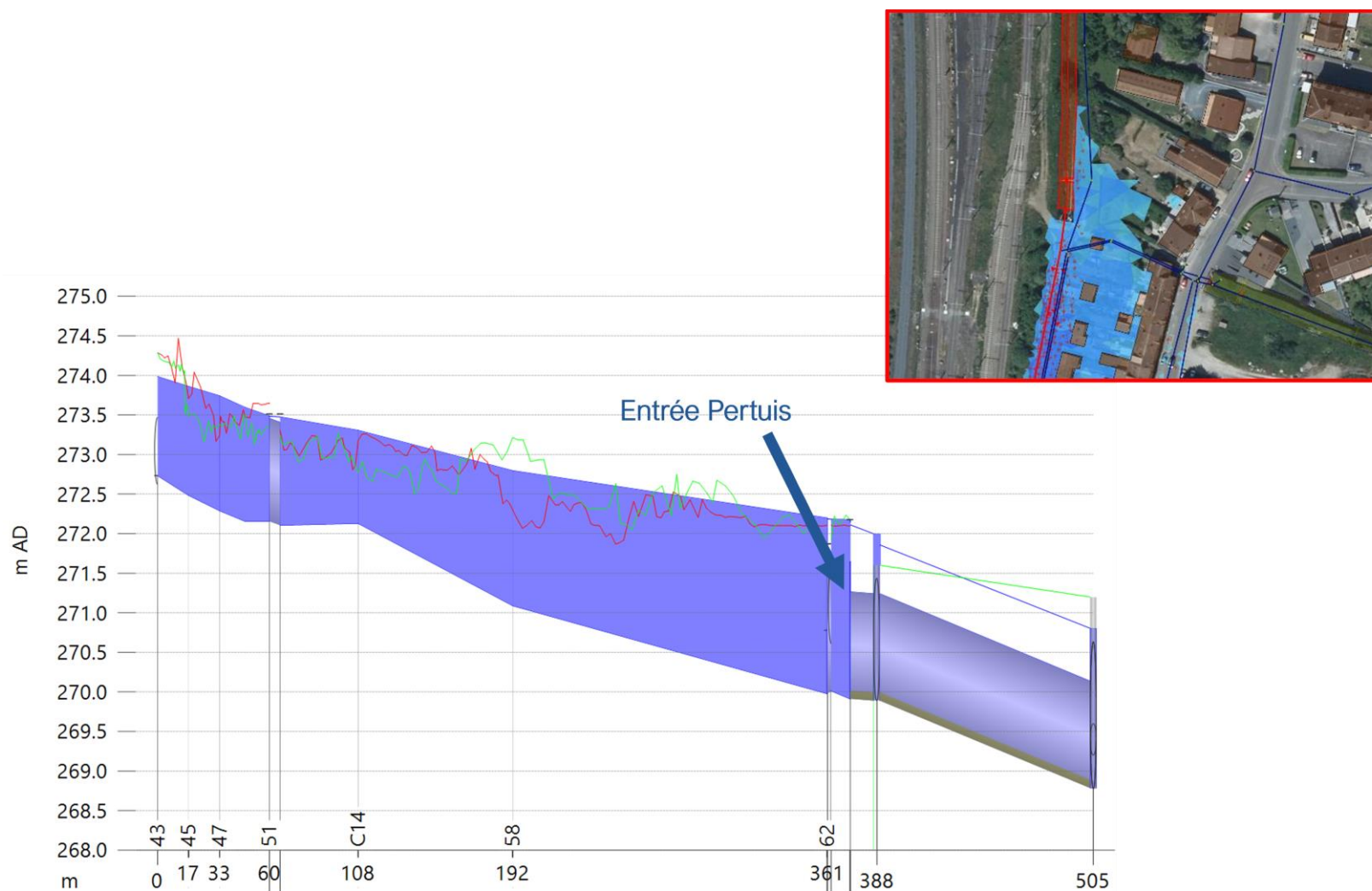


Figure 7-2 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation présentant le profil de la ligne d'eau (en bleu) du Wasser Grund lors des débordements simulés en rives gauche (en rouge) et droite (en vert) au niveau des rues d'Athus et de Longeau (pluie synthétique de période de retour de 15 ans, durée 4h). Le profil montre l'impact du puits sur la ligne d'eau.

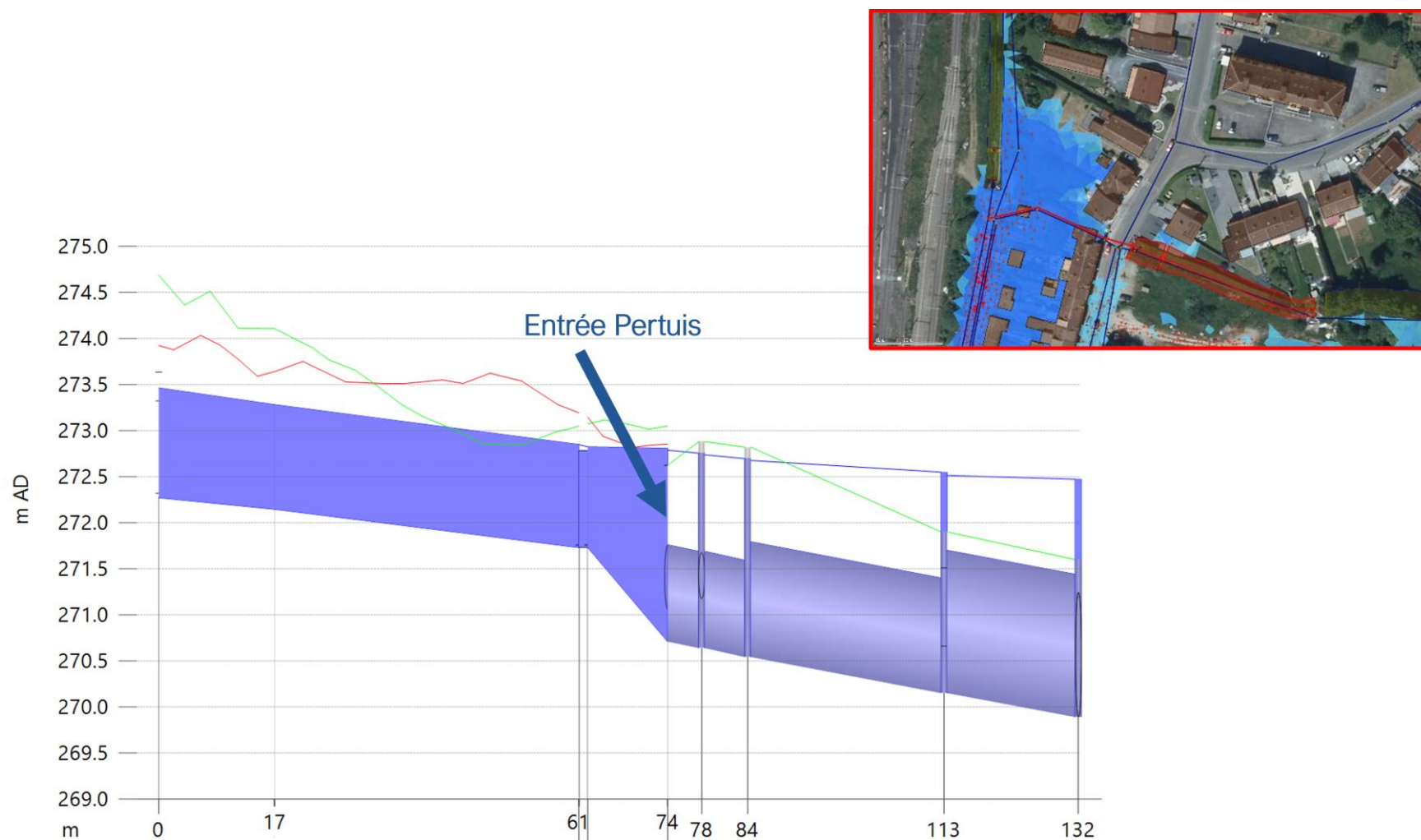


Figure 7-3 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation présentant le profil de la ligne d'eau (en bleu) du Wahleschgracht lors des débordements simulés en rives gauche (en rouge) et droite (en vert) au niveau de la rue de Longeau (pluie synthétique de période de retour de 25 ans, durée 4h). Le profil montre l'impact du pertuis sur la ligne d'eau.

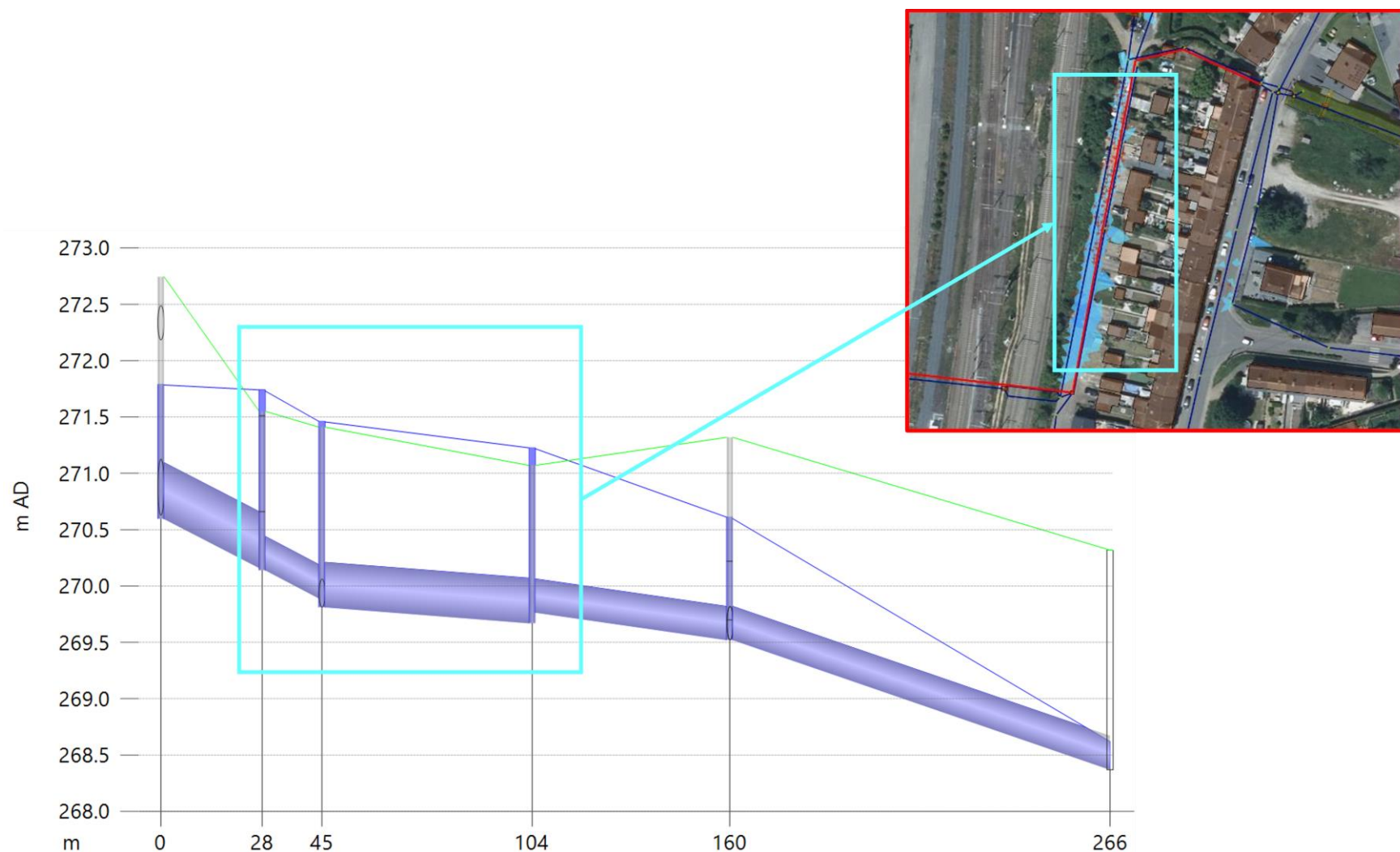


Figure 7-4 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation présentant le profil de la ligne d'eau (en bleu) au sein du réseau d'égouttage lors des débordements simulés à l'arrière de la rue de Longeau (pluie synthétique de période de retour de 10 ans, durée 4h). La ligne verte représente le niveau du terrain (MNT).

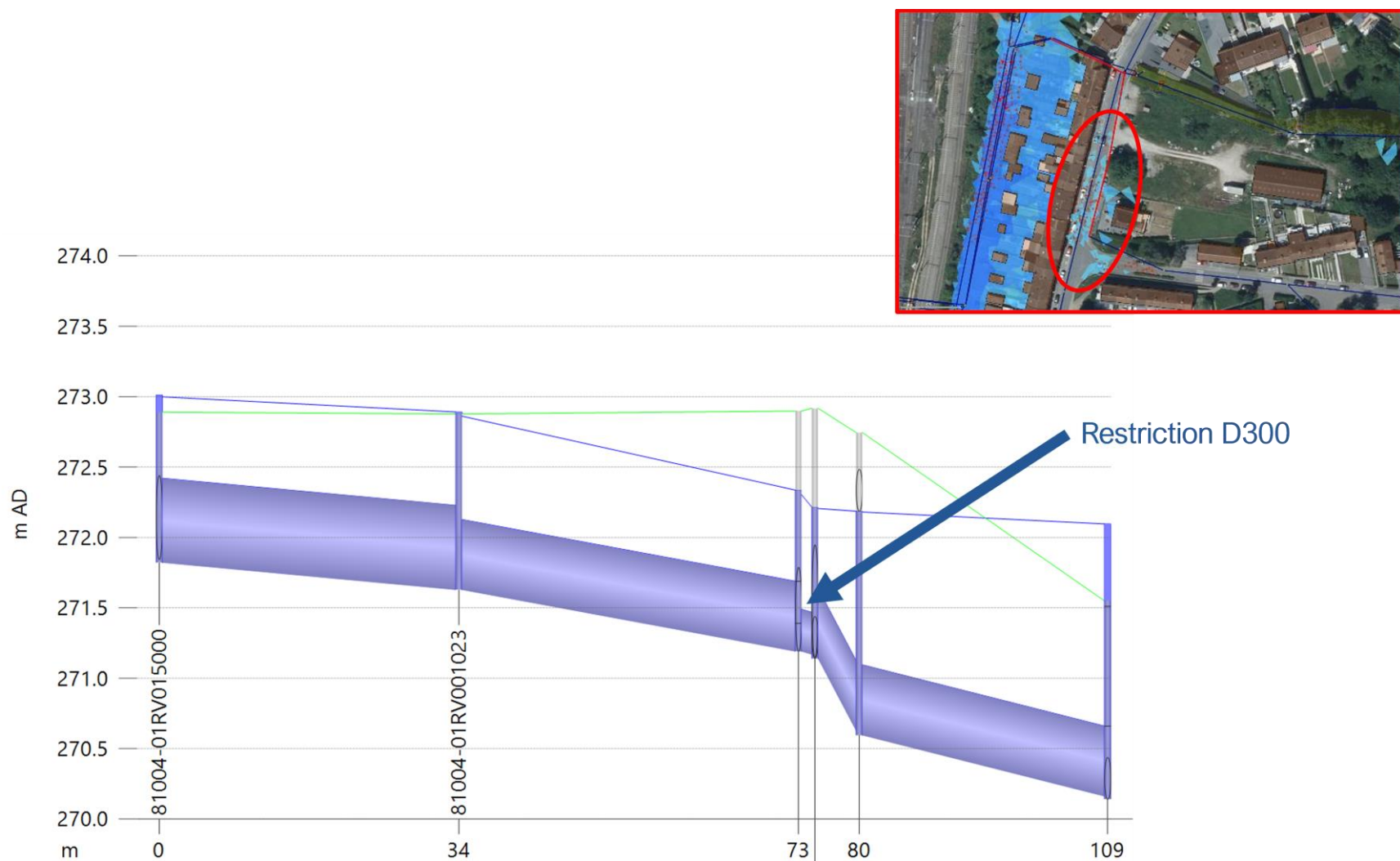


Figure 7-5 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation présentant le profil de la ligne d'eau (en bleu) au sein du réseau d'égouttage lors des débordements simulés au niveau de la rue de Longeau (pluie synthétique de période de retour de 15 ans, durée 4h). La ligne verte représente le niveau du terrain (MNT).

