



Drève de l'Arc-en-Ciel, 98  
B-6700 ARLON  
Tel : 063/23.18.11  
<http://www.idelux.be>

**Localisation :**

Province : LUXEMBOURG

Commune : AUBANGE

Entité : Aubange



## AUBANGE

### RUE DES HIRONDELLES Étude Hydrologique

Demandeur : Ville d'Aubange – François KINARD (Bourgmestre)

Support : Convention d'études

Validation : Collège communal du 22 janvier 2025

Article budgétaire : /

Contact : Jean LEMAIRE (Coordinateur POLLEC)

Réalisation : Frédéric ADAM

Service : Appui aux communes – Infrastructures communales

Date : Novembre 2025

Support : Papier



**SOMMAIRE**

<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>2. CANEVAS DE L'ETUDE.....</b>	<b>5</b>
2.1. CONNAISSANCE DE LA SITUATION ACTUELLE ET MODÉLISATION .....	5
2.2. DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS.....	5
<b>3. REMISE EN CONTEXTE .....</b>	<b>5</b>
3.1. INTRODUCTION .....	5
3.2. PLUIE DU 29 JUIN 2024 .....	6
3.3. CONTACTS AVEC LES RIVERAINS .....	7
<b>4. DESCRIPTION DES INFRASTRUCTURES .....</b>	<b>9</b>
4.1. ÉVOLUTION URBANISTIQUE .....	9
4.2. RÉSEAU D'ÉGOUTTAGE .....	10
4.2.1. <i>Conception</i> .....	10
4.2.2. <i>Point bas du réseau unitaire</i> .....	11
4.2.3. <i>Visualisation</i> .....	11
4.3. FOSSÉ À L'ARRIÈRE DES MAISONS (2ÈME PHASE).....	13
4.3.1. <i>Conception</i> .....	13
4.3.2. <i>Encombrement</i> .....	14
4.3.3. <i>Levé topographique</i> .....	14
4.3.4. <i>Etat des évacuations</i> .....	17
<b>5. BASSINS VERSANTS CONTRIBUTIFS.....</b>	<b>19</b>
5.1. AXES DE RUISELLEMENT .....	19
5.2. BASSINS VERSANTS.....	21
<b>6. CARACTÉRISATION DES BASSINS VERSANTS.....</b>	<b>22</b>
6.1. APPROCHE SCS-CN .....	22
6.2. TYPES DE SOL.....	22
6.3. OCCUPATION DU SOL.....	25
6.4. CURVE NUMBER.....	26
6.5. CAPACITÉ DE RÉTENTION POTENTIELLE.....	27
<b>7. PISTES DE SOLUTIONS .....</b>	<b>28</b>
7.1. PLUIES FAIBLES .....	28
7.2. PLUIES SOUTENUES.....	29
7.3. PLUIES IMPORTANTES .....	31
7.3.1. <i>Axe de ruissellement 1 &amp; 2</i> .....	31
7.3.2. <i>Axe de ruissellement 3</i> .....	33
<b>8. POINT SOULEVE PAR UN RIVERAIN .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUCTION

En juin 2024, la rue des Hirondelles à Aubange connaît de nouveau, des problèmes de ruissellement agricole. Aux dires des riverains, ces problèmes sont récurrents depuis plusieurs années mais sont de plus en plus fréquents. C'est pourquoi, il a été demandé à IDELUX Eau de mener une étude hydrologique sur cette problématique.



Les problèmes mentionnés se présentent lors de pluies soutenues, les maisons 50 à 60 rencontrent principalement des ruissellements à l'arrière de leur propriété venant des zones agricoles.

La Ville a chargé IDELUX Eau de mener cette étude sur base d'une convention dont les modalités d'exécution ont été approuvées lors du collège communal du 22 janvier 2025,

Il est demandé de :

- Caractériser le cheminement hydraulique sur l'ensemble du bassin versant contributif (égouttage, ruissellement ...)
- Appréhender le fonctionnement du réseau de collecte lors d'épisodes pluvieux importants en utilisant un logiciel de modélisation hydraulique,
- Proposer, s'il échoue, des solutions techniques visant à réduire l'impact des épisodes pluvieux dans la zone considérée tant en prévention qu'en protection.

## 2. CANEVAS DE L'ETUDE

Dans le cadre de sa mission et tel que prévu dans la convention, IDELUX Eau a suivi le plan d'étude suivant :

### ***2.1. CONNAISSANCE DE LA SITUATION ACTUELLE ET MODELISATION***

---

Des visites de terrain sont réalisées, pour d'une part, appréhender l'historique des problèmes rencontrés et pour, d'autre part, définir les coefficients d'imperméabilisation des bassins versants contributifs actuels.

L'ensemble des données est injecté dans un logiciel de modélisation hydraulique. Le modèle est ainsi créé.

### ***2.2. DIAGNOSTIC ET PROPOSITIONS DE SOLUTIONS***

---

Lorsque le modèle est affiné, plusieurs pluies de projet, chacune caractéristique d'une période de retour définie au préalable, sont introduites dans le modèle. Les valeurs des débits calculées à partir de ces pluies seront analysées, de même que les lignes des plus hautes eaux, de manière à identifier les points de dysfonctionnement hydraulique.

Consécutivement au diagnostic (identification des problèmes structurels et hydrauliques), plusieurs propositions pour améliorer la situation sont testées et détaillées.

## 3. REMISE EN CONTEXTE

### ***3.1. INTRODUCTION***

---

Afin d'appréhender le fonctionnement hydrologique et hydraulique du réseau autour de la rue des Hirondelles à Aubange, il convient dans un premier temps d'effectuer le diagnostic en utilisant pour cela l'outil informatique et la modélisation du réseau d'égouttage qui équipe le bassin versant.

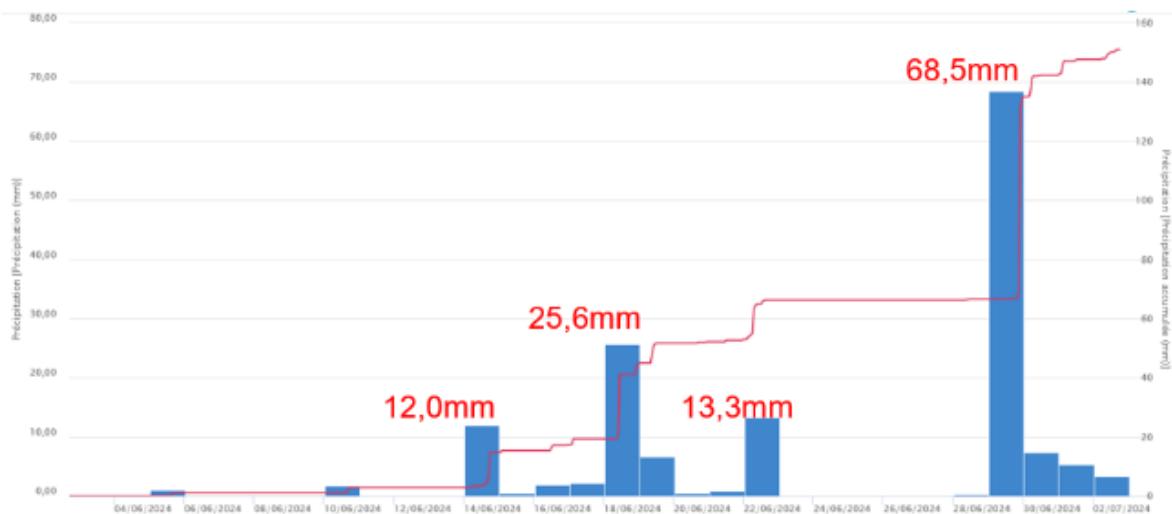
Pour ce faire, il faut avoir une connaissance assez précise du réseau ainsi que de son bassin versant contributif.

C'est pourquoi, les étapes suivantes ont été menées :

- Rencontre avec les riverains
- Utilisation de fonds de plan adéquats (Orthophotoplan, IGN, PASH, ...).
- Caractérisation du réseau (topographie, ...).
- Caractérisation du bassin versant (limite, surface, imperméabilisation, ...).
- Introduction de ces paramètres dans un outil informatique de modélisation.

