



# **Etude pour l'aménagement de l'Inverse dans la traversée de Simandres**

## **Phase 1 : Diagnostic hydromorphologique**

**Diagnostic initial et étude hydraulique**



# Sommaire

1. Cadre général et contexte de l’opération .....	3
2. Synthèse et analyse des données bibliographiques existantes .....	4
3. Description de l’Inverse .....	5
4. Hydrologie de l’Inverse.....	23
5. Franchissabilité piscicole .....	25
6. Modélisation hydraulique de l’état initial .....	26
7. Synthèse hydromorphologique de l’Inverse dans la traversé de Simandres .....	30
8. Conclusion et pistes de solution .....	36
9. Annexes .....	39

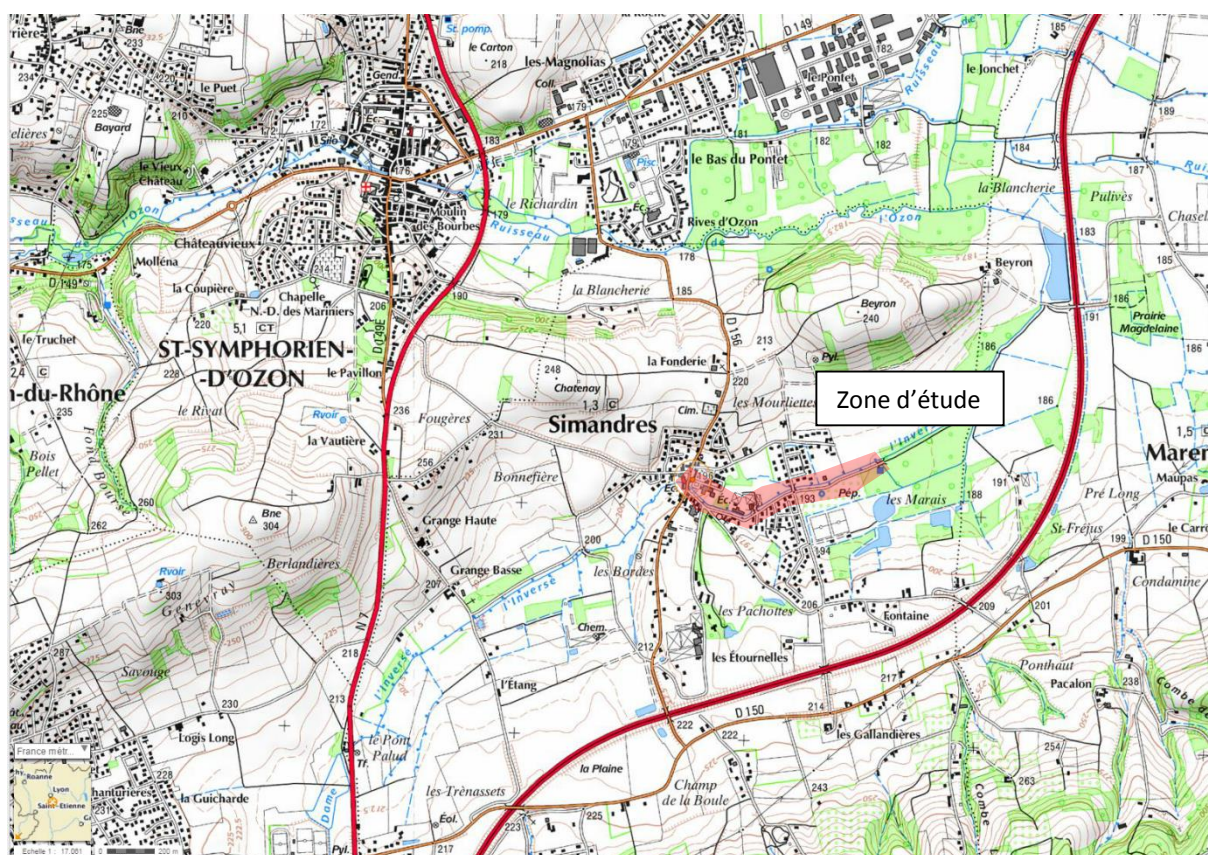
# 1. Cadre général et contexte de l’opération