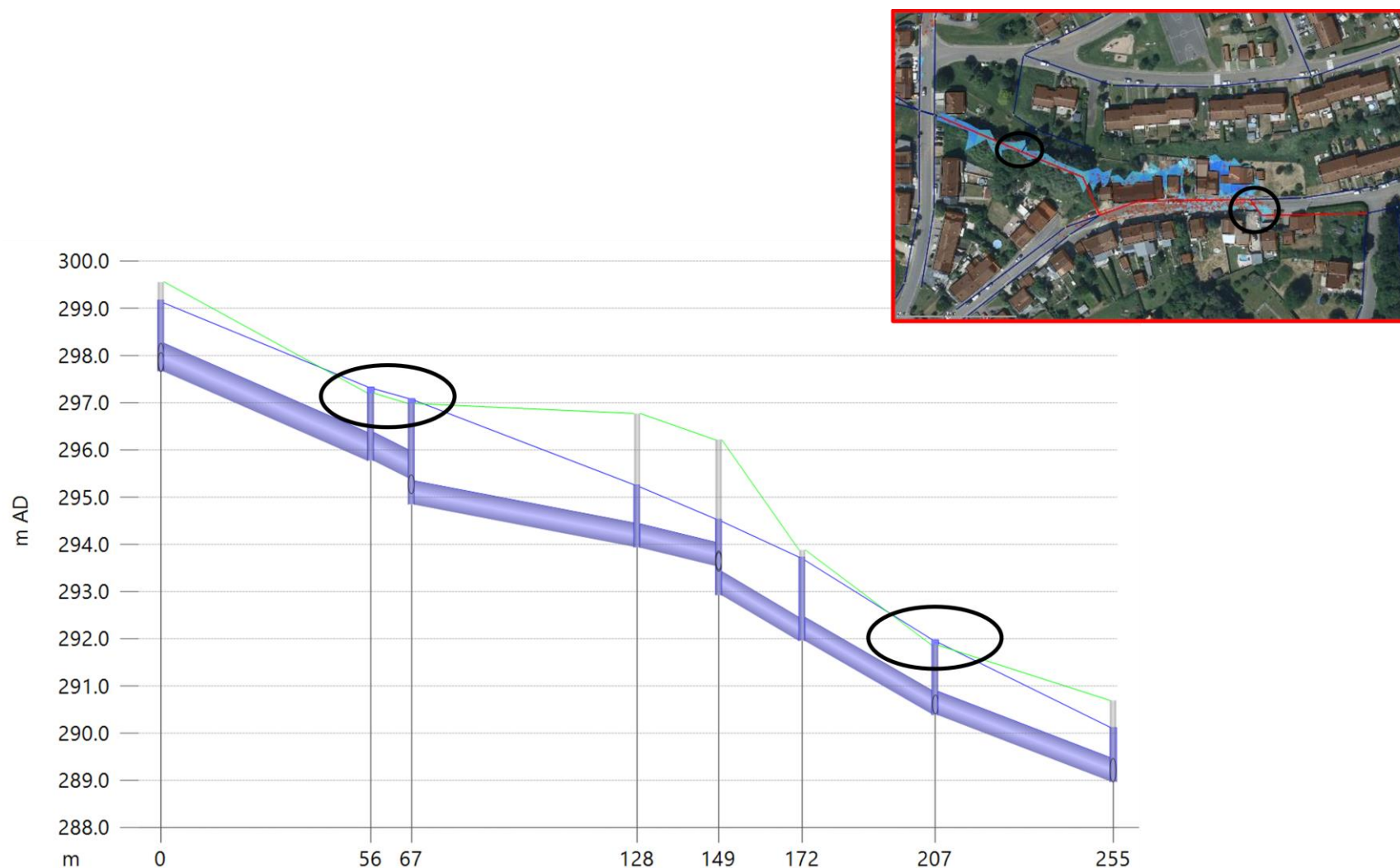


Figure 7-6 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique de la simulation présentant le profil de la ligne d'eau (en bleu) au sein du réseau d'égouttage lors des débordements simulés au niveau de la rue de Guerlange (pluie synthétique de période de retour de 15 ans, durée 4h). La ligne verte représente le niveau du terrain (MNT).

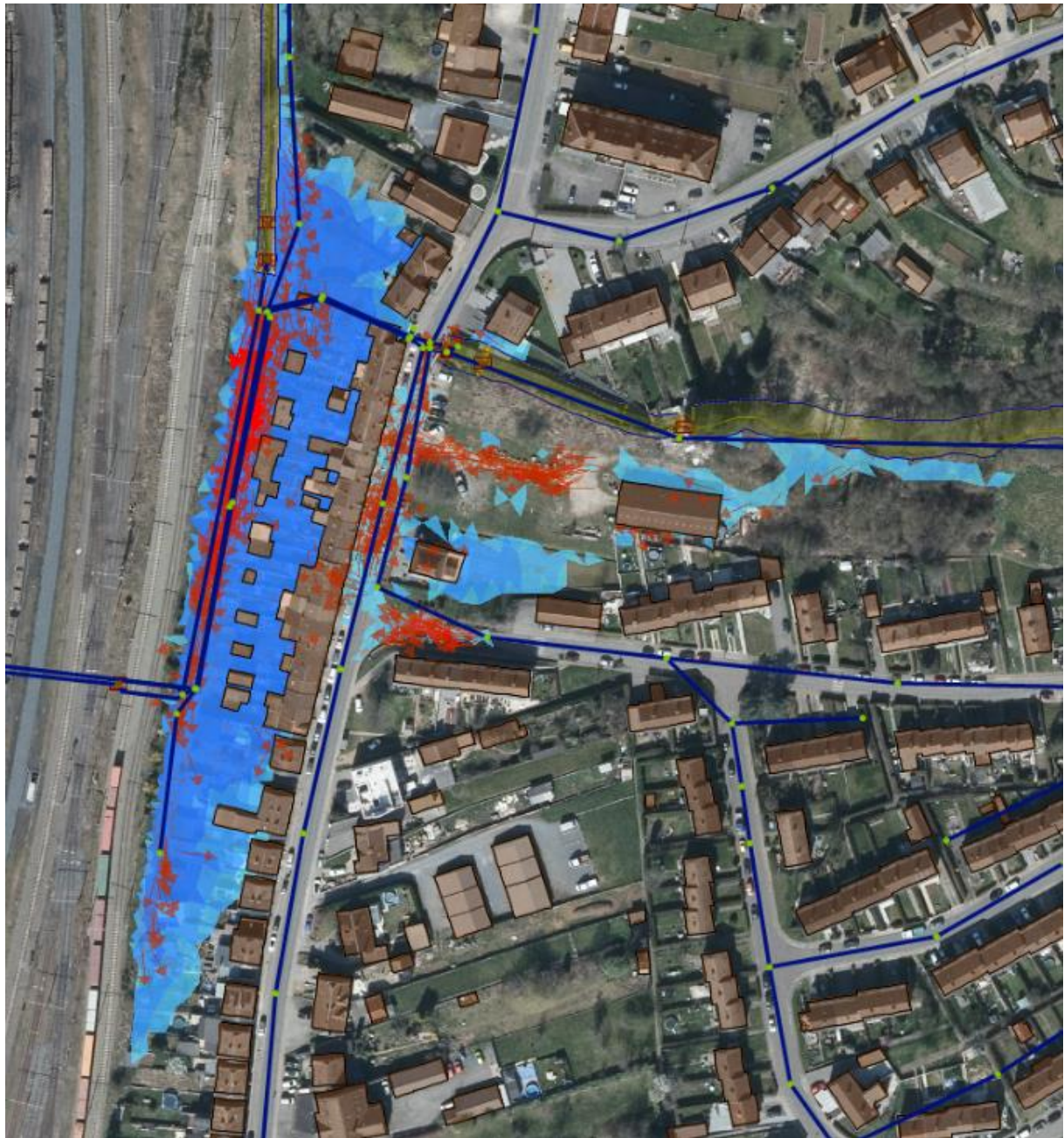


Figure 7-7 : Emprises des inondations au niveau de la rue de Longeau pour une pluie de période de retour de 25 ans. Les flèches rouges représentent les directions et vitesses d'écoulement associées aux débordements.



Figure 7-8 : Emprises des inondations au niveau de la rue de Guerlange et de la rue Belle-Vue pour une pluie de période de retour de 25 ans. Les flèches rouges représentent les directions et vitesses d'écoulement associées aux débordements.



Figure 7-9 : Emprises des inondations au niveau de l'Avenue des Chasseurs Ardennais pour une pluie de période de retour de 25 ans. Les flèches rouges représentent les directions et vitesses d'écoulement associées aux débordements.

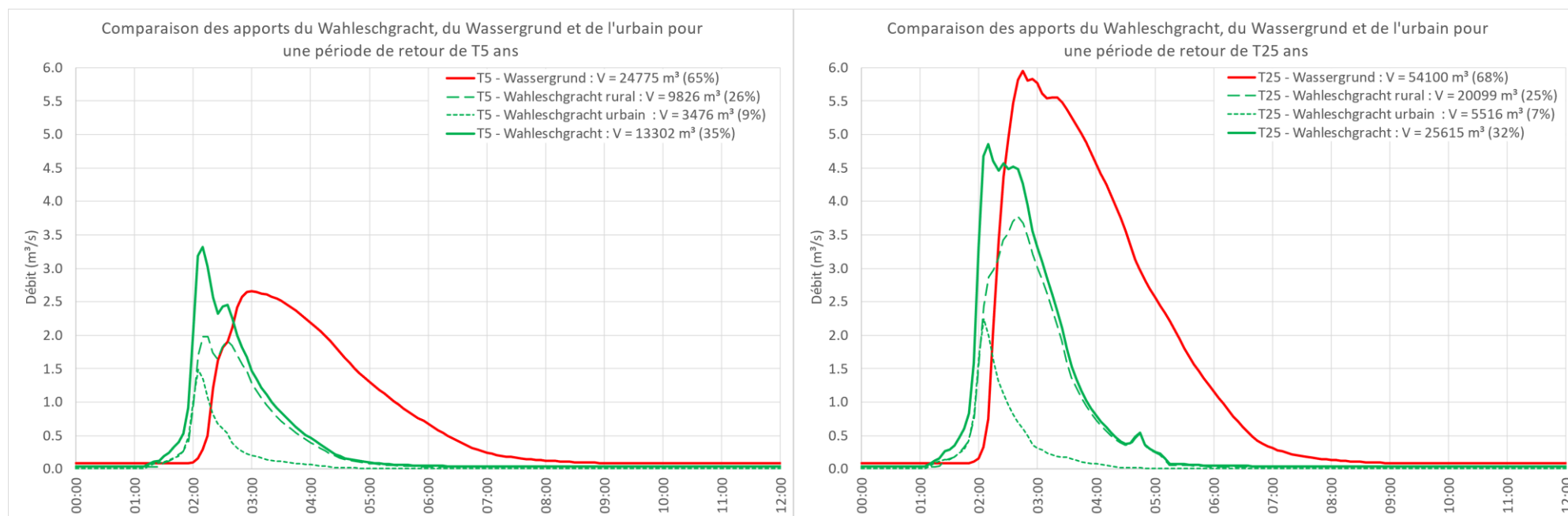


Figure 7-10 : Comparaison des apports (hydrogrammes de crue simulés via le modèle 1D-2D) du Wasser Grund, du Wahleschgracht et du réseau d'égouttage à l'aval (au niveau de la rue de Longeau) pour des périodes de retour de 5 et 25 ans (à gauche et à droite respectivement).

7.3 Impact de la Messancy sur l'écoulement du Wasser Grund

Cette troisième partie du diagnostic vise à évaluer le rôle potentiel de la confluence avec la Messancy (située à l'exutoire du puits de Longeau) sur l'écoulement et les débordements du Wasser Grund, du Wahleschgracht et du réseau d'égouttage. Cette analyse repose sur la comparaison des emprises d'inondations et des profils en travers du cours d'eau avec et sans effet aval de la Messancy.

Pour cette phase de diagnostic, comme décrit dans la section 5.3, la condition aval appliquée correspond à une crue de la Messancy d'une période de retour de 5 ans (~270.8 mDNG).

Comme le montre la Figure 7-11, la Figure 7-12, la Figure 7-13 et la Figure 7-14, l'impact du niveau de la Messancy est significatif :

- Il provoque une élévation importante de la ligne d'eau du Wasser Grund et du Wahleschgracht en amont du puits de Longeau ;
- Cette rehausse de la ligne d'eau augmente très sensiblement les débordements des deux cours d'eau et favorise la saturation du réseau d'égouttage. De ce fait, elle augmente sensiblement les inondations à l'aval du puits avec des inondations déjà notables pour une période de retour de 5 ans et très significatives pour une période de retour de 10 (alors qu'aucun ou peu de débordements ne sont observés pour ces périodes de retour sans effet aval de la Messancy) ;
- Les conséquences en termes de nombre d'enjeux touchés et sévérité de l'impact sont très marquées pour les périodes de retour de 10 à 25 ans, avec une augmentation systématique du nombre de bâtiments touchés et de la hauteur d'eau simulée au droit de ces derniers.

Cette analyse confirme un effet important de la confluence avec la Messancy sur l'écoulement et les débordements du Wasser Grund et du Wahleschgracht. Cela avait déjà été montré par l'étude sur les cours d'eau la Messancy (réalisée par Hydroscan SA/NV pour la DCENN) et le Wasser Grund (réalisée par Hydroscan SA/NV pour la commune de Messancy).