### 3.2. PLUIE DU 29 JUIN 2024

Le 29 juin 2024, la commune d'Aubange a été touchée par un épisode pluvieux d'une intensité exceptionnelle, dont l'ampleur a surpris les citoyens. Au total, 68,5mm de pluie ont été enregistrés sur la journée (cf. pluviomètre du SPW situé dans l'enceinte du service travaux).



Mais c'est surtout l'intensité horaire (entre 21 et 22h) qui a marqué les esprits : 61,4 mm sont tombés en à peine une heure (référence supérieure à 200 ans selon les statistiques de l'IRM), un niveau rarement observé dans la région et qui dépasse largement les capacités habituelles d'infiltration et d'évacuation des sols comme des réseaux.

Ce phénomène soudain et concentré a entraîné une montée rapide des eaux, provoquant des ruissellements massifs en plusieurs points du territoire communal. Les terrains agricoles, déjà saturés par les pluies des jours précédents, n'ont pas pu absorber l'afflux d'eau, ce qui a généré d'importants écoulements en direction des zones habitées. L'un des secteurs touchés a été celui de la rue des Hirondelles, où les pentes naturelles du terrain ont accentué la vitesse et le volume des eaux de ruissellement.

Dans ce quartier, les écoulements agricoles ont débordé sur les voiries et se sont dirigés vers les habitations situées en contrebas. Plusieurs maisons ont été touchées : les eaux se sont infiltrées dans les garages, les caves et parfois même dans les pièces de vie. Des dépôts de boue, de végétaux et de matériaux transportés par le ruissellement ont également été constatés, aggravant les dommages et compliquant les opérations de nettoyage pour les riverains.

Suite à cet épisode exceptionnel, les riverains de la rue des Hirondelles ont d'ailleurs envoyé à la Ville d'Aubange en date du 22 juillet une pétition décrivant ce phénomène récurrent.

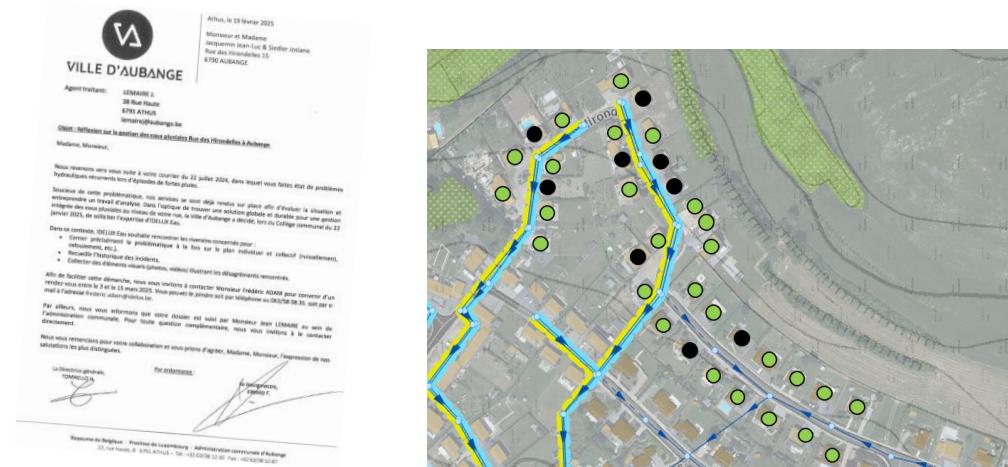


Dès l'installation du nouveau Collège de la Ville, à la suite des élections communales, une demande a été adressée à IDELUX Eau afin d'analyser le fonctionnement des ruissellements et d'identifier les solutions à mettre en œuvre. Le 22 janvier 2025, le Collège a ainsi validé une convention d'études.

### 3.3. CONTACTS AVEC LES RIVERAINS

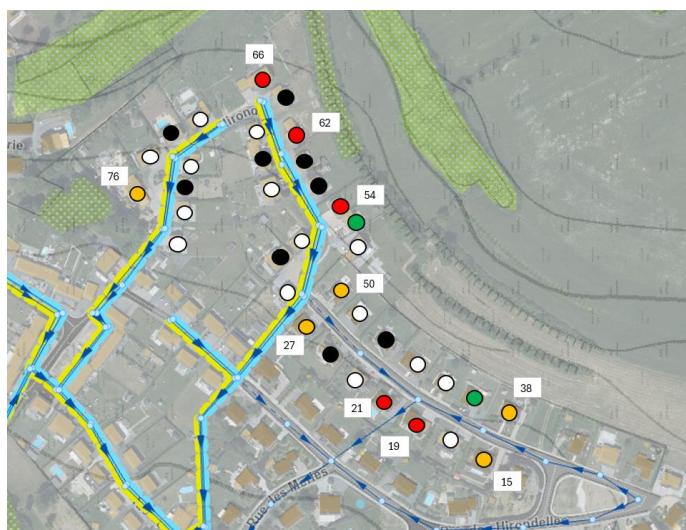
Avant d'engager une étude hydrologique, il est essentiel et primordial de prendre le temps de consulter les riverains concernés par les problématiques observées sur le terrain. En effet, ce sont souvent eux qui subissent au quotidien les conséquences des dysfonctionnements hydrauliques : inondations récurrentes, stagnation d'eau, ruissellement excessif ou encore dégradation des infrastructures. Leur expérience directe constitue une source d'information précieuse pour comprendre la nature, la fréquence et l'évolution des phénomènes.

C'est dans cette optique qu'un courrier a été envoyé, le 19 février 2025, aux 27 riverains ayant signé la pétition (habitations identifiées par un disque vert sur la carte ci-dessous), les invitant à prendre contact avec IDELUX Eau afin d'échanger sur les difficultés rencontrées.



Entre le 26 février et le 10 mars, un premier entretien téléphonique a été réalisé avec les riverains ayant répondu favorablement (12 sur 27).

Un second échange sur le terrain s'est ensuite tenu le 19 mars en début de soirée, ainsi que le 21 mars 2025 en journée.



- |                    |                           |   |
|--------------------|---------------------------|---|
| ○ Pas répondu (15) | ● Courrier non envoyé (9) | ● Ne rencontre pas de problème (2)        |
|                    |                           | ○ Rencontre des problèmes « mineurs » (5) |
|                    |                           | ● Rencontre des problèmes importants (5)  |

À l'issue de ces discussions, un classement des situations a été établi :

- 2 habitations ne présentent pas de problème ;
- 5 présentent des problèmes jugés « mineurs » (selon leur ampleur ou leur récurrence) ;
- 5 présentent des problèmes qualifiés de « majeurs ».

Le tableau ci-dessous en propose une synthèse.

Concerne	Habitation	Type
Pas de problème	N°52, N°40	- Pas de refoulement - Pas de ruissellement
Problème « mineur »	N°15, N°27, N°50, N°70, N°38	- Pas de problème hormis en juin 2024 - Infiltration - Parfois refoulement mais pas en juin 2024?
Problème « important »	N°19, N°21	- Ruissellement - Refoulement
Problème « important »	N°54, N°62, N°66	- Ruissellement - Refoulement

## 4. DESCRIPTION DES INFRASTRUCTURES

### 4.1. EVOLUTION URBANISTIQUE

L'analyse des photos aériennes permet de retracer de manière claire l'évolution urbanistique du secteur et de comprendre les modifications progressives qui ont influencé la gestion des eaux pluviales.



En 1971, le site se présentait encore comme un espace entièrement rural. L'absence totale d'habitations, d'infrastructures urbanisées et de voiries régionales favorisait une infiltration naturelle des eaux dans les sols. Les prairies, zones boisées et surfaces agricoles jouaient alors un rôle essentiel de tampon hydrologique, ralentissant et absorbant la majorité des ruissellements.