L’Inverse, cours d’eau affluent de l’Ozon et situé au Sud de Lyon, présente un bassin versant (cf. annexe1) avec trois zones distincts :

- Le plateau à l’aval de Communay : l’Inverse traverse une zone rurale et plate et le lit majeur est composé essentiellement de champs cultivés.
- La traversée de Simandres : l’occupation des rives de l’Inverse dans cette traversée est forte, ce qui est fait une zone sensible et vulnérable.
- La zone à l’aval de Simandres est rurale et le lit majeur est composé de haies et de champs cultivés.

La zone d’étude se situe dans le secteur intermédiaire où l’urbanisation a créé de fortes pressions sur le cours d’eau. Celui-ci se trouve encaissé, artificialisé et avec peu d’espace de mobilité.

La zone du cours d’eau étudié est représentée sur les plans ci-après.



Source : [goeportail.fr](http://goeportail.fr)

Les objectifs de la mission et du présent diagnostic, sont dans un premier temps d’établir une compréhension fine et détaillée, du fonctionnement hydromorphologique et hydraulique, du ruisseau de l’Inverse, par :

- des investigations de terrains,
- l’analyse et la synthèse des données existantes relatives à la zone d’étude,

Dans un second temps et une fois cette phase diagnostic établi, la mission consistera à proposer plusieurs projets et à en faire une analyse multicritère afin de garder le projet le plus satisfaisant

## 2. Synthèse et analyse des données bibliographiques existantes

### 2.1. Données issues des plans généraux et de recouvrements

#### 2.1.1. LIDAR de l’OZON - CCPO

Cette donnée, exploitable principalement sous SIG, détermine la topographie sur l’ensemble du bassin versant de l’Ozon, à raison d’une densité de 4 points par m<sup>2</sup>, avec une précision de l’ordre de 10 cm.

#### 2.1.2. Plan issu des risques inondations - CCPO

Ce plan définit l’ensemble des zones inondables pour une crue de période de retour 100 ans ou plus (crue de référence). Il permet notamment d’obtenir les niveaux des cotes d’eau simulées, sur chacun des profils en travers modélisés dans l’étude.

### 2.2. Etude du PPRNI - CCPO

Cette étude, très globale, permet d’obtenir des informations sur l’ensemble des bassins versant de l’Ozon et de l’Inverse.

En ce sens, l’étude définit :

- d’une part l’hydrologie et l’hydraulique des différents affluents de l’Ozon (notamment l’inverse)
- d’autre part l’ensemble des contextes et enjeux, dans lesquels s’inscrivent ces cours d’eau.

Elle permet également d’obtenir des informations sur une partie des crues historiques du secteur.