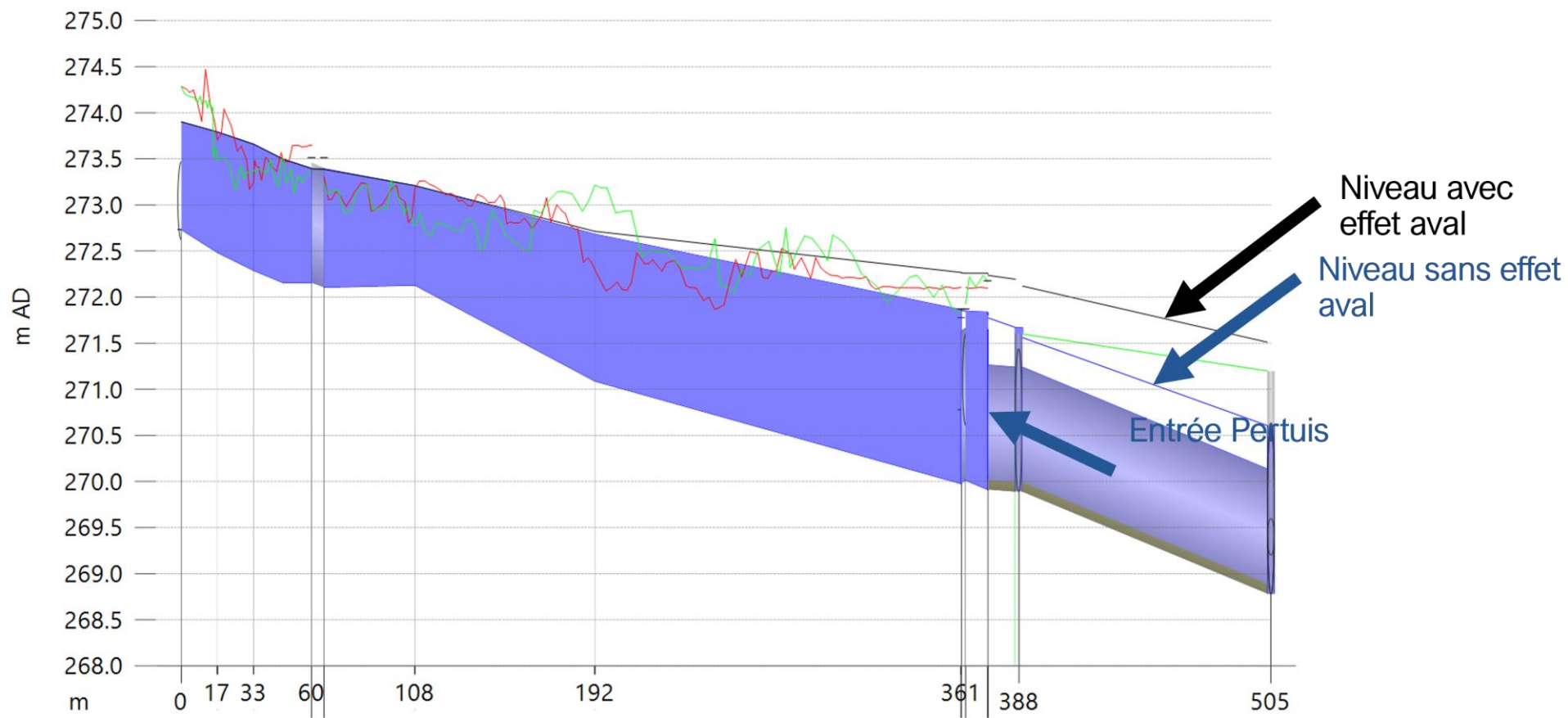


Figure 7-11 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique présentant le profil de la ligne d'eau du Wasser Grund avec (en noir) et sans (en bleu) effet aval de la Messancy lors des débordements simulés en rives gauche (en rouge) et droite (en vert) (pluie composite de période de retour de 10 ans, durée 4h). L'effet aval de la Messancy correspond à une hauteur d'eau de période de retour de 5 ans.

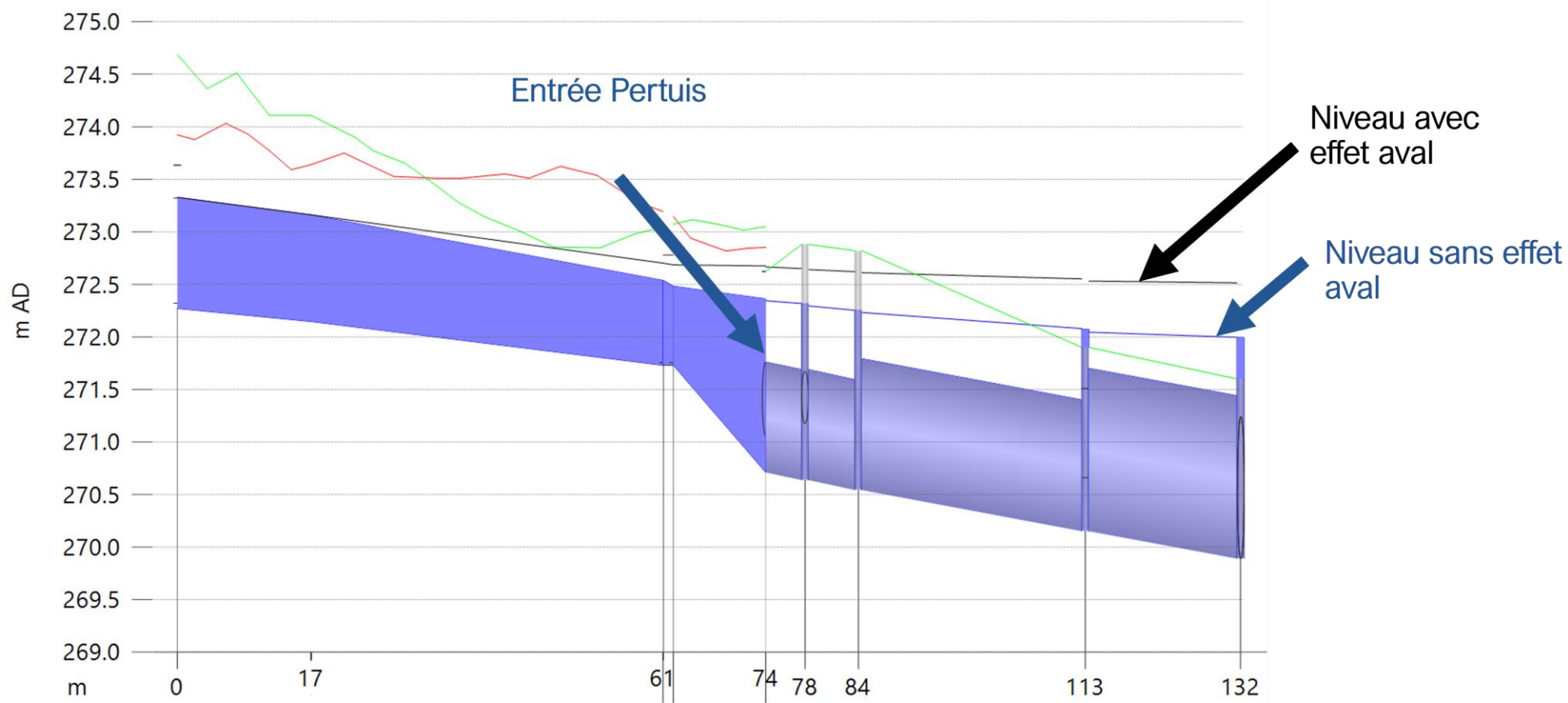


Figure 7-12 : Résultats de modélisation 1D-2D au moment le plus critique présentant le profil de la ligne d'eau du Wahleschgracht avec (en noir) et sans (en bleu) effet aval de la Messancy lors des débordements simulés en rives gauche (en rouge) et droite (en vert) (pluie composite de période de retour de 15 ans, durée 4h). L'effet aval de la Messancy correspond à une hauteur d'eau de période de retour de 5 ans.



Figure 7-13 : Comparaison des emprises des inondations pour une pluie de période de retour de 5 et 10 ans rue de Longeau, en considérant (en rouge) ou non (en vert) un effet aval de la Messancy. L'effet aval de la Messancy correspond à une hauteur d'eau de période de retour de 5 ans.

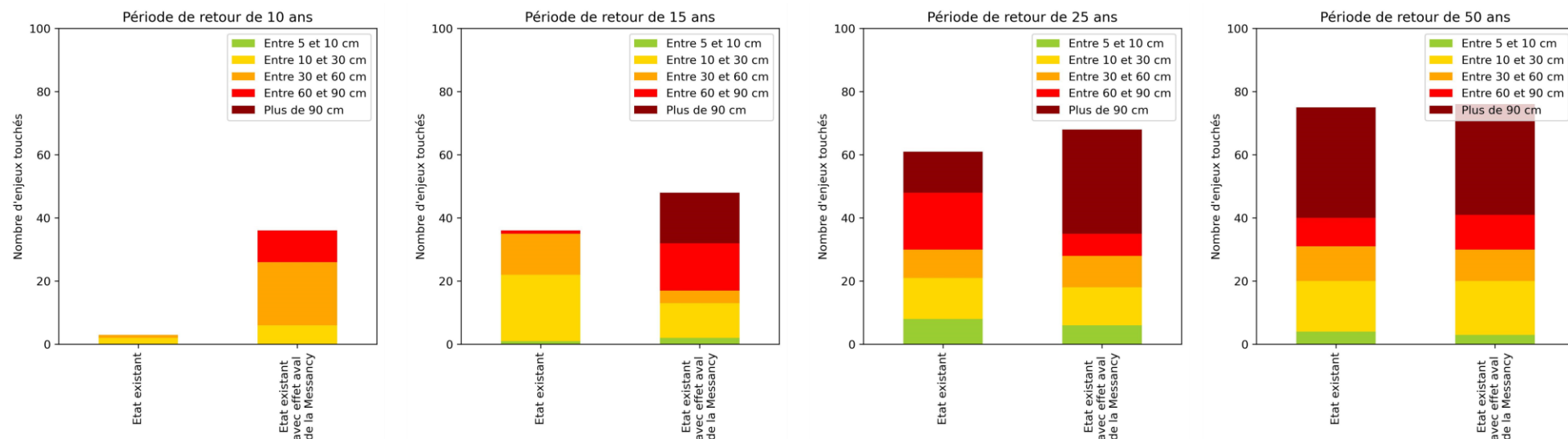


Figure 7-14 : Graphique présentant le nombre d'enjeux (habitations) touchés et la sévérité de l'impact des inondations (exprimé en classe de hauteurs d'eau maximales simulées au droit des enjeux). Les résultats sont dérivés d'une analyse des simulations du modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D pour l'état existant, en considérant ou non un effet aval de la Messancy. Les résultats sont réalisés pour des périodes de retour de 10, 15, 25 et 50 ans. L'effet aval de la Messancy correspond à une hauteur d'eau de période de retour de 5 ans.

7.4 Conclusions principales

Le diagnostic hydrologique-hydraulique de la situation existante a montré que :

- La rue de Longeau est sensible vis-à-vis du risque d'inondation. En effet, un nombre relativement important d'enjeux (habitations/bâtiments) sont susceptibles d'être touchés pour des périodes de retour qui ne sont pas nécessairement extrêmes (notamment à partir de 15 ans).
- Parmi les différents ouvrages analysés, le pertuis de Longeau, lieu d'interactions complexes entre la Messancy, le Wasser Grund, le Wahleschgracht et le réseau d'égouttage, est le plus problématique vis-à-vis du risque d'inondation. Les autres ouvrages ne commencent à générer des débordements significatifs que pour des périodes de retour sensiblement plus importantes.
- En dehors de l'arrière de la rue de Longeau, le réseau d'égouttage ne présente pas de problèmes structurels en termes de dimensionnement, avec des débordements de ce dernier simulés pour des périodes de retour supérieures à 10 ans (soit la période de retour souvent utilisée pour le dimensionnement).
- La confluence avec la Messancy, lorsque cette dernière atteint des niveaux importants (dès une période de retour de 5 ans), peut représenter un frein hydraulique pour le Wasser Grund et le Wahleschgracht, et générer des débordements supplémentaires significatifs au niveau de la rue de Longeau et ce, pour des faibles périodes de retour (pour lesquelles ces débordements ne sont pas observés sans effet aval).
- En plus de la capacité limitante du pertuis et de l'effet aval potentiel de la Messancy, les habitations de la rue de Longeau sont situées dans une cuvette topographique d'où l'eau peut difficilement s'échapper (autrement que par le pertuis) en raison de la présence de la voie ferrée. Cette dernière obstrue le cheminement naturel de l'eau vers l'aval et accentue la sévérité des inondations.

8 Recommandations générales pour limiter les risques d'inondation

Le diagnostic hydrologique-hydraulique de la situation existante a montré que le village de Longeau était particulièrement à risque vis-à-vis des inondations, avec un nombre relativement important d'enjeux touchés pour des périodes de retour relativement faibles (10 à 15 ans).

Il apparaît donc important de mettre en place une série de mesures susceptibles de diminuer les risques d'inondation et la pression qu'ils exercent sur les riverains. Parmi les mesures qui semblent les plus pertinentes (liste non-exhaustive), et qui ne s'exclut pas mutuellement :

- Appliquer une approche de gestion intégrée à l'échelle du bassin versant, en mettant en œuvre des pratiques préventives limitant le ruissellement depuis l'amont du bassin versant et sur l'ensemble de ce dernier. Cette approche intégrée a l'avantage d'offrir de multiples bénéfices annexes, notamment vis-à-vis des risques de sécheresse (en gardant l'eau au sein du bassin et en favorisant la recharge de la nappe). Son inconvénient réside dans sa mise en place, très complexe et nécessitant d'impliquer une multitude d'acteurs (aux objectifs parfois contraires).
- Mettre en place des aménagements d'hydraulique douce au niveau des principaux axes de ruissellement (diminution/ralentissement des apports). Ces pratiques, à cheval entre le préventif et le curatif, peuvent être très efficaces si implémentées à l'échelle du bassin versant (là encore, à cette échelle, cela s'accompagne d'une certaine complexité en matière de mise en œuvre et d'entretien).
- Appliquer une approche de gestion durable des eaux pluviales à l'échelle de la parcelle pour les zones actuellement urbanisées et celles à venir. Ces solutions visent à limiter le rejet vers le réseau d'égouttage en se reposant sur des solutions basées sur la nature favorisant l'infiltration, la rétention et la désimperméabilisation (p. ex., toitures vertes, puits d'infiltration, noue, revêtements perméables, citernes, etc.). En plus de réduire les risques d'inondation en aval, ces solutions présentent également des avantages écologique, paysager et économique (en cas de réutilisation locale de l'eau de pluie).
- Réaliser du stockage en amont des zones à enjeux, par exemple via la création de Zone d'Immersion Temporaire (ZIT). Bien que pleinement curatives et généralement plus coûteuses, ces approches ont fait leur preuve en matière de lutte contre les inondations et présentent l'avantage d'une mise en œuvre plus simple par les autorités publiques (notamment car plus localisée à l'échelle du bassin versant).
- Remplacer les ouvrages limitants lorsqu'ils génèrent des problèmes d'inondations fréquents du fait de leur sous-dimensionnement. Attention cependant, cette approche est potentiellement risquée vis-à-vis des zones situées plus à l'aval (augmentation du débit passant).
- Favoriser les protections individuelles au niveau des habitations et infrastructures clés. Ces protections, plutôt curatives, peuvent se révéler d'une grande efficacité. Elles offrent l'avantage d'augmenter sensiblement la résilience aux risques d'inondation, ce qui est crucial au vu des changements climatiques en cours (les protections érigées « hier » pour un certain niveau de protection se verront être revu à la baisse « demain », avec l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes). Leur inconvénient est que les versions les plus abordables (batardeau, etc.) nécessitent d'être averti et/ou sur place pour être placés à temps.
- Développer des protocoles et des systèmes d'alerte adéquats. Les systèmes de prévision des crues sont de plus en plus performants mais restent largement sous-utilisés. Associés à un protocole adapté, ils permettent d'augmenter sensiblement notre résilience et peuvent prévenir des dommages, ce compris humains, important (évacuation, placement des protections individuelles, blocage des routes, etc.).
- Etc.

Dans le cadre de cette étude et en concertation avec les différents acteurs locaux, gestionnaires du cours d'eau et la Ville d'Aubange, deux types d'aménagements ont été plus spécifiquement évalués : la mise en place de ZIT et la reprise d'une partie du puits de Longeau (pour augmenter sa capacité).

9 Aménagements en vue de réduire le risque d'inondation : étude de pré faisabilité.

9.1 Scénarios d'aménagement 1 et 2 : Zones d'Immersion Temporaire

9.1.1 Sélection des sites les plus pertinents pour l'implantation d'une ZIT

La sélection du(des) site(s) le(s) plus pertinent(s) pour l'implantation de ZIT est une étape préalable à leur design, leur dimensionnement et à l'intégration d'autres fonctions annexes (par exemple, écologique, didactique). Le principal critère de sélection considéré à ce stade a été le potentiel en termes de stockage par rapport aux besoins en aval (notamment en vue de limiter les débordements rue de Longeau). Les impacts éventuels sur l'environnement et les impacts paysagers devront cependant être évalués si des ZIT devaient être implantées.