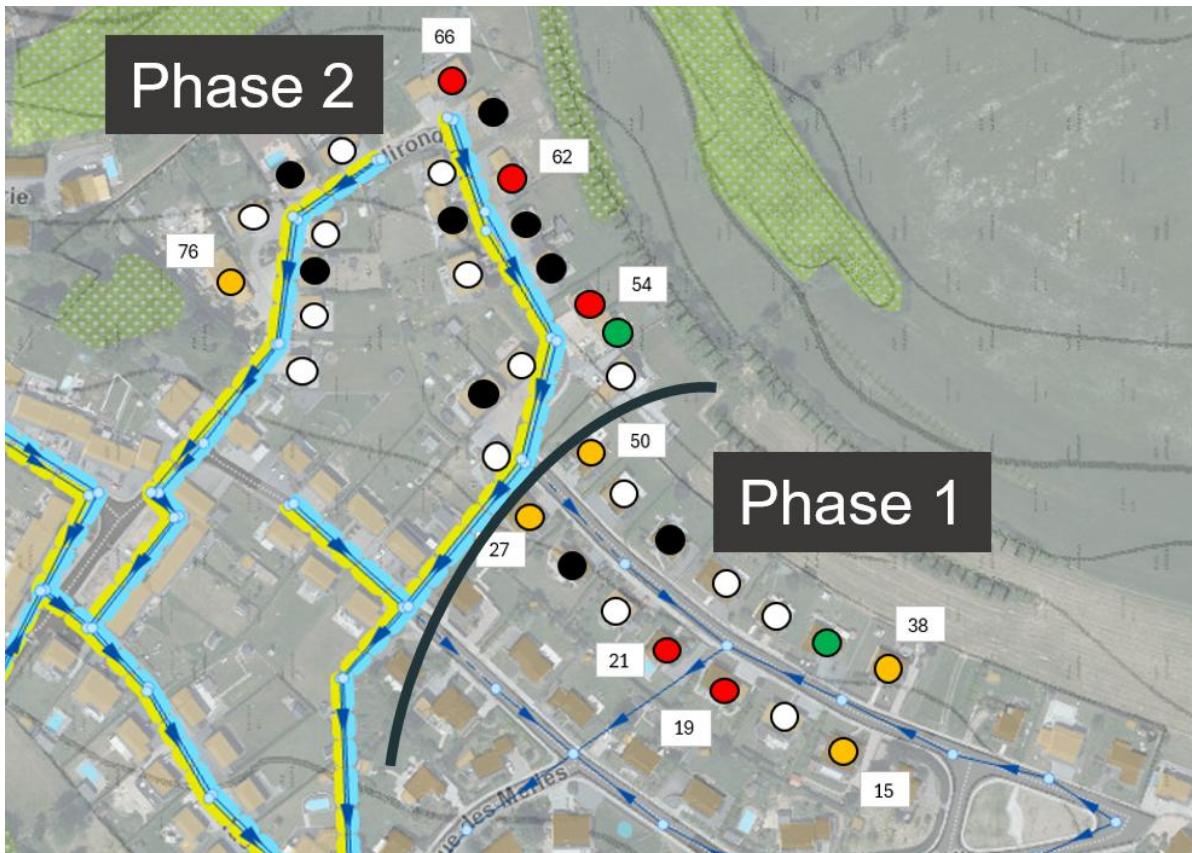
Une première phase d'urbanisation apparaît au début des années '90. Plusieurs habitations voient le jour, accompagnées des premiers aménagements routiers et des surfaces imperméables associées : toitures, allées carrossables, parkings. Cette transformation réduit la capacité d'infiltration des sols et modifie les écoulements naturels. Les ruissellements se concentrent davantage vers les points bas, augmentant localement la vitesse d'écoulement et la quantité d'eau dirigée vers les réseaux existants.

La seconde phase d'urbanisation, amorcée au début des années 2010, marque un tournant plus significatif encore. L'extension du bâti devient plus dense, les parcelles sont davantage loties et les surfaces imperméabilisées se multiplient. Les aménagements privés plus minéraux et les voiries locales sont renforcées ou élargies. Cette densification entraîne une augmentation notable des volumes d'eaux pluviales à gérer et limite les zones de dissipation naturelle. D'autant plus que ces aménagements entravent le ruissellement naturel agricole.

## 4.2. RESEAU D'EGOUTTAGE

### 4.2.1. Conception

Le réseau d'égouttage de la zone d'étude présente une configuration évolutive étroitement liée aux différentes phases de développement urbanistique.



Dans la première zone urbanisée, le système mis en place est un réseau unitaire. Celui-ci regroupe au sein d'une même conduite l'ensemble des eaux usées domestiques et des eaux pluviales. Les canalisations sont réalisées en béton et présentent un diamètre de 300 mm, dimension courante lors de la période de construction et adaptée aux besoins estimés à l'époque.

La seconde phase d'urbanisation introduit une approche différente, plus conforme aux pratiques contemporaines en matière de gestion de l'eau. Ici, le réseau d'égouttage est séparatif, c'est-à-dire qu'il distingue les eaux usées des eaux claires. Les eaux usées sont collectées au moyen de conduites en PVC de diamètre 250 mm, matériau léger, durable et adapté à un transport efficace des effluents domestiques. Les eaux claires, principalement constituées des eaux de pluie récupérées sur les toitures et les surfaces imperméables, sont quant à elles dirigées vers des canalisations en béton d'un diamètre de 400 mm. Cette différence dimensionnelle traduit la nécessité d'évacuer des volumes parfois importants lors des averses, tout en évitant la surcharge des stations d'épuration.

L'ensemble de ces infrastructures illustre une transition progressive vers une meilleure maîtrise des flux hydrauliques. Le passage d'un réseau unitaire à un réseau séparatif permet, entre autres, une réduction des risques de débordement, une optimisation du fonctionnement des stations d'épuration et une gestion plus rationnelle des eaux de pluie, aujourd'hui devenue un enjeu majeur pour les collectivités.

#### 4.2.2. Point bas du réseau unitaire

Un examen particulier est consacré à la confluence de deux réseaux d'égouttage de diamètre 300 mm, un point sensible du système d'assainissement local (RV011190).



Le premier égout (RV011200-RV011190), bien que de même diamètre que le second (RV011210-RV011190), ne bénéficie que d'un bassin versant relativement limité, ce qui réduit naturellement les volumes qui y transitent. L'égout aval (RV011190-RV011080), lui aussi en DN 300, présente en revanche une pente nettement plus prononcée. Cette inclinaison accrue lui confère une capacité hydraulique supérieure et favorise un écoulement plus rapide des eaux, créant ainsi un différentiel notable entre les deux apports au point de jonction.

Cette confluence se situe précisément à hauteur des habitations n° 19 et n° 21, où des désordres ont été observés lors d'épisodes de pluies intenses.

#### 4.2.3. Visualisation

Afin d'évaluer l'état interne des ouvrages et de détecter d'éventuels obstacles ou dépôts pouvant perturber l'écoulement, une inspection visuelle a été réalisée le 22 avril 2025 par une équipe d'IDELUX Eau. Cette vérification, effectuée par zoomage dans les différents conduits entrants et sortants, a permis de contrôler leur niveau d'encombrement et d'identifier d'éventuels dysfonctionnements au droit de la jonction. Ce diagnostic constitue une étape essentielle pour affiner la compréhension du comportement hydraulique du réseau et orienter les mesures correctives à envisager.

## Vue amont – contre écoulement – RV11190 vers RV11200



## Vue amont – contre écoulement – RV11190 vers RV11210



## Vue aval – sens écoulement – RV11190 vers RV11080



En résumé, le réseau :

- Semble en bon état
- Ne présente pas d'effondrement ou de colmatage important

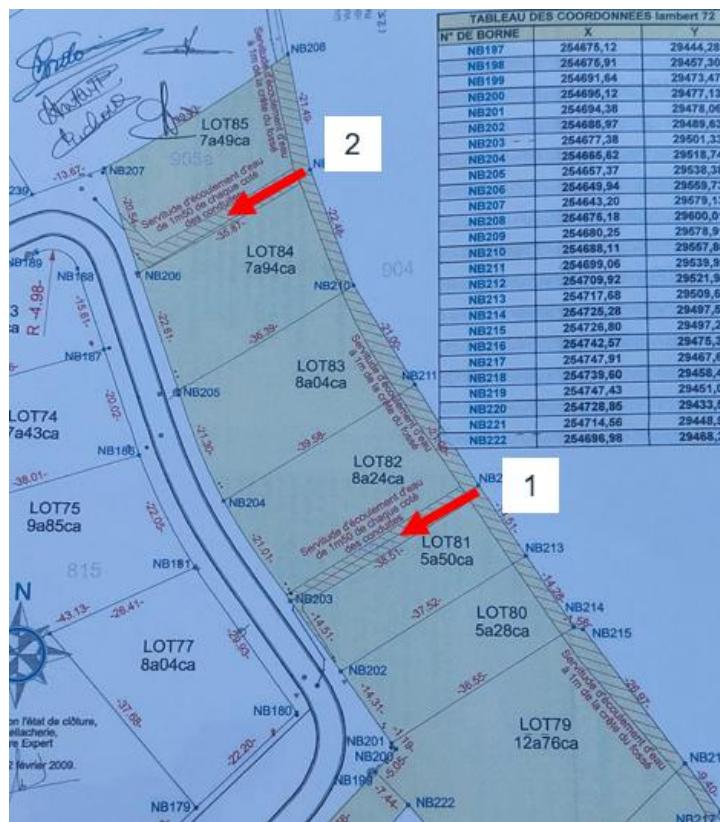
Un curage pourrait être réalisé afin d'enlever les quelques sédiments présents, notamment sur le tronçon (RV11190 vers RV11210) qui présente une pente plus faible.