### 2.3. Etude hydromorphologique du bassin versant de l’OZON - BURGEAP

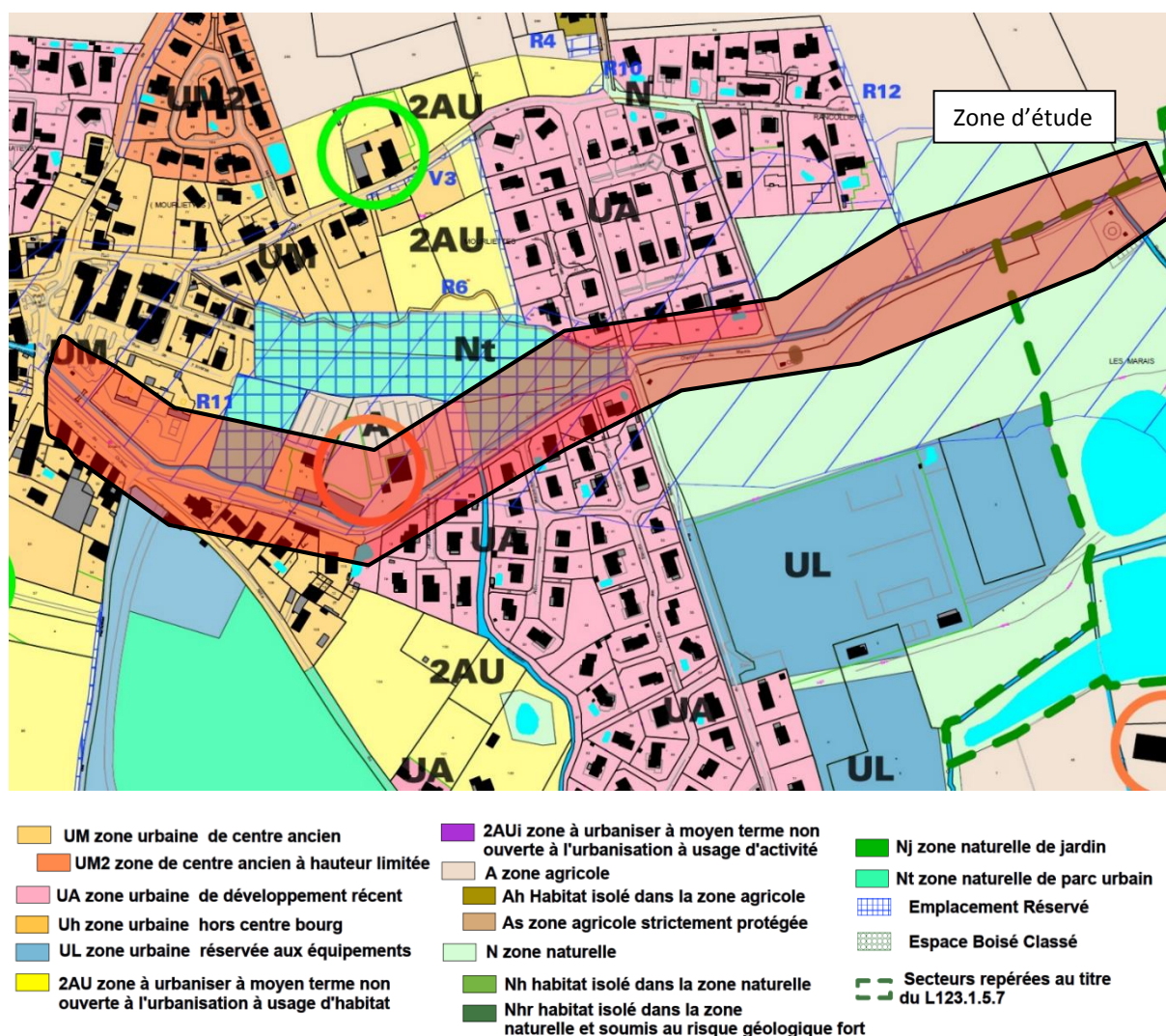
Ce document fait la synthèse générale du fonctionnement hydromorphologique du bassin versant. Il permet de définir l’ensemble des actions prioritaires à mener pour que le cours d’eau atteigne son Bon Etat (hydraulique et écologique) dans les délais impartis.

C’est une étude complète permettant de comprendre le fonctionnement du cours d’eau pour des périodes très différentes, aussi bien dans des états d’étiages, normal et en crues.

### 2.4. Plan local d’Urbanisme de Simandres

Un extrait du PLU de Simandres est présenté ci-après et permet d’appréhender les contraintes liées à l’urbanisme.





Ainsi, la zone d'étude fait essentiellement partie des zones du centre ancien, des zones de développement récent et des zones naturelles et du parc urbain.