Afin de déterminer les zones les plus propices au stockage d'eau en amont de la zone à enjeux, différents critères ont été croisés via une approche cartographique. Ces critères visent notamment à cibler les zones permettant un stockage important sans devoir élever des digues trop élevées (défavorables en termes environnemental, financier et structurel) et sont :

- Les zones présentant une topographie favorable au stockage, dérivées d'analyse du modèle numérique de terrain ;
- Les zones localisées suffisamment à l'aval du bassin versant, à proximité des zones à protéger, pour être effectives contre les inondations ;
- Les zones plus favorables d'un point de vue strictement foncier.

Dans le cas de la zone d'intérêt, ces différents critères sont relativement contraignants et limitent fortement le champ des possibles. En effet :

- Le bassin versant n'est pas naturellement propice au stockage du fait de ses pentes relativement importantes, et peu de zones présentant des emprises spatiales intéressantes ont été décelées dans la partie plus aval du bassin versant ;
- Entre les zones les plus à risques, situées à l'aval, et les premières zones susceptibles d'accueillir des ZIT, à l'amont des villages de Longeau et Athus, il y a une surface contributive importante et productive de ruissellement (urbanisation) qui ne sera pas contrôlée par la(les) ZIT.

Il est important de noter que deux sites avaient déjà été retenus dans le cadre de la récente étude sur le Wasser Grund :

- Le premier sur le Wasser Grund, juste en amont de la ferme située rue du Coin ;
- Le second sur l'Oderinger Grund, en amont de sa confluence avec le Wasser Grund.

Ces deux sites permettant de contrôler une portion notable du bassin versant global, ils ont été retenus pour la suite de l'analyse. Sur le bassin versant du Wahleschgracht, deux autres sites ont été retenus :

- Le premier sur le Wahleschgracht, sur la partie amont du bassin versant ;
- Le second sur le Wahleschgracht également, mais bien plus aval (juste avant son entrée dans le pertuis de Longeau).

Pour les quatre sites, il s'agit de ZIT au fil de l'eau (comme illustré à la Figure 9-1), présentant :

- Une digue en terre traversant la vallée ;
- Un pertuis « cadre » comprenant chacun une zone stabilisée (enrochements et béton) constituant le déversoir de sécurité de la digue. Ces pertuis sont dimensionnés de manière à ne pas entraver la libre circulation des poissons et des sédiments, mais le fond du lit doit

- être bétonné/stabilisé (étant donné l'importante hauteur d'eau lorsque les ZIT sont remplies) ;
- Les dimensions des pertuis « cadres » permettent le passage de la totalité du débit jusqu'à une période de retour d'environ 3-4 ans. Les crues morphogènes annuelles ou bisannuelles ne sont donc a priori pas freinées et la dynamique fluviale peut se maintenir.

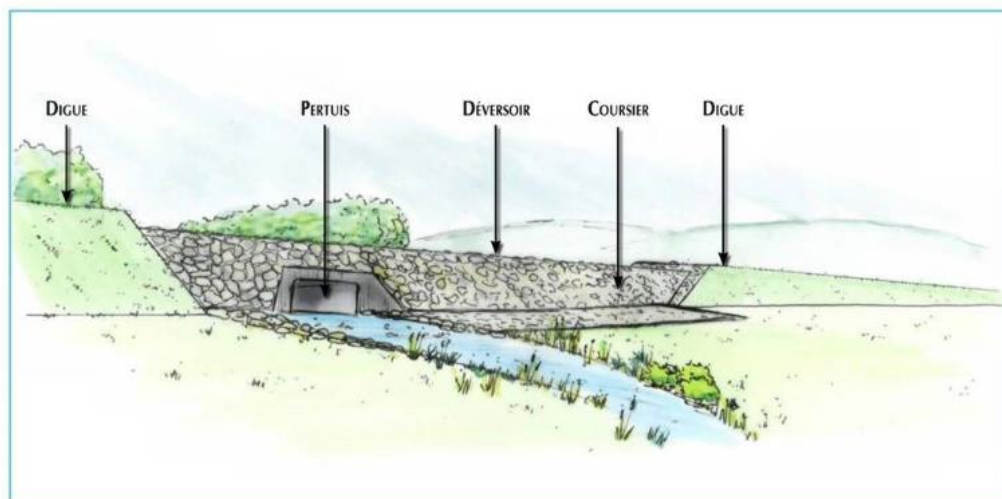


Figure 9-1 : Illustration d'une digue de ZIT au fil de l'eau.¹

Pour les deux sites retenus, les disponibilités en termes de stockage sont dérivées via l'estimation de relations hauteur-volume (via le modèle numérique de terrain). Le volume de stockage disponible est alors fonction de la hauteur de la digue, paramètre variable qui a été limité à 3 m pour cette évaluation préliminaire. Cette approche est illustrée à la Figure 9-2. A noter que le volume est susceptible d'augmenter sensiblement en fonction des possibilités de décaissement, ce qui n'a pas été considéré à ce stade.

Tableau 9-1 : Estimation des disponibilités en termes de stockage au niveau des deux sites retenus pour l'implantation de ZIT. Deux hauteurs de digue max. sont considérées en première instance.

Site	ZIT Wasser Grund (digue de 3 m max.)	ZIT Oderinger Grund (digue de 3 m max.)	ZIT Wahleschgracht amont (digue de 3 m max.)	ZIT Wahleschgracht aval (digue de 3 m max.)
Disponibilités en termes de stockage	14.100 m ³	8.200 m ³	4.300 m ³	5.700 m ³

Les localisations et les emprises maximales finalement considérées pour le dimensionnement au niveau de ces quatre sites sont présentées à la Figure 9-3 ci-dessous. La Figure 9-4 présente ces emprises en vis-à-vis du parcellaire cadastral. Il est important de noter à cet égard que la position des digues et des limites de chacune des ZIT peut encore varier sans nécessairement influencer fortement le volume de stockage. C'est par exemple le cas de la ZIT sur l'Oderinger Grund, qui peut être remontée un peu en amont afin de ne pas impacter la parcelle C184d. Au stade du dimensionnement, ces limites cadastrales n'ont pas été intégrées comme contraintes pour la localisation optimale des ZIT.

¹ <https://www.mairie-larbresle.fr/actualites/2020/06/30/la-construction-des-ouvrages-de-ralentissement-dynamique-sur-la-turdine.html?print=true>

9.1.2 Dimensionnement et optimisation du fonctionnement des ZIT

Pour maximiser le niveau de protection attendu, différentes configurations ont été implémentées et testées au sein du modèle hydrologique-hydraulique (1D-2D). Les principaux paramètres utilisés pour maximiser le niveau de protection sont :

- Le nombre de ZIT ;
- La hauteur des digues ;
- Le débit de fuite.

A ce stade, le décaissement n'a pas été envisagé mais pourrait l'être dans une phase ultérieure afin :

- Soit d'augmenter encore le volume de stockage ;
- Soit de limiter la taille des digues en conservant un niveau de stockage équivalent.

Dans toutes les configurations évaluées, il n'apparaissait pas possible de significativement réduire les débordements au niveau des annexes des habitations localisées le long du Wasser Grund au niveau de la rue d'Athus. L'optimisation s'est donc concentrée sur la protection des autres zones à enjeux.

In fine, l'optimisation réalisée a permis de retenir deux scénarios (à l'efficacité et aux coûts d'implantation différents). Dans chaque scénario, une ZIT sur chacun des cours d'eau a été envisagée pour maximiser la surface contributive contrôlée. Les scénarios retenus n'offrent pas le même niveau de protection mais permettent tous les deux de réduire la fréquence et la sévérité des inondations (voir ci-après). **Ces scénarios d'aménagement sont :**

- Le **scénario 1 (SC1)**, comprenant la ZIT sur le Wasser Grund, celle sur l'Oderinger Grund et celle sur le Wahleschgracht plus à l'amont dans le bassin versant ;
- Le **scénario 2 (SC2)**, comprenant la ZIT sur le Wasser Grund, celle sur l'Oderinger Grund et celle sur le Wahleschgracht plus à l'aval dans le bassin versant.

Le Tableau 9-2 résume les principales caractéristiques des ZIT.

Tableau 9-2 : Caractéristiques principales des ZIT dans les deux scénarios retenus.

Caractéristique	Wasser Grund (SC1 et SC2)	Oderinger Grund (SC1 et SC2)	Wahleschgracht (amont) (SC1)	Wahleschgracht (aval) (SC2)
Emprise (ha)	1.1	0.75	0.75	0.55
Hauteur de la digue max. (m)	3	3	2	3
Longueur de la digue (m)	78	75	155	70
Volume avant déversement (m³)	14100	8200	4300	5700

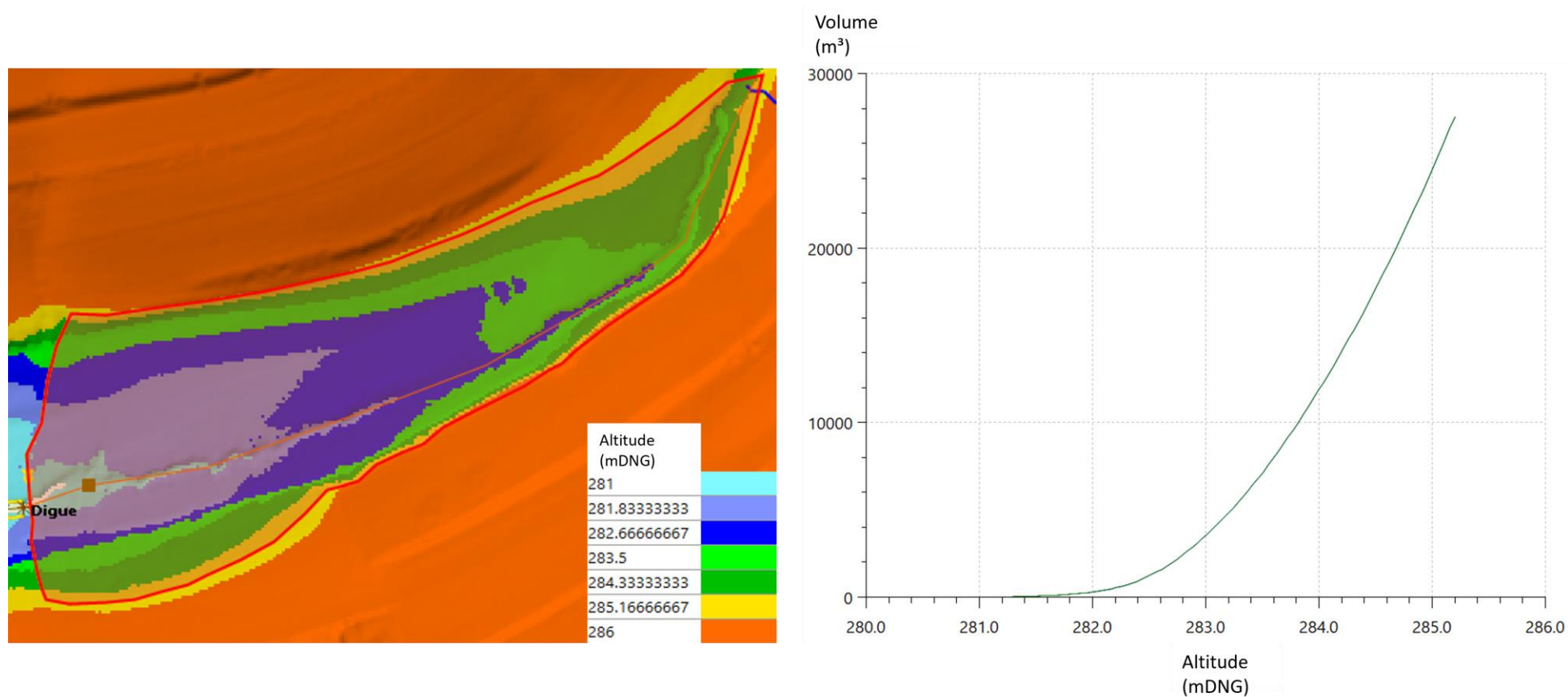


Figure 9-2 : Illustration de l'approche retenue pour l'évaluation préliminaire des disponibilités en termes de stockage au sein d'un site. A gauche, le modèle numérique de terrain et l'emprise pour laquelle la relation hauteur-volume est dérivée. A droite, la relation hauteur-volume pour l'emprise considérée.

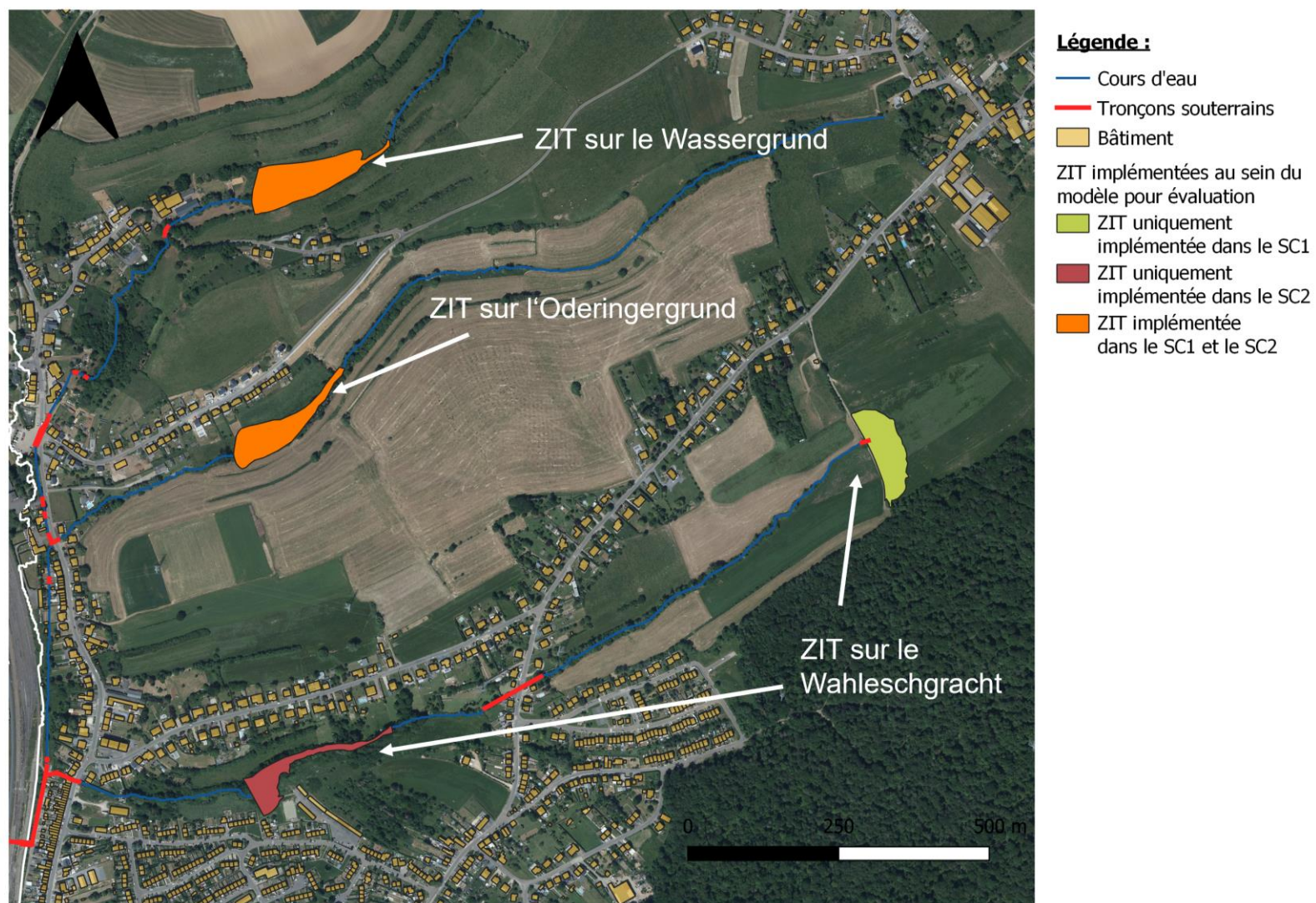


Figure 9-3 : Localisations et emprise maximales des quatre ZIT considérées pour le dimensionnement.