#### **4.3. FOSSE A L'ARRIERE DES MAISONS (2EME PHASE)**

La deuxième phase du diagnostic des infrastructures s'est concentrée sur le fossé situé à l'arrière des maisons édifiées lors de la seconde étape d'urbanisation du secteur.

##### **4.3.1. Conception**

Ce fossé, destiné à assurer la collecte et l'écoulement des eaux de ruissellement agricole, a été officiellement matérialisé par une servitude d'écoulement d'eau à 1m de la crête du fossé inscrite en fond de parcelles sur le plan de bornage du lotissement.



Il est précisé que deux évacuations sont prévues et sont soumises également à une servitude d'écoulement d'eau de 1m50 de chaque côté des conduites.

Cette inscription permet déjà d'en définir précisément le tracé, la largeur ainsi que les obligations associées pour les propriétaires riverains. Toutefois, une analyse documentaire ne suffit pas : il est indispensable de vérifier sur le terrain la présence réelle de cet aménagement et son état actuel.

#### 4.3.2. Encombrement

Une visite de site a donc été organisée afin d'observer directement le fossé. Cette exploration a permis d'en confirmer la continuité, d'en apprécier la profondeur, l'entretien général et les éventuels points de rupture liés à des aménagements privés ou à la végétation. Les observations de terrain ont également contribué à mieux comprendre la manière dont ce fossé interagit avec les parcelles voisines et avec le maillage hydraulique local.



En résumé :

Il apparaît que le fossé ne présente pas sur tout son linéaire une homogénéité au niveau dimensionnelle ni au niveau entretien :

- Présence de sacs de sable afin de rehausser le haut de berge, pendant que d'autres ont formalisé un muret pour se protéger.
- Par contre pour d'autres l'entretien n'est pas présent ce qui diminue le bon fonctionnement hydraulique du fossé (branchages excessifs ou cunette peu présente).

#### 4.3.3. Levé topographique

En complément des observations de terrain, un levé topographique détaillé a été réalisé sur l'ensemble du linéaire du fossé. Ce relevé a permis de caractériser précisément l'évolution du radier, d'en mesurer les pentes successives et d'identifier les zones où l'écoulement peut être ralenti ou au contraire accentué. Grâce à ces données altimétriques, il a été possible de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique global du fossé, d'en appréhender les points sensibles et d'affiner l'analyse des conditions d'écoulement vers le réseau d'eau claire.



En résumé :

- le fossé démarre en bordure du terrain de la maison 66
- il existe, sous la forme de tête d'aqueduc, deux évacuations vers le réseau eaux claires de la rue des Hirondelles, RF1 qui se trouve au point bas et positionnée à l'arrière de la maison 54. La seconde RF2 se trouve plus au nord à l'arrière de la maison 62.

### Reprise de fossé 1

Cette reprise de fossé, comme dit précédemment, se trouve à l'arrière de la maison n°54 et se trouve au point bas de l'ouvrage. Au niveau de la tête d'aqueduc se trouve le départ d'une canalisation PVC qui longe la parcelle pour aller rejoindre le réseau au niveau de la voirie





### Reprise de fossé 2

Cette reprise de fossé se trouve à l'arrière de la maison n°62 et se trouve au point bas de l'ouvrage. Au niveau de la tête d'aqueduc se trouve le départ d'une canalisation PVC qui longe la parcelle pour aller rejoindre le réseau au niveau de la voirie



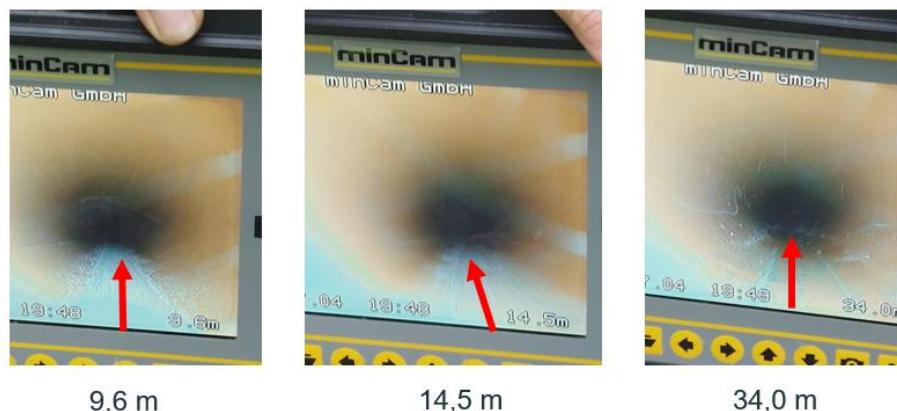
#### 4.3.4. Etat des évacuations

Enfin, un contrôle des évacuations vers le réseau d'eau claire a été entrepris via une caméra poussée par une équipe d'IDELUX Eau. Leur mission consistait à identifier les points de raccordement, à vérifier la bonne circulation des eaux et à repérer d'éventuels dysfonctionnements, obstructions ou inversions de flux. Ce travail complémentaire a permis d'obtenir une vision globale et cohérente du fonctionnement hydraulique en aval du fossé. L'ensemble de ces investigations constitue un socle solide pour la suite du diagnostic et les recommandations qui en découlent.

##### Reprise de fossé 1

Le 22 avril, une inspection endoscopique a également été menée au moyen d'une caméra poussée introduite dans les conduites partant de la reprise du fossé et se poursuivant le plus en aval possible.

Les premiers mètres montrent une canalisation en bon état et sans encombrement



Cependant, à environ 38 mètres de progression, l'inspection a révélé la présence d'embâcles, probablement situées à l'endroit où la canalisation effectue un coude pour rejoindre le réseau d'eaux claires. Cette zone constitue un point critique, d'autant plus que la connexion ne s'effectue pas par l'intermédiaire d'un regard de visite. En l'absence de cet accès, il est impossible d'inspecter le réseau en sens inverse ou de confirmer visuellement la configuration exacte du raccordement. Pour lever cette incertitude et permettre un diagnostic complet, la création d'un regard de visite s'avère indispensable. En effet, le branchement actuel se fait directement sur la canalisation d'eaux claires en voirie, sans interface accessible, ce qui limite considérablement les possibilités de contrôle et d'intervention.



### Reprise de fossé 2

L'endoscopie réalisée sur ce second tronçon, également le 22 avril, a d'abord mis en évidence une canalisation en bon état et dépourvue d'obstacles sur les premiers mètres.



Toutefois, il est rapidement apparu que son orientation réelle ne correspondait pas à celle indiquée sur le plan de bornage.



Cette divergence s'explique vraisemblablement par la configuration des lieux : la présence d'un jardin en terrasses pour l'habitation n°62 ainsi que l'implantation d'une citerne de gaz propane ont probablement nécessité une adaptation du tracé initial. La canalisation semble ainsi se diriger vers la parcelle voisine, ce qui laisse supposer qu'un coude est situé à proximité de l'antenne TV.



## 5. BASSINS VERSANTS CONTRIBUTIFS

La suite de l'étude vise à définir le bassin versant contributif associé au fossé et à ses canalisations. Cette étape est essentielle pour comprendre l'origine des eaux qui s'écoulent vers ce réseau. Le bassin versant correspond à l'ensemble du territoire dont les eaux de pluie convergent vers le point d'intérêt, ici le fossé étudié, et sa délimitation constitue la base de toute analyse hydraulique.