Après étude du règlement, aucune contrainte particulière concernant ces zones, n'est à prendre en compte au regard de l'aménagement du cours d'eau dans les mesures établit du présent PLU.

## 3. Description de l’Inverse

### 3.1. Description générale de l’Inverse

C'est dans cette zone que le cours d'eau est le plus contraint notamment à cause de l'urbanisation importante à proximité immédiate du cours d'eau. D'une manière générale, on distingue sur l'ensemble du linéaire 8 secteurs différents. Ceux-ci ont été établis sur la base de l'occupation des berges rives gauches et droites, de l'espace de mobilité important ou très contraint et des conditions hydrauliques d'écoulements. Ces secteurs peuvent avoir des fonctionnements hydrauliques, morphologiques, sédimentaires et de franchissabilité piscicole similaires ou différents. Le plan en annexe 2 présente la sectorisation du cours d'eau. Un descriptif et des photographies sont présentés ci-après afin d'illustrer les propos. Les chapitres ci-après développent les tronçons homogènes sur les thématiques spécifiques citées ci-avant.



### 3.1.1. Secteur 1

Dans ce secteur amont, le cours d’eau est contraint en rive droite par un chemin piéton orné de platane puis la rue « l’allée du château » et par le parking puis le début de l’école avec des installations communales en rive gauche. Ce secteur mesure environ 50 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016