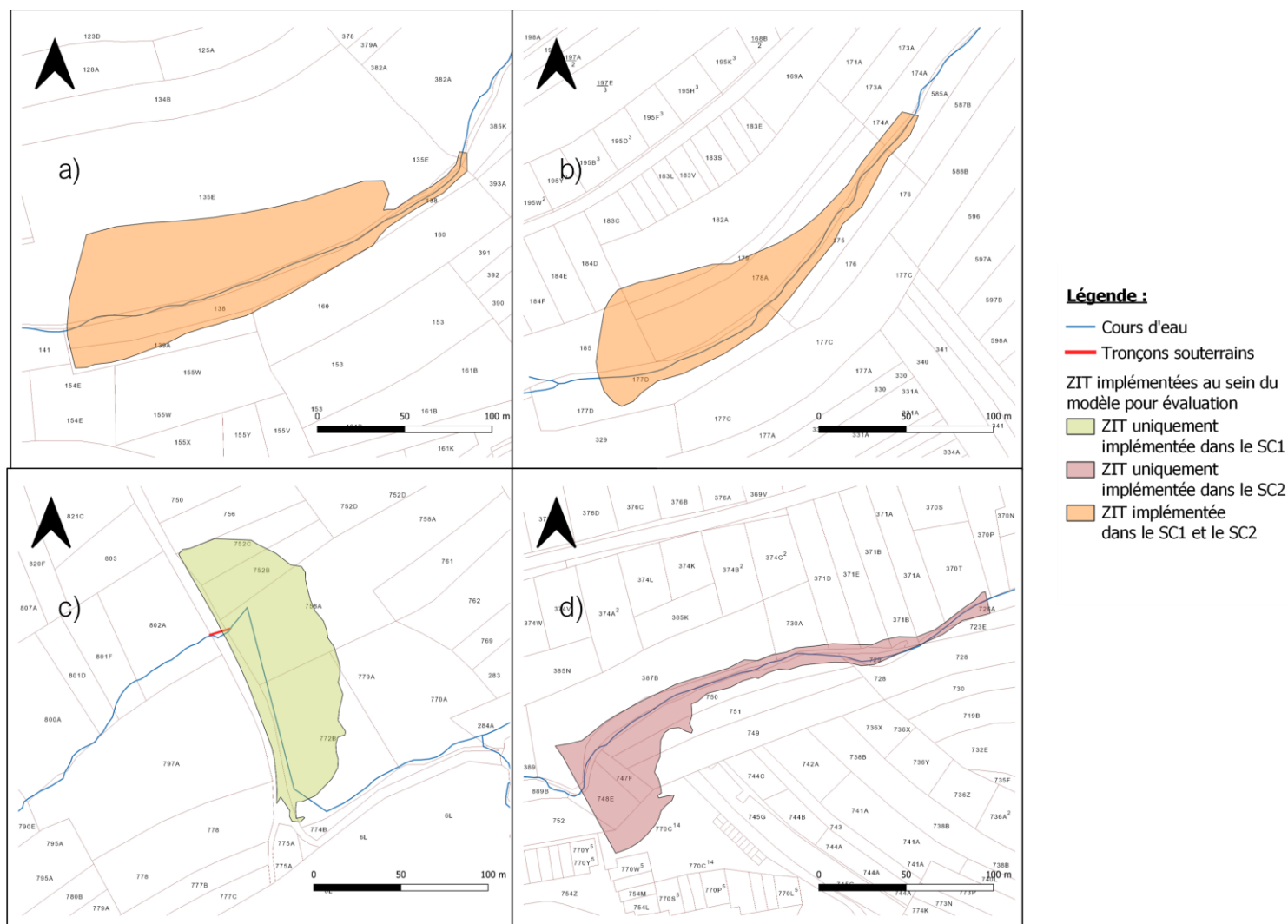


Figure 9-4 : Emprise maximales des quatre ZIT considérées pour le dimensionnement en vis-à-vis du parcellaire cadastrale Localisations : a) sur le Wasser Grund, b) sur l'Oderinger Grund, c) en amont sur le Wahleschgracht et d) en val sur le Wahleschgracht.

9.2 Scénarios d'aménagement 3 : reprise du puits de Longeau

Etant donné le « nœud » hydraulique que représente le puits de Longeau et les multiples interactions qui s'y jouent (impliquant trois cours d'eau différents et le réseau d'égouttage), un redimensionnement de ce dernier a également été évalué.

Quatre portions distinctes (en termes de géométrie et dimensions) du puits ont fait l'objet d'un redimensionnement :

- La partie amont sur le Wasser Grund (entre l'entrée et la confluence avec le Wahleschgracht), longue de 14.3 m (a. sur la Figure 9-5) ;
- La portion située entre la confluence (entre le Wasser Grund et le Wahleschgracht) et l'angle à 90° situé juste avant le passage sous la voie ferrée, longue de 116.7 m (b. sur la Figure 9-5) ;
- La première partie du puits sous la voie ferrée (où il est actuellement dédoublé en deux puits), longue de 19.2 m (c. sur la Figure 9-5) ;
- La seconde partie du puits sous la voie ferrée (allant jusqu'à la confluence avec la Messancy), longue de 86.5 m (d. sur la Figure 9-5).

La Figure 9-5 présente ces différentes portions ainsi que leurs caractéristiques avant et après aménagement. Comme cela apparaît sur cette figure, le redimensionnement opéré consiste à aligner toutes les portions considérées sur un même gabarit (en termes de forme et de dimensions), soit une conduite rectangulaire de 1.85 m de hauteur et 2.9 m de largeur.

Sur le Wahleschgracht, la portion du puits situé en amont de la confluence n'a pas fait l'objet d'un redimensionnement, considérant que les travaux seraient rendus pratiquement impossibles par la configuration du site (le puits passe entre deux maisons sur un passage relativement étroit).

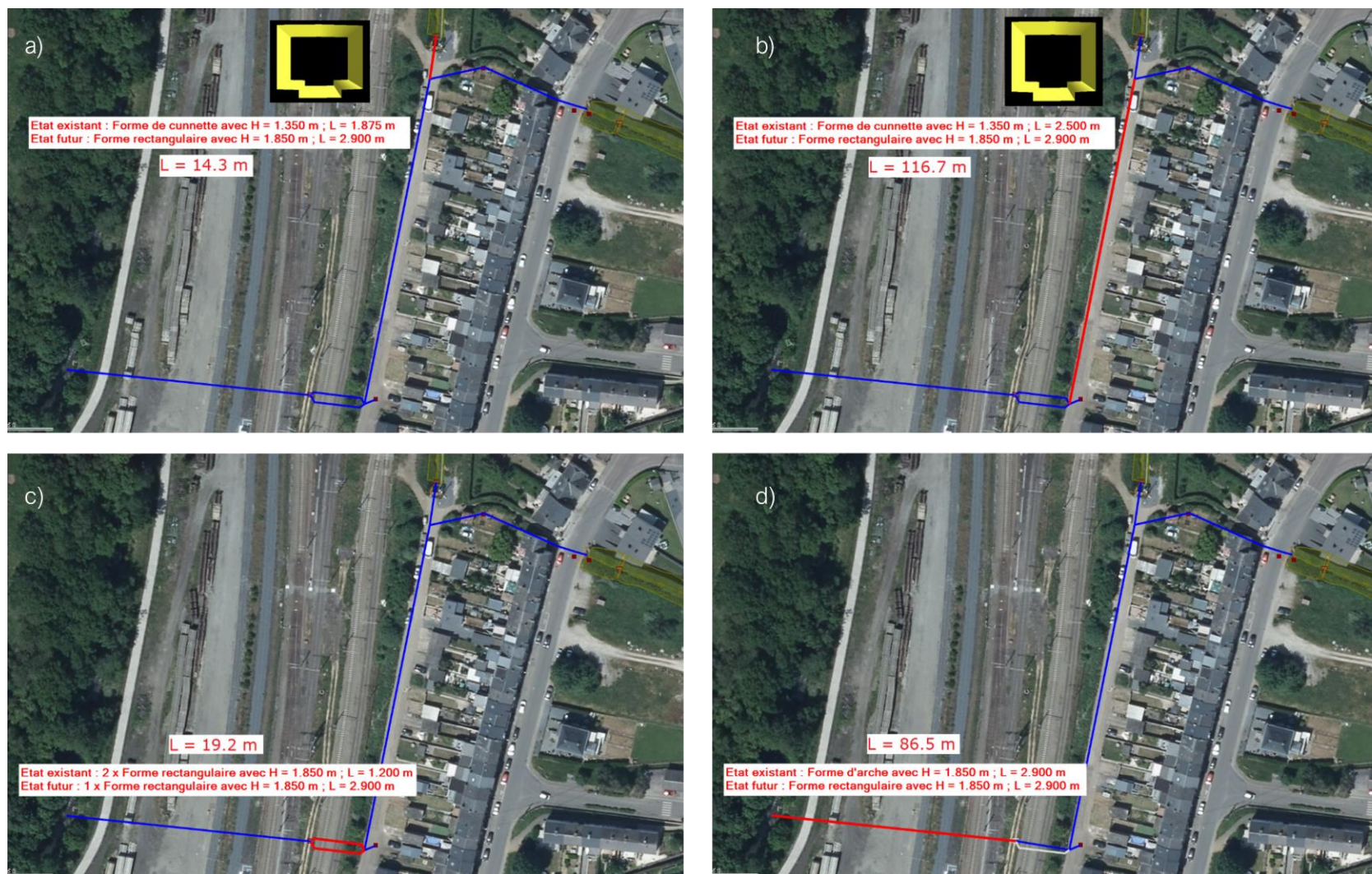


Figure 9-5 : Caractéristiques de différentes portions du pertuis de Longeau (en rouge) avant et après leur redimensionnement ("Etat existant" et "Etat futur" respectivement).

9.3 Impact sur le risque d'inondation à l'aval

L'impact des scénarios d'aménagement sur le risque d'inondation à l'aval est évalué via une analyse comparative des résultats de modélisation hydrologique-hydraulique 1D-2D. La comparaison est effectuée entre quatre scénarios distincts :

- La situation actuelle ;
- La situation future, avec les ZIT prévues dans le scénario 1 ;
- La situation future, avec les ZIT prévues dans le scénario 2 ;
- La situation future, avec le pertuis optimisé/redimensionné dans le scénario 3.

Pour cette analyse comparative, les éléments suivants sont considérés :

- Les hydrogrammes de crue à l'aval de la confluence entre le Wasser Grund et le Wahleschgracht, au sein du pertuis de Longeau (pour périodes de retour de 5, 10, 15 et 25 ans) ;
- Les profils en long simulés sur le Wahleschgracht et le Wasser Grund pour une période de retour de 15 ans ;
- Le nombre d'enjeux (habitations) touchés et la sévérité de l'impact des inondations sur ces derniers (exprimée en termes de hauteurs d'eau au droit des habitations, pour des périodes de retour de 5, 10, 15 et 25 ans) ;
- Les emprises des inondations pour des périodes de retour de 10, 15, 25 et 50 ans ;
- Ces trois derniers aspects (enjeux touchés et emprises) sont aussi évalués en considérant un effet aval de la Messancy (hauteur d'eau de période de retour de 5 ans).

La Figure 9-6 montre l'impact de chaque scénario sur l'hydrogramme de crue à l'aval de la zone d'étude (au sein du pertuis de Longeau, après la confluence entre le Wasser Grund et le Wahleschgracht). Il apparaît sur cette figure que :

- Pour l'état existant, le débit de pointe plafonne aux alentours de 5.5-7 m³/s. Cela correspond peu ou prou à la capacité maximum de transfert actuelle du pertuis (qui varie en fonction de la charge en amont). Pour cette gamme, les premiers débordements sont observés à l'amont.
- Les ZIT prévues dans les scénarios 1 et 2 permettent d'écarter efficacement le pic de crue jusqu'à des périodes de retour de 25 ans ;
- Les ZIT prévues dans le scénario 2 permettent un écrêtage du pic de crue plus efficace que celles du scénario 1 (p. ex., pour une période de retour de 25 ans, les débits de pointe sont de 5.9 et 5.1 m³/s pour les scénarios 1 et 2 respectivement) ;
- L'optimisation du pertuis prévue dans le scénario 3 permet d'augmenter sensiblement la capacité maximum de transfert du pertuis (p. ex., pour une période de retour de 25 ans, les débits de pointe sont de 6.9 et 9.3 m³/s pour l'état existant et le scénario 1 respectivement). Cela suggère qu'il participe, dans une certaine mesure, à une augmentation potentielle des risques à l'aval.

La Figure 9-7 et la Figure 9-8 comparent les profils en long simulés sur le Wahleschgracht et le Wasser Grund pour une période de retour de 15 ans (avec et sans effet aval de la Messancy). Il apparaît sur ces figures que :

- Les trois scénarios permettent de réduire significativement la hauteur d'eau au sein et juste à l'amont du pertuis (et donc, les débordements), tant sur le Wahleschgracht que le Wasser Grund ;
- Au niveau du Wahleschgracht, c'est le scénario 2 qui est légèrement plus efficace (en termes de réduction de la ligne d'eau). Cela s'explique essentiellement par la localisation de la ZIT sur le Wahleschgracht (située juste à l'amont du pertuis) ;
- Au niveau du Wasser Grund, c'est le scénario 3 qui est le plus efficace (en termes de réduction de la ligne d'eau).

La Figure 9-9 présente l'impact des inondations (nombre d'habitations touchées et sévérité des inondations) pour les trois scénarios d'intérêt (état existant et scénarios 1 et 2) et pour des périodes de retour 10, 15, 25 et 50 ans. La Figure 9-10 présente les mêmes résultats en incluant un niveau aval de la Messancy (hauteur d'eau de période de retour de 5 ans). Il apparaît sur ces figures que :

- Pour des périodes de retour de 15 et 25 ans (sans effet aval), les trois scénarios offrent des performances semblables et réduisent de façon significatives les impacts des inondations. Les scénarios 1 et 2 offrent un surplus de protection par rapport au scénario 3, notamment en protégeant certains enjeux situés plus en amont.
- Pour une période de retour de 50 ans, les trois scénarios sont moins performants mais ils permettent néanmoins de diminuer sensiblement le nombre d'enjeux touchés et, plus important, la sévérité des inondations. Pour cette période de retour, le scénario 2 est sensiblement plus efficace en termes de réduction du risque d'inondation. Le scénario 3 est le moins efficace.
- Pour les périodes de retour supérieures (100 ans, non présenté sur la figure), la réduction des impacts est moins significative quel que soit le scénario considéré (même si le scénario 2 reste le plus favorable en termes d'enjeux touchés et de sévérité des inondations).
- En considérant l'effet aval de la Messancy, l'efficacité de tous les scénarios diminuent mais, en comparaison avec la situation actuelle, ils permettent une réduction nette du nombre d'enjeux touchés et de la sévérité des inondations. Là encore, le scénario 2 reste le plus efficace, et le scénario 3 le moins efficace.