Pour le caractériser, plusieurs paramètres seront pris en compte. Tout d'abord, la superficie totale du bassin versant sera calculée afin d'évaluer le volume potentiel de ruissellement. Ensuite, l'occupation du sol sera analysée, car elle influence directement l'infiltration, l'imperméabilisation et la vitesse d'écoulement des eaux. Les zones bâties, les espaces verts, les jardins et les voiries seront ainsi identifiés et quantifiés pour déterminer leur contribution respective au ruissellement.

L'approche retenue repose sur l'identification des axes de ruissellement à partir de la cartographie existante. Ces axes correspondent aux chemins naturels que suivent les eaux de pluie sur le terrain. La topographie, la pente et les obstacles physiques seront pris en compte pour tracer ces lignes de flux et comprendre comment l'eau converge vers le fossé.

Une fois les axes définis, il sera possible de visualiser le bassin versant dans son ensemble, d'identifier les secteurs critiques, de repérer les zones où le ruissellement peut être plus important et d'anticiper les points susceptibles de provoquer des surcharges ou des embâcles. Ces informations permettront de compléter le diagnostic hydraulique et d'orienter les recommandations pour l'entretien ou l'amélioration du réseau.

### 5.1. AXES DE RUISELLEMENT

La démarche d'analyse du bassin versant contributif repose principalement sur l'étude des axes de ruissellement, appelés *lidaxes*, tels que définis par la cartographie officielle du SPW. Cette carte constitue un outil précieux, car elle permet d'identifier les chemins naturels suivis par les eaux de pluie en fonction de la topographie du terrain. En analysant cette cartographie, il est possible de repérer les zones de convergence, les lignes de flux dominantes et les surfaces qui contribuent réellement à l'alimentation du fossé étudié.



L'examen des données met en évidence trois axes principaux de ruissellement. Le premier, situé dans la partie la plus au nord du secteur, présente un rôle déterminant dans l'alimentation du fossé. Après avoir traversé une canalisation placée sous le chemin d'accès menant à la prairie, cet axe dirige directement les eaux vers le fossé analysé. Cette arrivée d'eau constitue l'une des contributions majeures au fonctionnement hydraulique du tronçon, notamment lors d'épisodes pluvieux intenses.

Le deuxième axe de ruissellement, quant à lui, alimente plus spécifiquement la partie sud du fossé. Sa contribution est légèrement moins importante que celle du premier axe, mais elle reste significative dans la compréhension du fonctionnement global du réseau. Son tracé témoigne d'une topographie plus progressive, où l'eau suit naturellement les pentes douces des terrains avant de rejoindre le fossé.

Enfin, un troisième axe de ruissellement, de moindre importance, apparaît au niveau de la parcelle communale située à l'est de la zone d'étude. Ce ruissellement secondaire contribue faiblement au volume global et arrive par débordement dans le réseau d'égouttage unitaire se trouvant au niveau de la voirie, mais il reste pertinent dans la mesure où il peut participer localement à la saturation des sols ou créer des apports ponctuels lors de fortes précipitations. Sa présence confirme que, même dans les zones moins marquées topographiquement, des écoulements localisés peuvent se développer.

Il est également intéressant de constater qu'une partie du territoire ne présente aucun /idaxe cartographié. Cela s'explique par le fait que ce secteur dispose d'un bassin versant contributif très limité et que l'écoulement y adopte un caractère beaucoup plus diffus. Les pentes y sont faibles et l'eau ne se concentre pas suffisamment pour former un axe de ruissellement clairement identifiable.



Ce phénomène est renforcé par la configuration du terrain, composé de prairies en terrasses successives, entrecoupées par des haies. Ces éléments agissent comme autant de ralentisseurs naturels, favorisant l'infiltration et réduisant la formation d'un ruissellement concentré.

## 5.2. BASSINS VERSANTS

À partir de l'identification des trois axes principaux de ruissellement, une étape essentielle consiste à définir précisément les bassins versants contributifs associés. Pour ce faire, l'analyse s'appuie sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) mis à disposition par le SPW, un outil offrant une représentation fine de la topographie locale. Grâce à ce modèle altimétrique, il devient possible de déterminer avec exactitude comment les eaux se déplacent à la surface du terrain et quelles zones drainent effectivement vers chaque axe de ruissellement.

La délimitation des bassins versants se fait en retracant les lignes de crête et les ruptures de pente qui orientent naturellement les écoulements. Le MNT permet également de visualiser les microreliefs, parfois non perceptibles lors d'une simple visite de terrain, mais qui jouent pourtant un rôle déterminant dans la concentration ou la dispersion des eaux pluviales.



Ainsi, pour chacun des trois axes identifiés — celui du nord, celui alimentant la partie sud du fossé et celui plus secondaire situé à l'est — un bassin versant contributif sera défini. Cette démarche permettra d'évaluer l'étendue des surfaces drainées, leur capacité d'infiltration et le volume potentiel d'eau susceptible de rejoindre le fossé en cas de pluie significative.

## 6. CARACTERISATION DES BASSINS VERSANTS

### 6.1. APPROCHE SCS-CN

La méthode SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number) est un outil largement utilisé pour estimer la quantité de ruissellement produite lors d'un épisode pluvieux. Elle repose sur un principe simple : le ruissellement dépend à la fois de la nature des sols et de l'occupation des surfaces qu'ils supportent. Le « Curve Number », ou CN, est un indice qui traduit cette combinaison de facteurs. Plus le CN est élevé, plus le ruissellement potentiel est important ; à l'inverse, un CN faible indique une forte capacité d'infiltration.

La première étape consiste à identifier le type de sol présent dans le bassin versant. Les sols sont classés en quatre groupes hydrologiques (A, B, C et D), allant des plus perméables (A, comme des sables) aux moins perméables (D, comme des argiles compactes). Ce classement influence directement la capacité du sol à absorber l'eau.

La deuxième étape consiste à caractériser l'occupation du sol : zones urbanisées, surfaces imperméables, prairies, cultures, boisements, etc. Chaque type d'occupation a un comportement hydrologique spécifique. Par exemple, une surface bétonnée génère presque uniquement du ruissellement, tandis qu'un sous-bois ou une prairie dense吸 une grande partie de l'eau de pluie.

La méthode croise ces deux informations — type de sol et occupation du sol — pour attribuer un CN à chaque portion du bassin versant. À partir de ces CN, on obtient une valeur représentative du comportement hydrologique global de la zone. Ce calcul permet ensuite d'estimer le ruissellement généré pour une pluie donnée.

### 6.2. TYPES DE SOL

Pour définir le type de sol dans le cadre de l'analyse hydrologique, un travail approfondi de cartographie croisant différentes sources d'information a été réalisé. Cette approche permet de mieux comprendre les caractéristiques physiques du terrain et leur influence sur l'infiltration et le ruissellement.

La première source examinée est la carte relative à la classe d'évacuation dans le sol, qui renseigne notamment sur l'inaptitude physique des terrains et sur la faible épaisseur de sol non saturé. Cette donnée est essentielle, car elle indique les zones où l'eau peine à s'infiltrer en raison soit d'une porosité réduite, soit d'une saturation rapide du profil pédologique.



Classe d'évacuation dans le sol  
Inaptitude physique  
Faible épaisseur de sol non saturé

En parallèle, la carte géologique constitue un autre élément déterminant. Dans le secteur étudié, elle fait apparaître la formation de Grandcourt, composée principalement de roches argilo-calcaires et d'argilite. Ce type de substrat est réputé pour sa perméabilité limitée, ce qui contribue à accentuer le ruissellement lors d'épisodes pluvieux. La présence de ces matériaux géologiques confirme déjà une faible capacité d'infiltration à l'échelle du bassin versant.



**Carte géologique**

Formation de *Grandcourt* regroupe essentiellement des roches argilo-calcaires et de l'argilite

La carte des principaux types de sols apporte une lecture plus pédologique des terrains. Elle identifie dans la zone une dominante de sols de teinte vert clair, correspondant à des sols argileux présentant un drainage naturel favorable à imparfait. Si certains secteurs bénéficient d'un drainage correct, d'autres sont caractérisés par des conditions plus contraignantes, propices à la formation d'un ruissellement significatif lorsque les précipitations sont importantes.