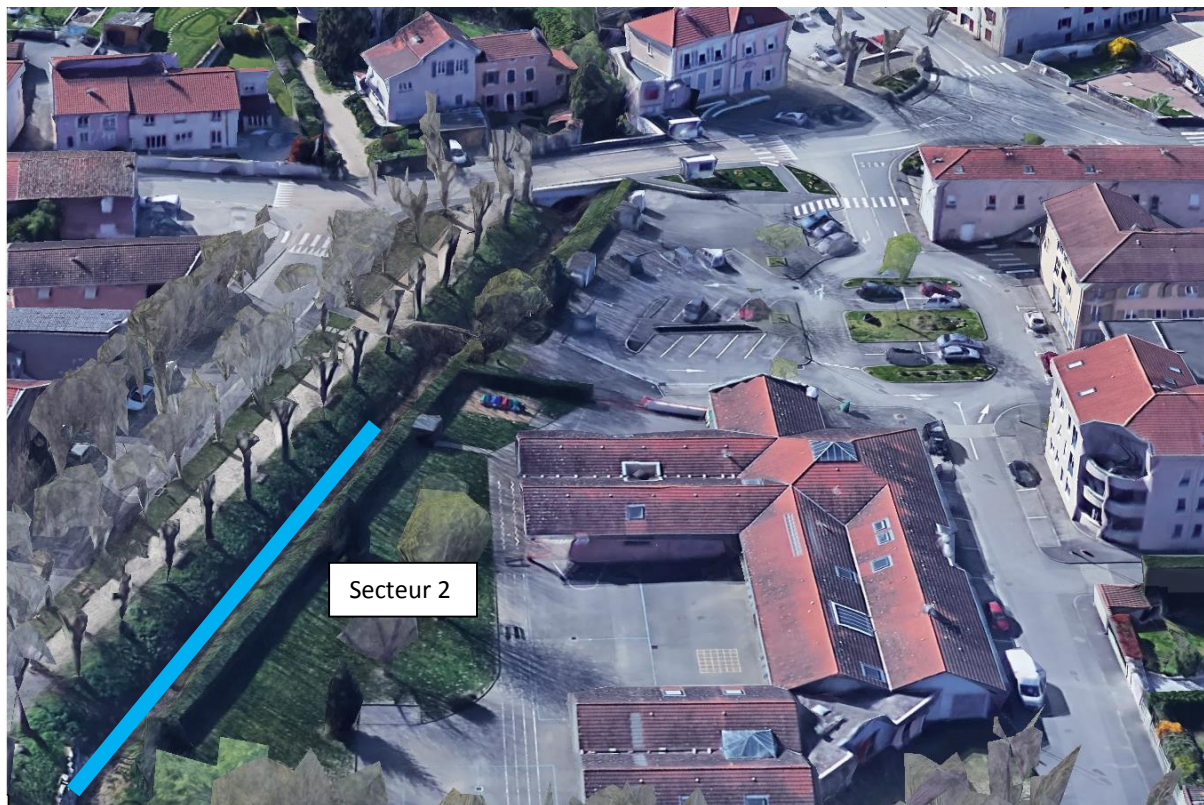


Vue du secteur 1 depuis l’aval



### 3.1.2. Secteur 2

Dans ce secteur, le cours d’eau est contraint en rive droite par un chemin piéton orné de platane puis la rue « l’allée du château » mais est moins contraint par l’école en rive gauche. Ce secteur mesure environ 80 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016