Les emprises d'inondations simulées au niveau de la rue de Longeau pour les différents scénarios, les différentes périodes de retour et les différentes conditions aval (avec et sans effet de la Messancy), sont présentées de la Figure 9-11 à la Figure 9-13 ci-dessous. Attention, ces figures comparent les emprises d'inondation mais elles ne mettent pas en lumière la diminution effective en termes de sévérité, les hauteurs d'eau associées à ces emprises n'étant pas explicitement représentées (or, comme le montre la Figure 9-9, même en cas de débordements ces hauteurs d'eau sont généralement moins importantes grâce à l'action des aménagements). Pour autant, ces dernières confirment les différents éléments présentés jusqu'ici :

- Les trois scénarios sont efficaces pour réduire les risques d'inondations au niveau de la rue de Longeau (sans effet aval, ils sont repoussés à une période de retour d'environ 25 ans).
- Le scénario 2 offre un niveau de protection qui reste tout à fait intéressant par rapport à la situation existante. De manière générale, il repousse les risques d'inondations à une période de retour d'environ 15 ans (voire plus dépendamment de la zone considérée).
- Les trois scénarios voient leur efficacité diminuer au niveau de la rue de Longeau en cas de crue de la Messancy.

Au terme de cette analyse, il apparait que les scénarios 1 et 2 sont les plus efficaces car :

- Ils offrent un niveau de protection équivalent (voire supérieur) au niveau de la rue de Longeau ;
- Ils permettent de protéger certaines zones sensibles aux inondations plus en amont (notamment via l'action des ZIT au niveau de la commune de Messancy) ;
- Contrairement au scénario 3, ils ne contribuent pas à augmenter le débit vers l'aval.

Entre ces deux scénarios, le scénario 2 est le plus efficace, notamment car il permet de contrôler une plus grande superficie contributive (ZIT localisée plus en aval sur le Wahleschgracht).

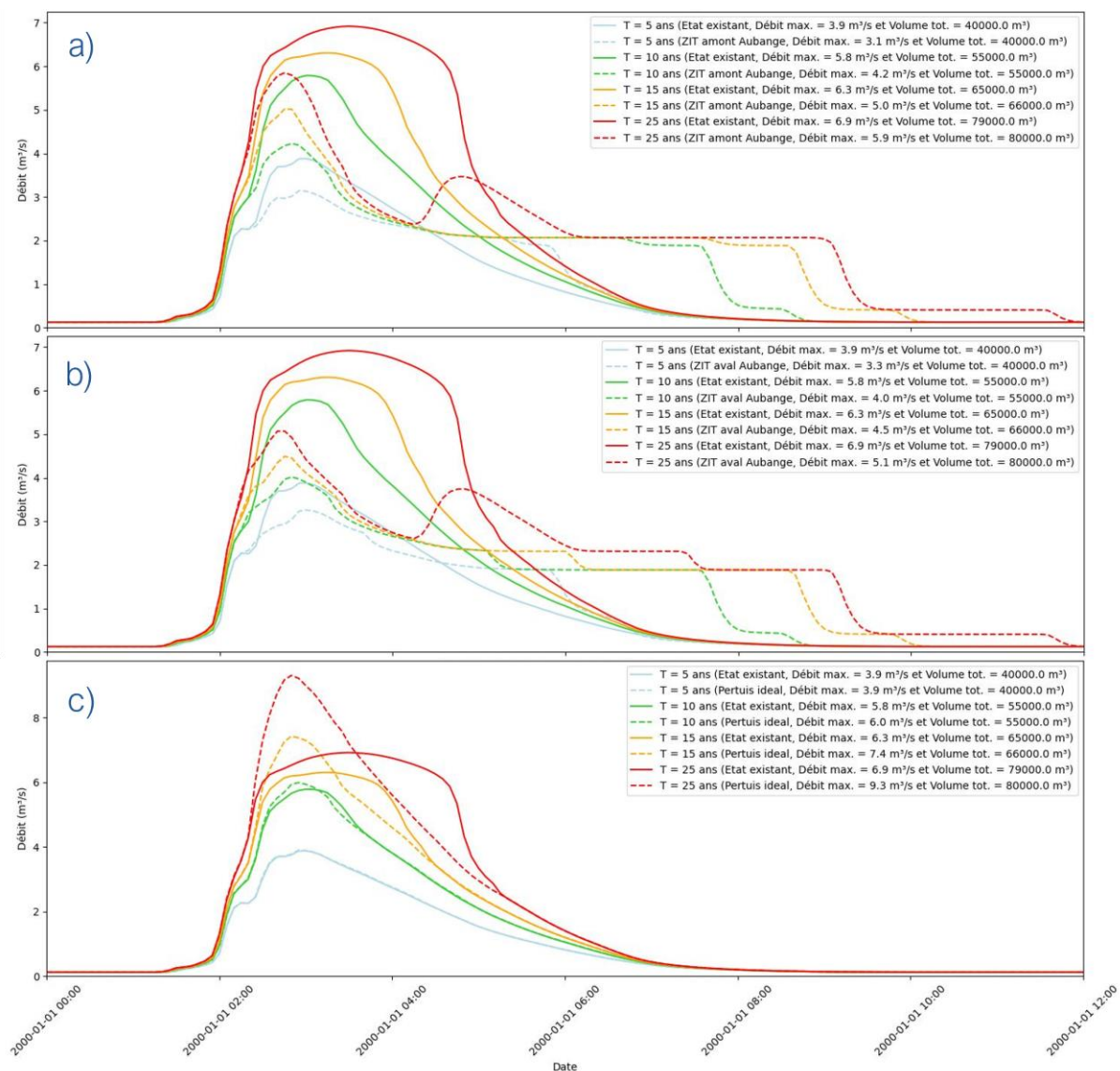


Figure 9-6 : Comparaison des hydrogrammes de crue simulés par le modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D à l'aval de la confluence entre le Wasser Grund et le Wahleschgracht (au sein du pertuis de Longeau) pour les trois scénarios considérés. Chaque scénario (trait pointillé) est comparé avec l'état existant (trait plein) : a) scénario 1, b) scénario 2 et c) scénario 3. Les hydrogrammes sont générés pour des périodes de retour 5, 10, 15 et 25. Les débits de pointe et les volumes passant estimés sont précisés dans la légende.

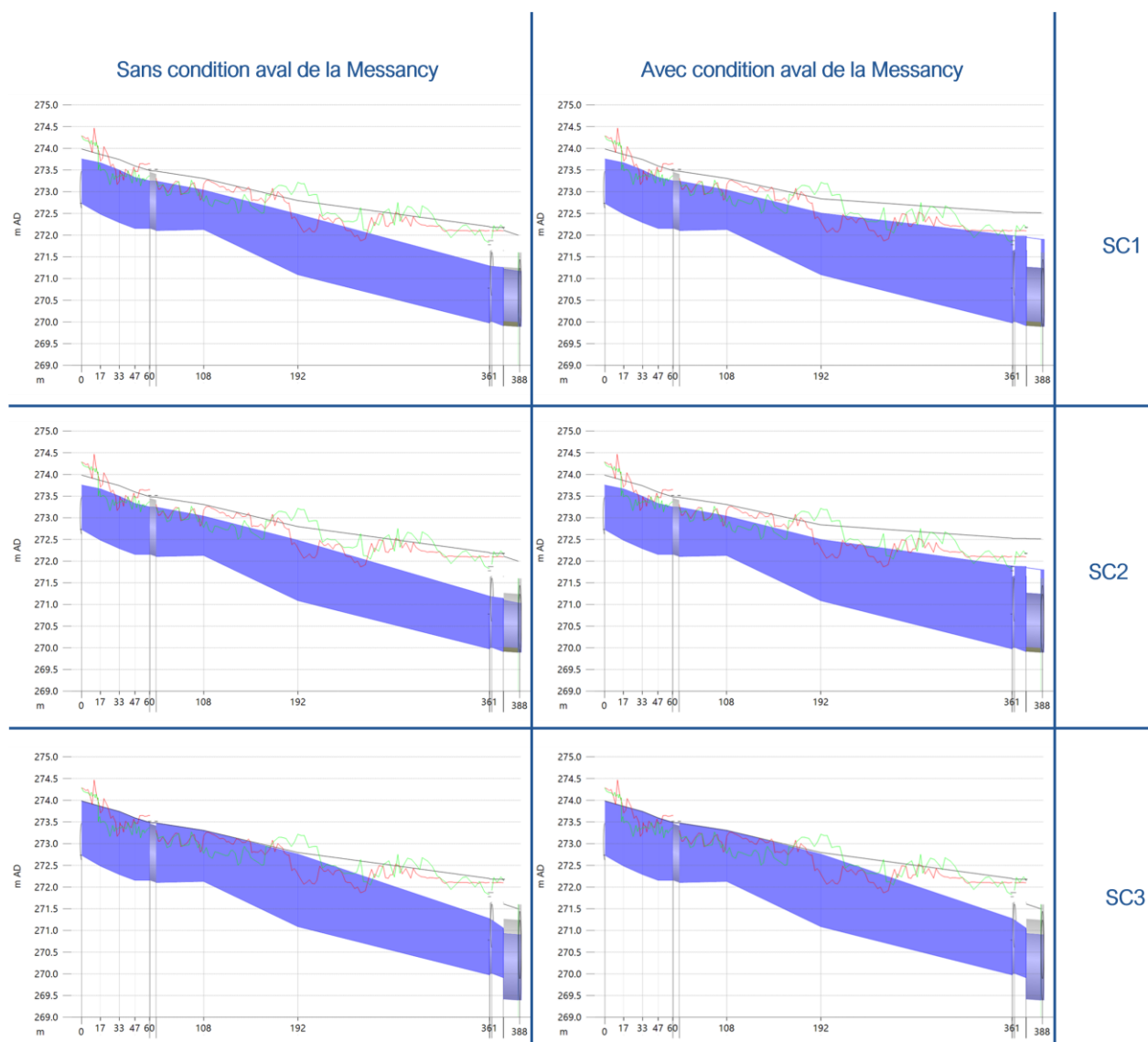


Figure 9-7 : Comparaison des profils en long simulés par le modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D sur le Wasser Grund pour les trois scénarios considérés avec ou sans effet aval de la Messancy. Chaque scénario (niveau d'eau simulé représenté par le trait bleu) est comparé avec l'état existant (niveau d'eau simulé représenté par le trait noir).

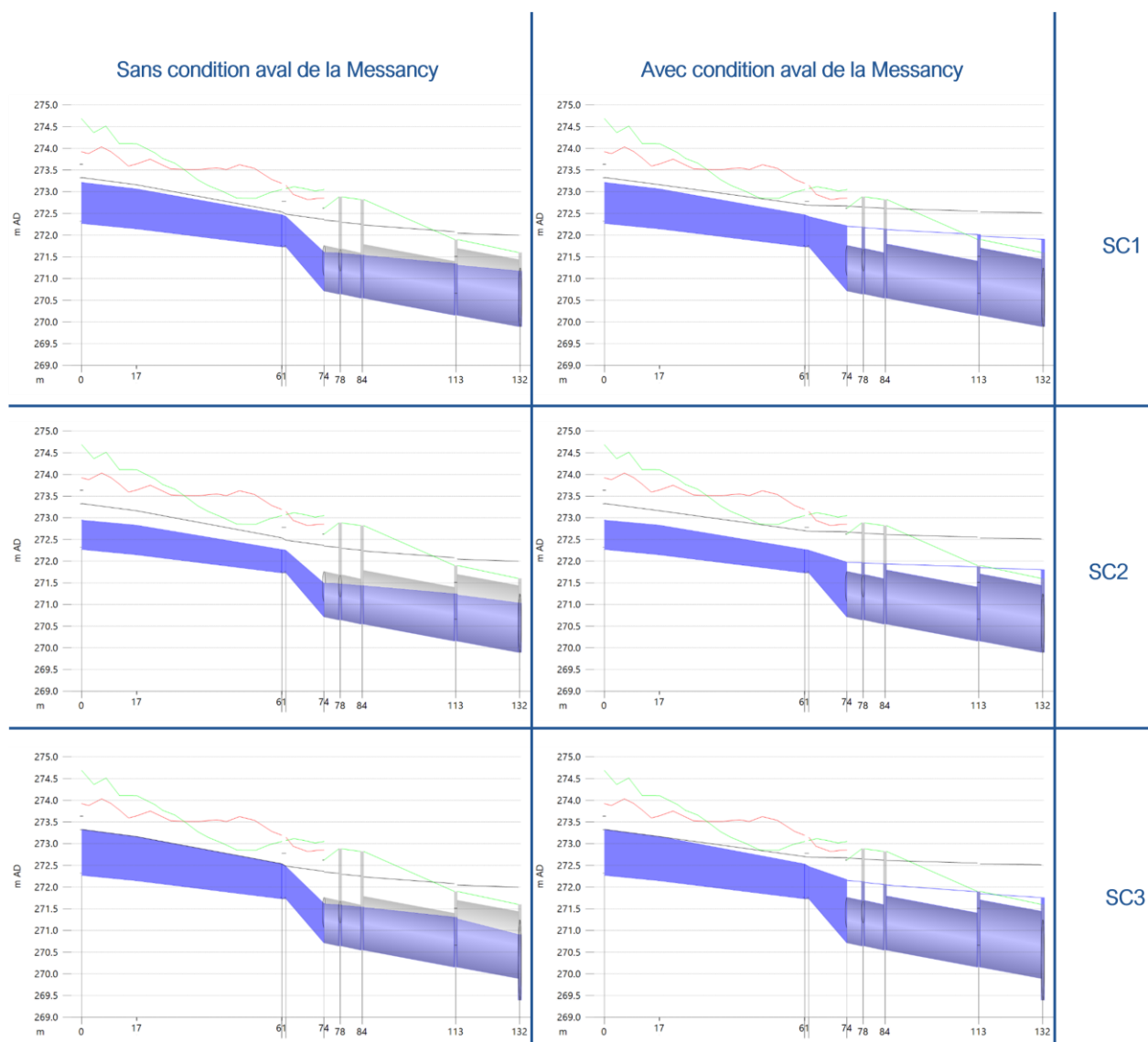


Figure 9-8 : Comparaison des profils en long simulés par le modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D sur le Wahleschgracht pour les trois scénarios considérés avec ou sans effet aval de la Messancy. Chaque scénario (niveau d'eau simulé représenté par le trait bleu) est comparé avec l'état existant (niveau d'eau simulé représenté par le trait noir).

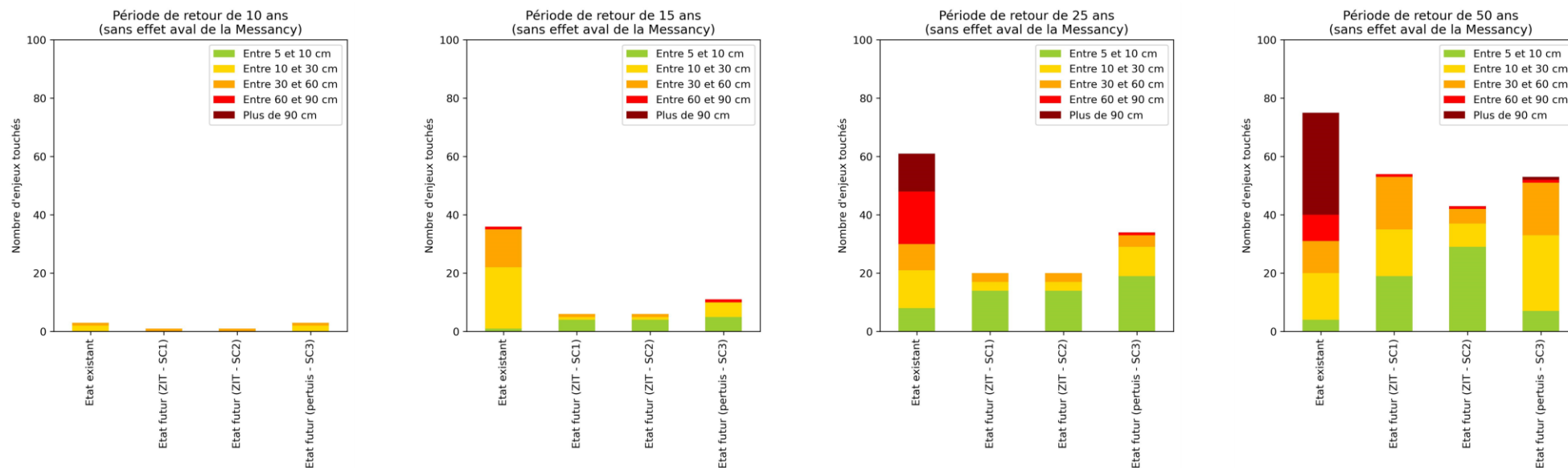


Figure 9-9 : Graphique présentant le nombre d'enjeu (habitations) touchés et la sévérité de l'impact des inondations (exprimé en classe de hauteurs d'eau maximales simulées au droit des enjeux). Les résultats sont dérivés d'une analyse des simulations du modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D pour quatre scénarios : l'état existant et les scénarios 1, 2 et 3 considérés. Les résultats sont réalisés pour des périodes de retour de 10, 15, 25 et 50 ans.