**Carte des principaux types de sols**

Vert clair

Sols argileux à drainage naturel favorable ou imparfait

L'analyse est complétée par la carte numérique des sols, qui offre un niveau de précision supplémentaire. Deux unités principales y apparaissent :

- **iUdb**, correspondant à un substrat de calcaire marneux et des sols argileux lourds ;
- **Udbk**, représentant des sols argileux lourds à drainage naturel imparfait, présentant une gleyification modérée.

Dans les deux cas, la dominante argileuse est fortement marquée et atteste une faible perméabilité des horizons superficiels. Ces sols retiennent l'eau et freinent son infiltration, ce qui augmente naturellement le volume de ruissellement produit sur ces terrains.



Carte numérique des sols

iUdb  
Substrat de calcaire marneux  
Sols argileux lourds  
Udk  
Sols argileux lourds  
Drainage naturel imparfait (sol modérément gleyifiés)

L'ensemble de ces cartes, mises en cohérence, permet donc d'identifier le groupe hydrologique du sol selon la classification SCS. Le tableau de référence distingue quatre groupes :

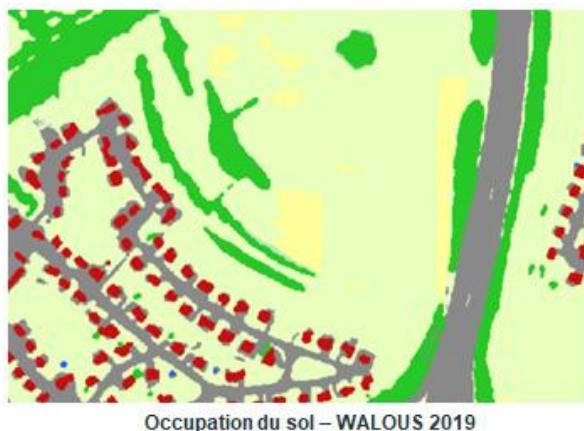
Groupe	Caractéristiques du sol	Potentiel de ruissellement
A	Sols très perméables (sables, graviers)	Faible
B	Sols modérément perméables (sablonneux)	Modéré
C	Sols à perméabilité réduite (limoneux)	Élevé
D	Sols très peu perméables (argiles, sols saturés)	Très élevé

- A** : sols très perméables, générant un ruissellement faible ;
- B** : sols modérément perméables, à ruissellement modéré ;
- C** : sols à perméabilité réduite, à ruissellement élevé ;
- D** : sols très peu perméables, générant un ruissellement très élevé.

Au vu des données recueillies — forte proportion d'argiles, drainage imparfait, substrat peu perméable — le groupe hydrologique correspondant au secteur d'étude est sans ambiguïté le **groupe D**. Ce classement confirme une capacité d'infiltration très limitée et un potentiel de ruissellement particulièrement élevé, élément fondamental pour la suite de l'analyse hydraulique.

### 6.3. OCCUPATION DU SOL

L'étape suivante du travail consiste à définir précisément l'occupation du sol au sein du bassin versant contributif. Cette analyse est indispensable, car la nature des surfaces – prairies, zones boisées, espaces urbanisés ou voiries – influence directement la quantité d'eau qui s'infiltra, celle qui ruisselle et la vitesse à laquelle ce ruissellement s'organise. Pour mener à bien cette étape, une source de données cartographique spécifique du SPW est mobilisée : WalOUS 2019, la base de référence en Wallonie pour la typologie des occupations du sol.



D'un premier coup d'œil, la carte WalOUS 2019 met clairement en évidence que le bassin versant contributif présente une majorité de surfaces en couvert herbacé. Plus spécifiquement, deux classes sont dominantes : le couvert herbacé présent toute l'année, caractéristique des prairies permanentes, et le couvert herbacé en rotation dans l'année, correspondant à des espaces gérés de manière plus dynamique, mais conservant un rôle d'infiltration relativement significatif. À ces deux grands ensembles s'ajoutent des zones de feuillus, représentatives de petites surfaces boisées ou de lisières forestières qui occupent le versant et contribuent également à limiter le ruissellement par leur capacité de rétention et leur structure végétale dense.

Cette cartographie détaillée permet de distinguer les différentes catégories d'usage des terres sur l'ensemble du territoire étudié. Grâce à un travail de croisement et de digitalisation des données, il devient possible de quantifier avec précision les surfaces correspondant à chaque type d'occupation.



Dans le cas présent, l'analyse porte plus particulièrement sur quatre classes pertinentes pour l'évaluation hydrologique : les prairies, les zones de sylviculture, les espaces résidentiels et les voiries. Ces catégories ont été retenues car elles représentent les principaux usages rencontrés dans le bassin versant et influencent de manière notable la dynamique des eaux de pluie.

	Prairie	Sylviculture	Résidence	Voirie	Total
Bassin nord	48177	1610		131	49918
Bassin intermédiaire	31534	822			32356
Bassin sud	15747		1231		16978
Total	95458	2432	1231	131	99252
	96,2%	2,5%	1,2%	0,1%	

#### 6.4. CURVE NUMBER

---

Dans la poursuite de l'analyse hydrologique, un tableau de correspondance permet de définir le Curve Number (CN) de base à utiliser pour chaque type d'occupation du sol. Ce tableau croise la nature de l'occupation — forêt dense, prairie naturelle, cultures annuelles telles que maïs ou blé, zones urbaines ou surfaces imperméables comme les voiries — avec le groupe hydrologique du sol (A, B, C ou D). L'objectif est d'attribuer un CN représentatif de la capacité du sol et de sa couverture à générer du ruissellement.

Chaque combinaison sol/occupation reçoit un CN spécifique. Ainsi, une forêt dense sur un sol très perméable (groupe A) aura un CN faible, indiquant un ruissellement limité, tandis qu'une zone urbaine imperméabilisée sur un sol peu perméable (groupe D) obtient un CN très élevé, correspondant à un ruissellement quasi immédiat. Les prairies et cultures se situent généralement entre ces extrêmes, selon leur type de sol et leur état de couverture.

Dans notre étude, le bassin versant contributif est principalement caractérisé par des prairies naturelles situées sur un sol de type D, très peu perméable. En croisant ces deux paramètres dans le tableau de correspondance, on obtient un CN de 80, valeur reflétant un potentiel de ruissellement élevé.

Type d'occupation	CN (A)	CN (B)	CN (C)	CN (D)
Forêt dense	30	55	70	77
Prairie naturelle	39	61	74	80
Culture (maïs, blé, etc.)	67	78	85	89
Zone urbaine (lotissement)	77	85	90	92
Surface imperméable (bitume)	98	98	98	98

## 6.5. CAPACITE DE RETENTION POTENTIELLE

La notion de **capacité de rétention potentielle** du bassin versant constitue un concept central dans la compréhension du ruissellement hydrologique. Elle correspond à la quantité d'eau que le sol et la couverture végétale peuvent absorber avant que l'écoulement direct ne commence. Cette capacité dépend à la fois des propriétés du sol — perméabilité, épaisseur, texture — et de l'occupation du sol, incluant la végétation, les prairies, les cultures ou les zones boisées. Les dépressions naturelles du terrain participent également à cette capacité en retenant temporairement l'eau.

Dans le cadre de la méthode SCS-CN, cette capacité est représentée par le paramètre **S**, lié au CN selon la formule :

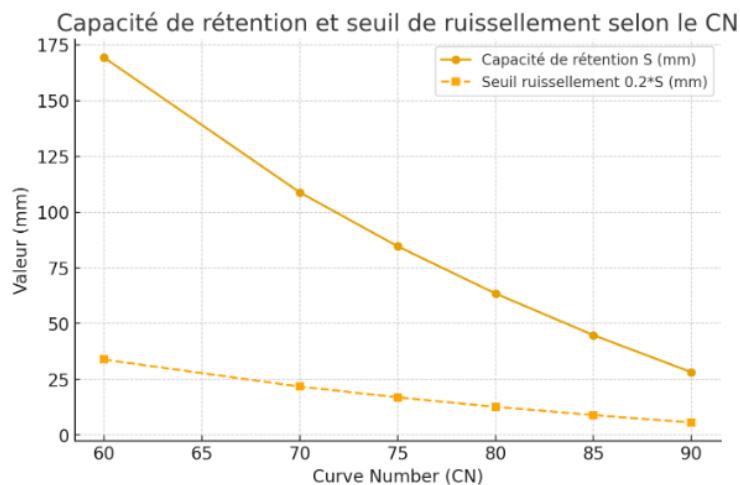
$$S = (25400/CN) - 254.$$

Pour notre bassin versant contributif, avec un CN de 80, la valeur de S est calculée à **63,5 mm**, ce qui traduit une capacité de stockage relativement limitée en raison de la faible perméabilité des sols.