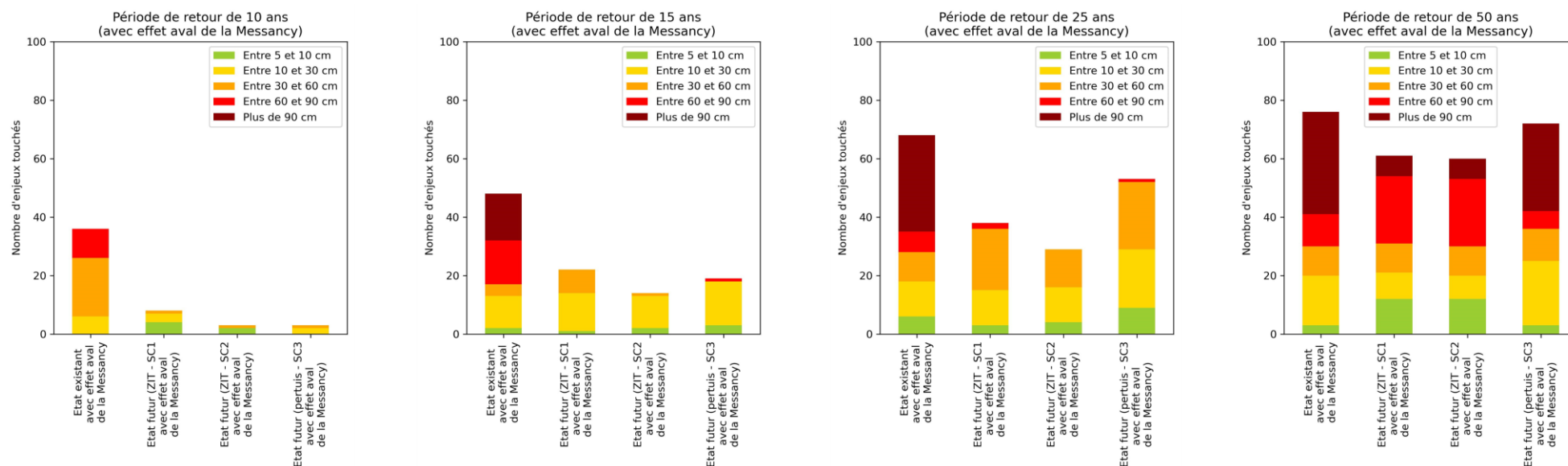


Figure 9-10 Graphique présentant le nombre d'enjeu (habitations) touchés et la sévérité de l'impact des inondations (exprimé en classe de hauteurs d'eau maximales simulées au droit des enjeux). Les résultats sont dérivés d'une analyse des simulations du modèle hydrologique-hydraulique 1D-2D pour quatre scénarios **en considérant l'effet aval de la Messancy** : l'état existant et les scénarios 1, 2 et 3 considérés. Les résultats sont réalisés pour des périodes de retour de 10, 15, 25 et 50 ans. L'effet aval de la Messancy correspond à une hauteur d'eau de période de retour de 5 ans.

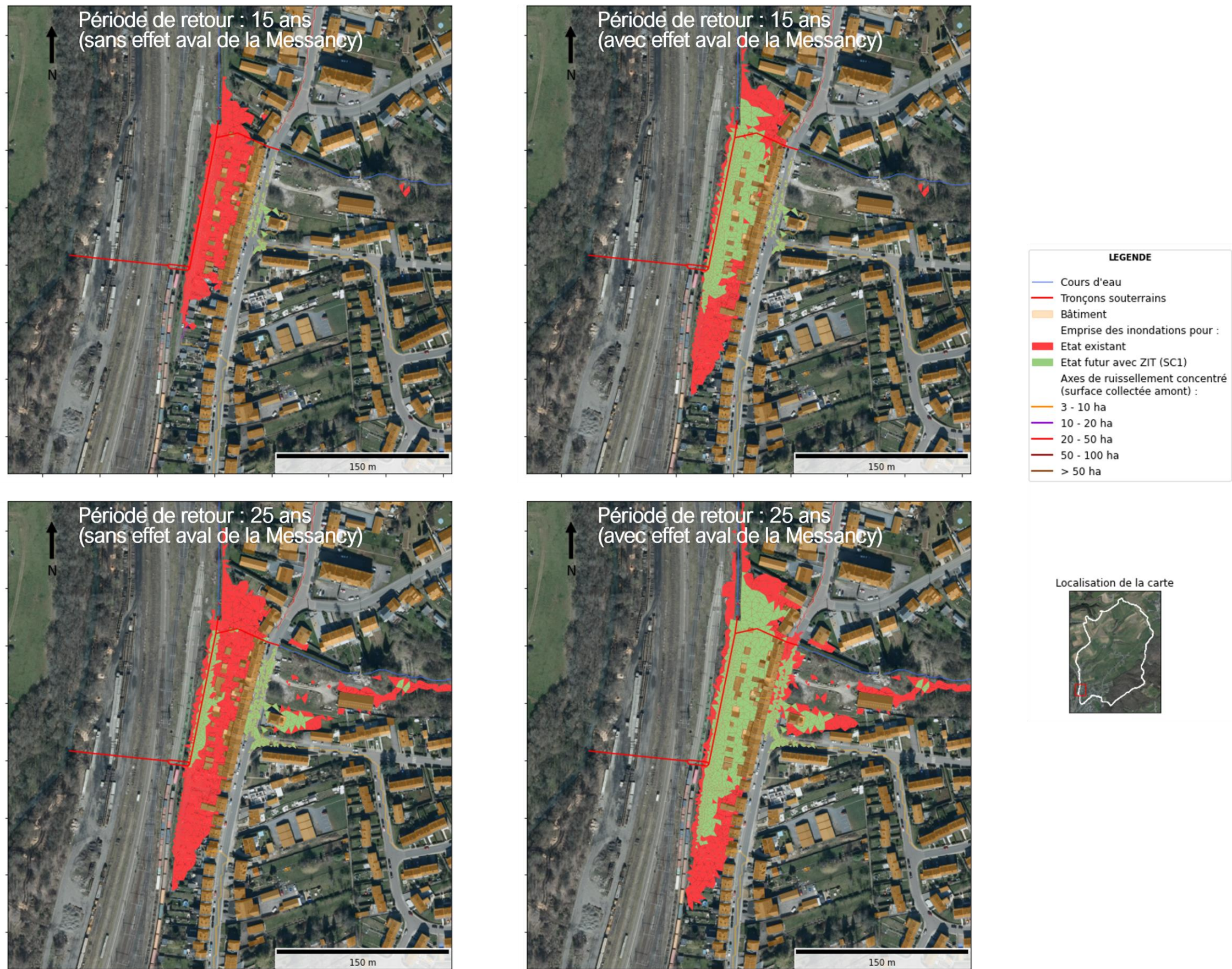


Figure 9-11 : Comparaison des emprises des inondations entre l'état existant et le scénario 1 pour des périodes de retour de 15 et 25 ans (avec et sans effet aval de la Messancy) au niveau de la rue de Longeau.



Figure 9-12 : Comparaison des emprises des inondations entre l'état existant et le scénario 2 pour des périodes de retour de 15 et 25 ans (avec et sans effet aval de la Messancy) au niveau de la rue de Longeau.

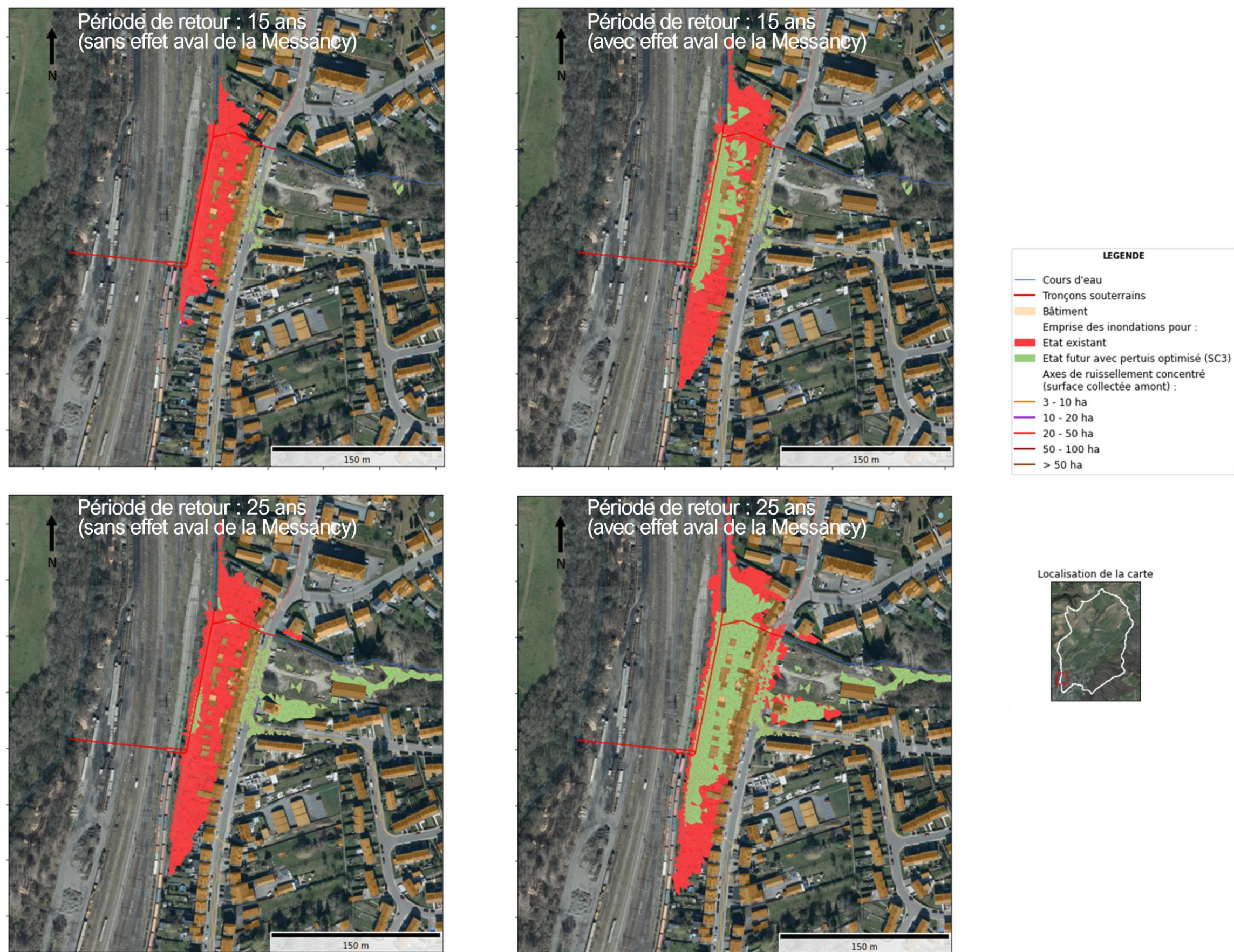


Figure 9-13 : Comparaison des emprises des inondations entre l'état existant et le scénario 3 pour des périodes de retour de 15 et 25 ans (avec et sans effet aval de la Messancy) au niveau de la rue de Longeau.

9.4 Estimation des coûts

9.4.1 Scénarios 1 et 2

Cette section vise à estimer les coûts associés à la réalisation des ZIT. A ce stade du dimensionnement et du niveau de définition du projet, cette estimation est nécessairement approximative. Pour autant, elle permet d'évaluer la pertinence de leur installation au regard des bénéfices attendus (voir ci-dessous).

L'estimation des coûts n'a pas intégré de mesures de compensation écologique et paysagère mais ces dernières devraient idéalement faire partie intégrante de tout projet de ZIT. Les différents postes considérés à ce stade sont :

- Les travaux de terrassements pour l'élévation des digues ;
- La réalisation des ouvrages de régulation (tabliers au niveau du cours d'eau et déversoirs de sécurité) ;
- L'achat de terrains impactés par l'implantation des ZIT ;
- Les études complémentaires à mener, en estimant les coûts associés au suivi de chantier (écologique, topographique, géotechnique, génie civil, hydraulique, etc.).

In fine, cette première estimation porte le coût global de la réalisation à **985.000 €** pour le scénario 1 et **990.000 €** pour le scénario 2, détaillé dans le Tableau 9-2 ci-dessous. Etant donné l'incertitude associée à ces estimations à ce stade de préféabilité, **un coût total de 1.200.000 € sera considéré** pour ces deux scénarios pour la suite de l'analyse.

Tableau 9-3 : Estimation des coûts associés à la réalisation des ZIT.

Poste	ZIT sur le Wasser Grund (SC1 et SC2)	ZIT sur l'Oderinger Grund (SC1 et SC2)	ZIT sur le Wahleschgracht amont (SC1)	ZIT sur Wahleschgracht aval (SC2)
Terrassement	75.000 €	70.000 €	65.000 €	70.000 €
Ouvrages de régulation	130.000 €	130.000 €	130.000 €	130.000 €
Achat de terrain	40.000 €	25.000 €	20.000 €	20.000 €
Etudes complémentaires et suivi	100.000 €	100.000 €	100.000 €	100.000 €
Total	345.000 €	325.000 €	315.000 €	320.000 €

Il est important de noter que l'estimation des coûts s'arrête ici aux seuls coûts d'installation des ZIT, elle ne comprend pas :

- Les coûts associés aux impacts environnementaux et paysagers, particulièrement difficiles à estimer ;
- Les coûts d'entretien.

9.4.2 Scénario 3

La reprise du pertuis de Longeau est particulièrement complexe à estimer et sort du domaine d'expertise requise pour la présente étude. Elle implique une expertise pointue pour évaluer avec précision les nombreux facteurs techniques et économiques propres à de tels projets (p. ex., la présence de la voie

ferrée, du cours d'eau, etc.). Aussi, l'estimation fournie est nécessairement approximative, ne reposant que sur des données générales susceptibles de varier grandement en fonction des techniques de construction requises. Le coût du scénario 3 a ainsi été évalué dans une gamme de 1.200.000 – 1.700.000 €. **Un coût total de 1.300.000 € sera considéré** pour la suite de l'analyse. Evidemment, une analyse détaillée par des professionnels spécialisés en ingénierie civil et construction sont indispensables pour obtenir une estimation plus fiable.

9.5 Analyse cout-bénéfice

Le principe de l'analyse cout-bénéfice est de comparer les couts associés à des ouvrages de protection avec les bénéfices qu'ils peuvent procurer en évitant des dommages pour certains événements. L'estimation des bénéfices associés à la création de ZIT est un exercice particulièrement délicat, et ce pour plusieurs raisons dont voici quelques exemples (liste non-exhaustive) :

- Il est particulièrement difficile d'estimer de façon robuste les dommages évités pour un événement donné, ces derniers dépendant de la hauteur de submersion, de la durée de submersion, de la valeur des biens dégradés lors de la submersion, etc. ;
- Le concept de période de retour est complexe à traduire d'un point de vue statistique pour cette analyse (par exemple, en fonction de la typologie de la pluie, deux événements de même période de retour ne produiront pas les mêmes dommages). A cette complexité s'ajoute l'effet attendu des changements climatiques, qui devraient favoriser les événements extrêmes et diminuer les périodes de retour estimées à ce jour ;
- L'évaluation des bénéfices se réalise sur le long terme, sur cette période de nombreuses variables vont changer (par exemple : les changements climatiques, la valeur de certains biens pourraient augmenter, etc.) ;
- Les dommages environnementaux générés par des inondations frappant des centres urbains sont difficilement mesurables (par exemple : pollution du cours d'eau) ;
- Les pertes économiques liées aux arrêts d'activité suivant les inondations ;
- Les dégâts humains associés aux inondations sont inestimables ;
- Etc.

Cette liste est non-exhaustive mais elle permet de préciser le cadre de l'analyse proposée, qui fait volontairement abstraction d'un grand nombre de variables (pour la plupart très/trop incertaines/complexes pour être intégrées). Ainsi, le principe général de l'analyse n'est pas de dresser un bilan précis mais de fixer des ordres de grandeur qui permettent de comparer couts et bénéfices attendus à long terme.

Pour les couts :

- Les couts d'installation des ZIT sont les seuls considérés ;
- Les couts d'entretien des ZIT ne sont pas considérés ;
- Les couts associés aux impacts environnementaux et paysagers ne sont pas considérés ;
- Il est considéré que les ZIT auront une durée de vie d'au moins 50 ans.

Pour les dommages :

- Pour chaque habitation touchée, le dommage est estimé sur base de la hauteur d'eau maximale simulée au droit du bâtiment (la durée de submersion n'est pas prise en compte, la valeur éventuelle des différents biens non plus, etc.²). :
 - o 0 € pour les hauteurs d'eau inférieures à 10 cm ;
 - o 10.000 € pour les hauteurs d'eau comprises entre 10 et 30 cm ;
 - o 15.000 € pour les hauteurs d'eau comprises entre 30 et 60 cm ;
 - o 25.000 € pour les hauteurs d'eau comprises entre 60 et 90 cm ;
 - o 35.000 € pour les hauteurs d'eau supérieures à 90 cm ; avec une hauteur d'eau supérieure à 10 cm, un dommage moyen de 15.000 € par inondation est considéré.
- Seules les inondations d'une période de retour de 5, 10, 15, 25, 50 et 100 ans sont considérées ;

² <https://www.cerema.fr/fr/actualites/cerema-ameliore-son-fichier-analyse-cout-benefice-projets>

- L'effet aval de la Messancy n'est pas considéré dans cette analyse ;
- L'évaluation est réalisée jusqu'à un horizon temporel de 50 ans.
- L'impact des changements climatiques (augmentation de la fréquence des événements extrêmes) n'est pas pris en compte ;
- Les pertes économiques liées à un arrêt des activités ne sont pas prises en compte ;
- Les dégâts environnementaux (pollution), humains et ceux subis par les infrastructures publiques (routes, réseaux, etc.) ne sont pas pris en compte.

La comparaison est effectuée entre l'état existant et les scénarios 1, 2 et 3.

La méthode d'évaluation repose sur le calcul du Dommage Moyen Annualisé (DMA)³ avec et sans mesure de protection. Le DMA permet d'intégrer les dommages associés à des crues de différentes périodes de retour en considérant leur probabilité d'occurrence. En somme, il représente les dommages attendus à long terme lissés sur chaque année.

La première étape pour estimer le DMA est d'évaluer les dommages attendus pour des crues de différentes périodes de retour (sur base des critères listés ci-avant et des résultats de la modélisation 1D-2D). Le Tableau 9-4 présente les dommages calculés pour différentes périodes de retour (et la probabilité d'occurrence associée) pour les deux scénarios.

Tableau 9-4 : Dommages calculés pour différentes périodes de retour (et la probabilité d'occurrence associée) pour les différents scénarios.

Période de retour	Probabilité d'occurrence annuelle	Dommage pour l'état existant (€)	Dommage pour le SC1 (€)	Dommage pour le SC2 (€)	Dommage pour le SC3 (€)
5 ans	20 %	15.000	15.000	15.000	15.000
10 ans	10 %	35.000	15.000	15.000	35.000
15 ans	6.66 %	430.000	25.000	25.000	75.000
25 ans	4 %	1.170.000	75.000	75.000	185.000
50 ans	2 %	1.775.000	455.000	180.000	590.000
100 ans	1 %	2.020.000	1.645.000	1.730.000	1.765.000

Sur base de ces valeurs, il est possible de calculer le DMA (pour des périodes de retour allant de 5 à 25 ans) suivant la formule ci-dessous :

$$DMA = \int_{T=5}^{T=25} D(T)p(T)dT$$

Avec : *DMA* le Dommage Moyen Annualisé (en Euros), *D(T)* les dommages associés aux différentes périodes de retour, *T* la période de retour (en années) et *p(T)* la probabilité d'occurrence associée à chaque période de retour.

Sur base de cette formule, il apparaît que :

- Le DMA pour l'état existant (sans aménagement) est de 80.000 € ;

³ https://www.cepri.net/tl_files/pdf/Guide%20methodologique.pdf

- Le DMA pour le scénario 1 est de 20.000 € ;
- Le DMA pour le scénario 2 est de 16.000 € ;
- Le DMA pour le scénario 3 est de 28.000 €.

Ces valeurs confirment que les ZIT permettent de réduire drastiquement les dommages, avec une réduction du Dommage Moyen Annualisé de :

- **75 % pour le scénario 1 ;**
- **80 % pour le scénario 2 ;**
- **65 % pour le scénario 3.**

Pour évaluer leur pertinence d'un point de vue économique, il est nécessaire d'évaluer les dommages attendus sur le long terme pour les différents scénarios, en intégrant les coûts associés à l'installation des aménagements pour les trois scénarios. Le Tableau 9-5 synthétise les résultats de cette analyse qui tend à indiquer que :

- Les trois scénarios deviennent intéressants d'un point de vue strictement économique pour un horizon temporel compris entre 15 et 25 ans, ce qui signifie qu'ils sont raisonnablement avantageux de ce point de vue-là ;
- Le scénario 2 s'avère légèrement plus intéressant sur le moyen-long terme. Cela s'explique par une diminution plus marquée des dommages évités.

Tableau 9-5 : Dommages cumulés attendus pour différents horizons temporels pour l'état existant et les scénarios 1, 2 et 3, en intégrant les coûts d'installation des aménagements. Le code couleur précise pour quels horizons temporels les différents scénarios deviennent plus avantageux économiquement (en vert) que l'état existant, ou non (en rouge).

Horizon temporel	Dommages attenus pour l'état existant (€)	Dommages attendus pour le SC1 + cout des aménagements (€)	Dommages attendus pour le SC2+ cout des aménagements (€)	Dommages attendus pour le SC3 + cout des aménagements (€)
5 ans	400.000	100.000 + 1.200.000 = 1.300.000	80.000 + 1.200.000 = 1.280.000	140.000 + 1.300.000 = 1.440.000
10 ans	800.000	200.000 + 1.200.000 = 1.400.000	160.000 + 1.200.000 = 1.360.000	280.000 + 1.300.000 = 1.580.000
15 ans	1.200.000	300.000 + 1.200.000 = 1.500.000	240.000 + 1.200.000 = 1.440.000	420.000 + 1.300.000 = 1.720.000
25 ans	2.000.000	500.000 + 1.200.000 = 1.700.000	400.000 + 1.200.000 = 1.600.000	700.000 + 1.300.000 = 2.000.000
50 ans	4.000.000	1.000.000 + 1.200.000 = 2.200.000	800.000 + 1.200.000 = 2.000.000	1.400.000 + 1.300.000 = 2.700.000

9.6 Conclusions

Cette analyse de préféabilité a montré que les scénarios retenus :

- Permettent de réduire significativement les risques d'inondations et les dommages associés jusqu'à des périodes de retour de 25 ans dépendamment du scénario considéré (actuellement, les périodes de retour de 10 et 15 ans génèrent des dommages conséquents).
- Aucun des scénarios ne permet de résoudre pleinement l'interaction complexe avec la Messancy, bien qu'ils permettent là aussi de réduire de façon substantielle les risques d'inondation en cas d'effet aval de cette dernière.
- Présentent des coûts d'installation (et potentiellement d'entretien) relativement conséquents mais semblent avantageux par rapport aux dommages encourus à moyen terme (25 ans).
- Les scénarios 1 et 2 (stockage en amont via des ZIT) offrent également une solution pour une partie des débordements localisés plus en amont (sur la commune de Messancy).
- Les scénarios 1 et 2 permettent de participer à la réduction du risque plus en aval, contrairement au scénario 3 (qui augmente le débit susceptible de transiter vers la Messancy via le pertuis de Longeau).

10 Aménagements pour les axes de ruissellement concentré

La zone d'intérêt n'étant pas sensible à des problèmes d'inondation par ruissellement direct, aucun plan d'aménagement pour les axes de ruissellement concentré n'a été développé dans le cadre de cette étude. Néanmoins, la mise en œuvre d'aménagements d'hydraulique douce sur les principaux axes de ruissellement concentré peut encore renforcer la portée des aménagements proposés. Sont listés ici les lignes directrices à suivre pour l'aménagement de ces axes de ruissellement :

1. Implémenter des solutions dès l'amont du bassin versant, notamment au niveau des principaux axes de ruissellement.
2. Privilégier, lorsque cela est possible, la mise en place d'un ensemble cohérent de petits dispositifs plutôt que des ouvrages aux dimensions et coûts plus importants (par exemple, les ZIT, les bassins d'orages, etc.).
3. Assurer la sédimentation/déposition des particules de sol transportés (suite à leur érosion) avant leur arrivée au niveau des zones touchées (par exemple, via des fascines, bandes enherbées, etc.), afin de :
 - Diminuer les dégâts et les coûts associés aux inondations.
 - Limiter l'impact de ces sédiments sur le réseau d'égouttage (colmatage, diminution de la capacité, etc.).
 - Limiter l'impact de ces sédiments sur la qualité des eaux de surface (eutrophisation, etc.).
 - Limiter le besoin d'entretien des dispositifs de stockage lorsque ces derniers sont envisagés (par exemple, le curage des zones de rétention, des fossés, etc.).
4. Ralentir de façon substantielle les vitesses de ruissellement sur les axes d'écoulements concentrés pour écrêter tant que possible les débits de pointe observés et limiter l'érosion en aval (par exemple, via des fascines, des haies, des chenaux enherbés etc.).
5. Augmenter le stockage d'eau au sein du bassin versant lorsque la configuration topographique le permet (par exemple, via des prairies inondables, des buttes mini-barrages dans les chemins creux, etc.).
6. Conduire et maîtriser la direction des écoulements au niveau des voiries et chaussées pour l'acheminer de façon contrôlée vers le réseau hydrographique et/ou le réseau d'égouttage (par exemple, via des fossés, des avaloirs en travers de la route, des inflexions de chaussées, etc.).

Pour conclure, bien que conscient de l'importance des mesures préventives (qui ont pour objectif de limiter au sein des parcelles agricoles la génération de ruissellement et/ou d'érosion des sols) et de leur efficacité potentielle, elles n'ont, dans le cadre de cette étude, pas été prises en compte comme solutions éventuelles aux problèmes d'inondations. En effet, elles nécessitent souvent une modification significative des techniques culturales qui limitent souvent leur acceptation par les agriculteurs et donc, leur efficacité réelle. Sur le long terme, cependant, il semble important d'engager un dialogue pour tenter de faire évoluer ces pratiques culturales, notamment pour les cultures sarclées qui sont les plus problématiques vis-à-vis du risque d'inondations et de coulées boueuses (par exemple, le cloisonnement des interbuttes en pomme de terre, le sous-semis entre les rangs de maïs, etc.).

11 Conclusion

L'installation de ZIT présente des inconvénients certains (couts d'installation et d'entretien, impacts environnemental et paysager). Pour autant, elles restent efficaces pour protéger des riverains qui sont relativement exposés au risque d'inondation (autant en termes de dommages matériel que de dégâts humains, qu'ils soient d'ordre physique et/ou psychologique). Considérant que la protection des riverains est indispensable, pour se prononcer sur la pertinence de l'installation de ZIT, il est nécessaire de répondre à deux questions :

- Existe-t-il des solutions offrant le même niveau de protection mais présentant moins d'inconvénients d'un point de vue économique, paysager et environnemental ?
- Est-ce que ces solutions peuvent être implémentées de façon efficiente et à relativement court terme ?

A la première question, la réponse est oui, par exemple en combinant :

- Une approche intégrée à l'échelle du bassin versant et du territoire (urbanisation, etc.) ;
- Des mesures d'hydraulique douce sur tous les principaux axes de ruissellement concentré ;
- Des protections individuelles ;
- Des protocoles/systèmes d'alerte adéquats.

Non seulement la combinaison de telles approches pourrait permettre d'atteindre des niveaux de protection similaires, mais elle offrirait également de nombreux bénéfices annexes (diminution de l'impact des périodes de sécheresses, amélioration de la biodiversité, augmentation de la résilience face à des événements plus extrêmes, etc.), particulièrement cruciaux vis-à-vis du changement climatique en cours.

A la deuxième question, l'expérience invite à une certaine prudence. En effet, en pratique, force est de constater qu'elles sont rarement mises en œuvre à l'échelle de bassin versant de cette dimension en Région Wallonne. Une des raisons est sans doute qu'elles impliquent la coopération d'un grand nombre d'acteurs qui peuvent avoir des objectifs difficiles à concilier.

Ce que cette étude montre de façon relativement claire est que des mesures de protection doivent être entreprises, le niveau d'exposition des riverains étant relativement élevé, même pour des périodes de retour relativement faibles (15 ans). Par ailleurs, ce niveau d'exposition ne va qu'augmenter au fur et à mesure que les changements climatiques s'intensifient. Dès lors, si une approche plus intégrée à l'échelle du bassin versant est jugée trop complexe et/ou incertaine à mettre en œuvre, il est recommandé de :

- Mettre en œuvre des ZIT, notamment celles proposées dans le scénario 2 (le plus efficace) et les équiper de capteurs de hauteur d'eau (nécessaires à leur entretien et pertinents à intégrer dans un système d'alerte) ;

- Promouvoir l'installation de protections individuelles (notamment rue d'Athus et rue de Longeau) ;
- Installer des mesures d'hydraulique douce au droit des principaux axes de ruissellement direct ;
- Développer des protocoles/systèmes d'alerte adéquats.

Ensemble, ces mesures permettront de protéger plus efficacement les habitants de Longeau et d'Athus.

Ces mesures ne permettront pas de se prémunir de tout risque d'inondation. Aussi, il semble important de sensibiliser les riverains à ce risque (niveau de risque, bonnes pratiques, etc.). Idéalement, les habitations les plus à risque (rue de Longeau et rue d'Athus) doivent se munir de protections individuelles.

12 Annexes

12.1 Cartes d'inondation détaillées pour l'état existant au droit de la zone à enjeux

Les cartes d'inondation détaillées par débordement de cours d'eau pour les périodes de retour 5 ans, 10 ans, 15 ans, 25 ans, 50 ans et 100 ans (modélisation hydrologique SCS-CN et hydraulique 1D-2D) sont fournies dans le dossier annexé à ce rapport.

12.2 Cartes d'inondation territoriales pour l'état existant

Les cartes d'inondation territoriales par ruissellement direct et débordement de cours d'eau pour les périodes de retour 5 ans, 10 ans, 15 ans, 25 ans, 50 ans et 100 ans (modélisation hydrologique à coefficients fixes et hydraulique 2D intégrale) sont fournies dans le dossier annexé à ce rapport.