Cette notion se traduit concrètement par le fait que, tant que la pluie cumulée reste inférieure à environ **0,2 × S**, soit **12,7 mm** dans notre cas, aucun ruissellement direct n'est observé. L'eau de pluie est alors entièrement absorbée par le sol, infiltrée par la végétation ou temporairement retenue dans les dépressions du terrain. Le ruissellement ne débute donc que lorsque cette capacité est dépassée.

Au-delà de ce seuil, le sol commence à se saturer et l'excédent d'eau se transforme en ruissellement direct. La vitesse à laquelle ce ruissellement augmente dépend de la saturation progressive du sol et de la continuité des surfaces drainantes. Ainsi, la capacité de rétention potentielle constitue un indicateur clé pour estimer à partir de quelle intensité de pluie le fossé étudié sera sollicité et pour évaluer le comportement hydrologique du bassin versant.

Voici un graphique illustrant la relation entre le **Curve Number (CN)** et la **capacité de rétention potentielle (S)** ainsi que le **seuil de ruissellement direct (0,2 × S)**.



On peut voir clairement que :

- Plus le CN augmente (sol moins perméable ou zone plus imperméable), plus la capacité de rétention S diminue.
- Le seuil de ruissellement direct diminue également, ce qui signifie qu'il faut moins de pluie pour générer du ruissellement.
- Dans notre étude ( $CN = 80$ ),  $S = 63,5 \text{ mm}$  et le ruissellement direct commence dès **12,7 mm de pluie cumulée**, illustrant le potentiel de ruissellement élevé du bassin versant.

Ce graphique permet de visualiser rapidement l'impact du type de sol et de l'occupation du sol sur le comportement hydrologique du bassin.

## 7. PISTES DE SOLUTIONS

Le dernier chapitre de cette étude vise à présenter et hiérarchiser un ensemble cohérent de solutions permettant d'améliorer la gestion du ruissellement au sein du bassin versant analysé. Ces recommandations sont organisées en fonction de l'intensité des pluies, car la réponse hydrologique du site – et en particulier des trois axes de ruissellement identifiés – varie fortement selon que les précipitations sont faibles, soutenues ou importantes. L'objectif est de proposer un panel d'interventions graduées, allant de simples optimisations d'ouvrages existants à des aménagements plus structurants, en tenant compte de l'efficacité hydraulique, de la faisabilité technique et de la pérennité de l'entretien.

### 7.1. PLUIES FAIBLES

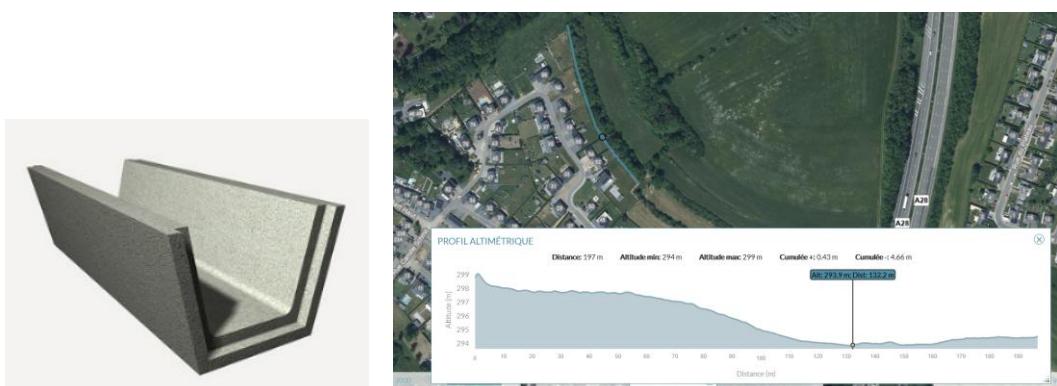
Dans un premier temps, il convient de rappeler que, pour les pluies faibles, les axes de ruissellement 1 et 2 ne génèrent que peu ou pas d'écoulements concentrés. En effet, comme démontré lors du dimensionnement hydrologique, le ruissellement direct ne débute que lorsque la pluie cumulée dépasse environ 12,7 mm, valeur correspondant à  $0,2 \times S$  pour un bassin versant caractérisé par un CN de 80. Tant que ce seuil n'est pas atteint, le sol et la végétation absorbent l'intégralité des apports, si bien qu'aucune mesure particulière n'apparaît nécessaire pour gérer ces pluies modestes. L'analyse confirme donc que, dans ce contexte, les ouvrages en place suffisent largement et ne nécessitent aucune adaptation spécifique.

## 7.2. PLUIES SOUTENUES

Lorsque les pluies deviennent soutenues, le fossé principal joue pleinement son rôle d'ouvrage de collecte des eaux de ruissellement issues notamment des axes 1 et 2. Toutefois, l'étude de terrain montre que, même si sa capacité globale est suffisante, son efficacité est pénalisée par un profil irrégulier et des discontinuités de section.



Il apparaît dès lors pertinent de recalibrer le fossé, de façon à lui conférer une géométrie homogène sur l'ensemble de son linéaire, garantissant un écoulement plus uniforme et évitant les zones de stagnation ou d'obstruction. Cette recalibration pourrait se faire, soit par un curage régulier permettant de maintenir un écoulement naturel performant, soit par l'installation d'éléments préfabriqués en béton facilitant l'entretien et limitant cumul des dépôts ou colmatages futurs.



En première estimation, le recours à des éléments préfabriqués en béton pour la réhabilitation du fossé permet d'obtenir une vision assez précise du coût de l'intervention. Sur base des prix couramment observés pour ce type d'ouvrage — soit environ 100 € par mètre courant, pose comprise, pour des modules de 1 m — l'aménagement complet du linéaire concerné, estimé à près de 200 mètres, représenterait un investissement global de l'ordre de 20 000 €. Cette approximation fournit un premier ordre de grandeur utile pour apprécier la faisabilité financière du projet.

Au-delà de l'aspect budgétaire, dans une approche de gestion intégrée des eaux pluviales, la réalisation d'un fossé en terre constitue une solution particulièrement pertinente et durable. Contrairement aux systèmes d'assainissement traditionnels reposant sur des réseaux enterrés, le fossé en terre permet de gérer l'eau au plus près de son point de chute, en respectant le fonctionnement naturel du cycle de l'eau. En recueillant les eaux de ruissellement, il ralentit leur écoulement et limite ainsi les débits de pointe lors des épisodes pluvieux, contribuant à la réduction des risques d'inondation en aval.

Le fossé en terre joue également un rôle important de stockage temporaire et favorise l'infiltration progressive de l'eau dans le sol. Cette infiltration participe à la recharge des nappes phréatiques et limite les rejets directs vers les réseaux ou les milieux naturels sensibles. Par ailleurs, la structure en terre et la présence de végétation permettent une amélioration significative de la qualité des eaux pluviales, grâce à la décantation des matières en suspension et à la filtration naturelle des polluants.

Sur le plan environnemental, le fossé végétalisé constitue un espace favorable au développement de la biodiversité locale, en offrant des habitats variés pour la faune et la flore. Il s'intègre harmonieusement dans le paysage et contribue à la création d'espaces verts fonctionnels, améliorant ainsi le cadre de vie des usagers.

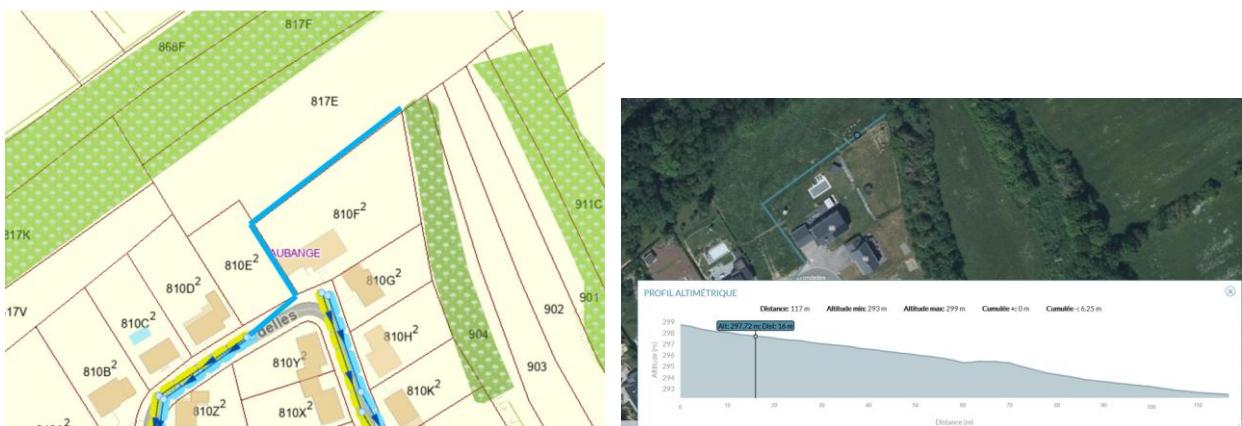
D'un point de vue économique, cette solution présente des coûts de réalisation et d'entretien limités par rapport aux ouvrages bétonnés et/ou aux réseaux enterrés. Son fonctionnement gravitaire et sa simplicité technique renforcent sa robustesse et sa résilience face aux évolutions climatiques. Ainsi, le fossé en terre s'impose comme un ouvrage multifonctionnel, conciliant efficacité hydraulique, respect de l'environnement et maîtrise des coûts, pleinement en cohérence avec les principes de la gestion intégrée des eaux pluviales.

Dans le cadre de l'aménagement du fossé, et pour pallier la mauvaise perméabilité du terrain, il pourrait être intéressant d'envisager la mise en place de redents en éléments béton. Ces seuils ponctuels, installés à intervalles réguliers, permettraient de créer de petites zones de rétention tout en garantissant un écoulement contrôlé. Leur intégration en béton présente l'avantage d'assurer une géométrie stable, durable et peu sensible à l'érosion, contrairement à des redents en terre qui pourraient se dégrader rapidement lors d'épisodes pluvieux intenses. Ces micro-barrages contribuerait à ralentir les vitesses d'écoulement, à lisser les débits de pointe et à améliorer le fonctionnement global du fossé.

## 7.3. PLUIES IMPORTANTES

### 7.3.1. Axe de ruissellement 1 & 2

Enfin, dans le cas de pluies très importantes, correspondant à des événements intenses ou exceptionnels, la capacité du fossé devient insuffisante pour évacuer la totalité des volumes générés. Lors de ces épisodes, l'axe de ruissellement 1, qui concentre les apports les plus significatifs, constitue le principal facteur de surcharge hydraulique. Pour y remédier, il est recommandé d'y installer un limiteur de débit capable de dévier une partie des eaux directement vers le réseau d'eaux claires, réduisant ainsi la pression exercée sur le fossé existant.



Ce trop-plein a pour fonction d'envoyer une fraction des eaux vers une infrastructure existante via une canalisation ou un fossé, sur une distance d'environ 120 mètres. Cette longueur est suffisante pour rejoindre le réseau dédié aux eaux claires, garantissant ainsi que les eaux de pluie ne perturbent pas le fonctionnement des systèmes d'eaux usées ou des zones sensibles en aval.

L'orientation et la pente naturelle du terrain permettent d'assurer un écoulement gravitaire des eaux, ce qui simplifie la conception. Le dimensionnement du trop-plein doit tenir compte des débits maximaux attendus lors des épisodes de pluies intenses, afin d'assurer une capacité suffisante et d'éviter tout risque de saturation.

L'emplacement du trop-plein sera choisi de manière à optimiser le raccordement avec le fossé ou la canalisation à placer, en veillant à limiter l'impact sur les terrains adjacents et sur l'environnement. La continuité hydraulique doit être respectée, et les pentes du profil en long doivent garantir un écoulement régulier, sans stagnation ni risque d'érosion excessive. L'ensemble de la solution s'inscrit dans une démarche de gestion durable des eaux pluviales, en permettant de détourner les excédents de manière sécurisée et efficace.

En première approche budgétaire,

diamètre	250 mm
largeur	0,9 m
longueur	120 m
surface	108 m <sup>2</sup>

	P.U.	Quantité	Montant
<b>1) Démolitions sélectives</b> (sciage, fraisage, démolition fondation et évacuation des déchets)	10 €/m <sup>2</sup>	108 m <sup>2</sup>	1.080 €
<b>2) Terrassements</b> (profondeur moyenne de 2m, y compris évacuation des déchets)	108 €/m	120 m	12.960 €
<b>3) Tuyaux</b> (Y compris enrobage)	50 €/m	120 m	6.000 €
<b>4) Chambre de visite</b> (on compte en moyenne une chambre tous les 50 mètres)	2200 €/p	2 p	4.400 €
<b>5) Raccordements particuliers</b>	1200 €/p	0 p	0 €
<b>6) Réfection de voirie</b> (sous-fondation, fondation et 2 couches de revêtement)	0 €/m	120 m	0 €
<b>7) Divers</b> (passage caméra 5€/m, plans as-built 1500€, état des lieux 500€, signalisation 1000€, SR 2500€)	5000 €/p	1 p	5.000 €
		<b>TOTAL</b>	<b>29.440 €</b>

### 7.3.2. Axe de ruissellement 3

Parallèlement, pour les axes 3 et 4, dont les débits restent plus faibles mais deviennent néanmoins significatifs sous fortes pluies, posent problème car la parcelle vers laquelle ils sont dirigés ne dispose d'aucun point d'évacuation pour les eaux de ruissellement.

De plus, le terrain se trouve au même niveau que le trottoir, ce qui favorise le débordement des eaux sur la voirie.

Ce phénomène est particulièrement problématique en période de gel, pouvant générer des nuisances pour la circulation et des risques pour la sécurité.

C'est pourquoi il est proposé de créer un fossé de récolte à l'arrière des parcelles urbanisées ainsi qu'un volume de rétention sur la parcelle communale, permettant de stocker temporairement les eaux avant de les restituer à débit calibré vers le réseau d'égouttage afin de ne pas le surcharger. Ce dispositif offrirait une maîtrise plus fine des apports et garantirait une meilleure résilience du système d'évacuation dans son ensemble.



Le bassin sera réalisé par décaissement et aura pour rôle de stocker temporairement les eaux de ruissellement.

Un ouvrage de sortie sera installé afin d'évacuer l'eau vers le réseau d'égouttage à débit régulé.

La faisabilité de ce projet est confirmée par :

- La superficie suffisante de la parcelle permet l'implantation du bassin sans compromettre l'accès aux parcelles adjacentes. Avec une largeur d'environ 23 mètres, elle laisse plus de 10 mètres disponibles pour la réalisation du futur accès carrossable et piéton de la ZACC.
- Le réseau d'évacuation, situé à 2,5 à 3 mètres de profondeur, permet de rejeter l'eau en toute sécurité.

Le bassin de rétention envisagé aura une capacité d'environ 300 m<sup>3</sup>, pour une superficie de 20 m x 10 m et une profondeur de 1,5 m.



Cette solution permettra de limiter le ruissellement sur la voirie et de réduire les risques d'inondation et de dégradations en période de fortes pluies.

Ainsi, la combinaison du fossé, du bassin de rétention et de l'ouvrage de sortie constitue une réponse adaptée et durable à la gestion des eaux pluviales.

Elle protège la parcelle communale, la voirie et assure un écoulement régulé vers le réseau d'égouttage.

## 8. POINT SOULEVE PAR UN RIVERAIN

Lors de la visite effectuée chez les riverains, un habitant a signalé que les derniers épisodes de fortes pluies avaient provoqué des écoulements importants.

Ces écoulements ont entraîné la détérioration d'une venelle, rendant son usage difficile et présentant un risque pour les piétons et les riverains.

La venelle, constituant un chemin d'accès pour les habitants, est ainsi devenue vulnérable face aux ruissellements concentrés.



•Venelle défectueuse



Pour régulariser cette situation, il serait pertinent de procéder à une remise en état de la venelle. Cette remise en état consisterait à réparer la surface endommagée, en assurant sa stabilité et sa durabilité.

Parallèlement, il serait judicieux de créer un rebord le long de la venelle afin de canaliser les écoulements.