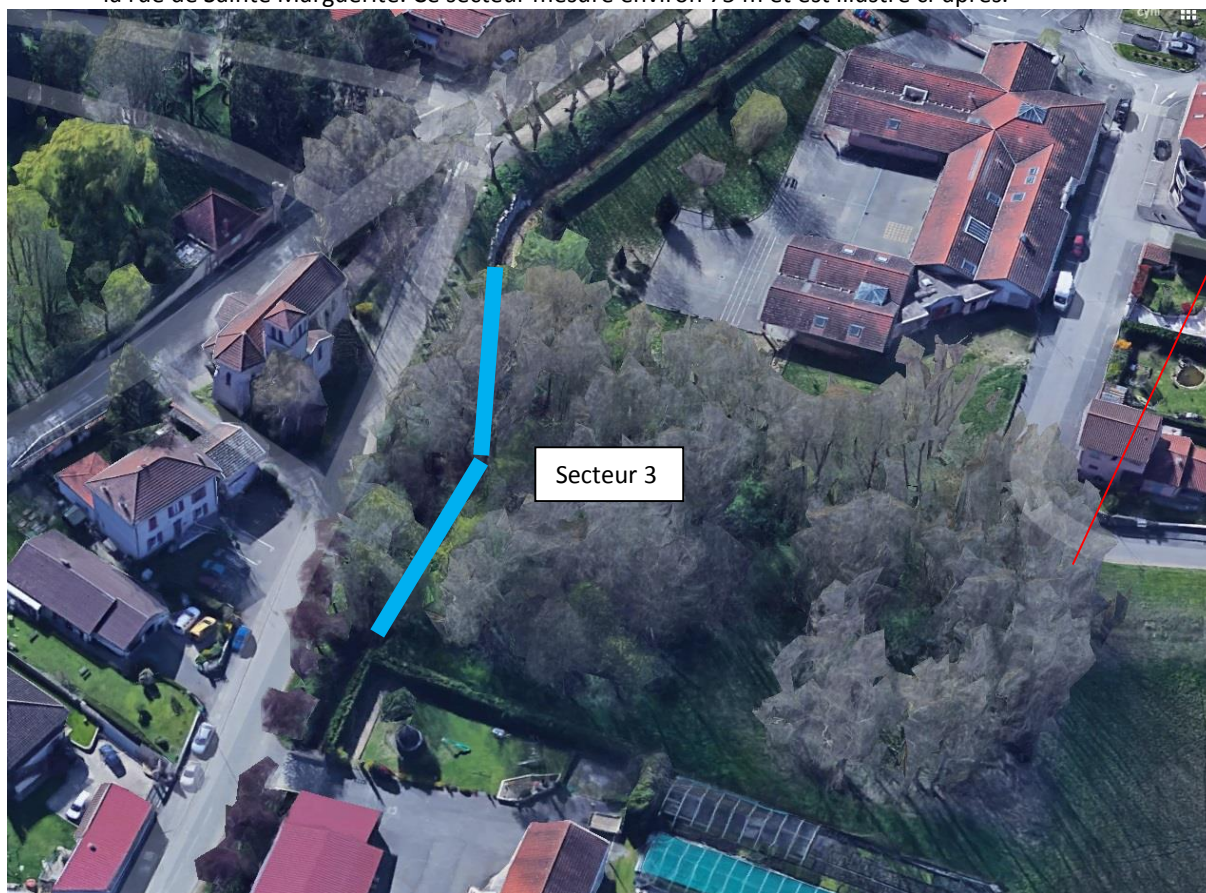


Vue du secteur 2 depuis l'amont



### 3.1.3. Secteur 3

Dans ce secteur, le cours d’eau est beaucoup moins contraint en rive droite et gauche car il s’éloigne de la rue de Sainte Marguerite. Ce secteur mesure environ 75 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016



Vue du secteur 3 depuis l'amont





Vue du secteur 3 dans sa partie intermédiaire

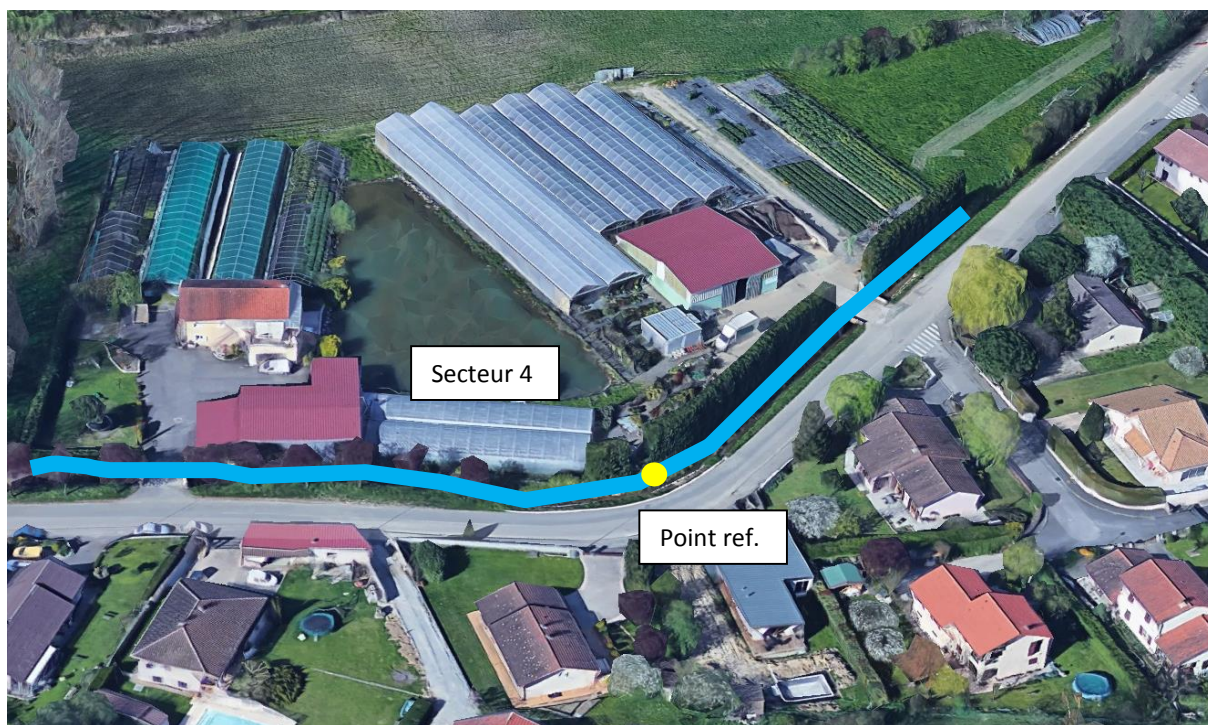


Sources : Google Image 2008

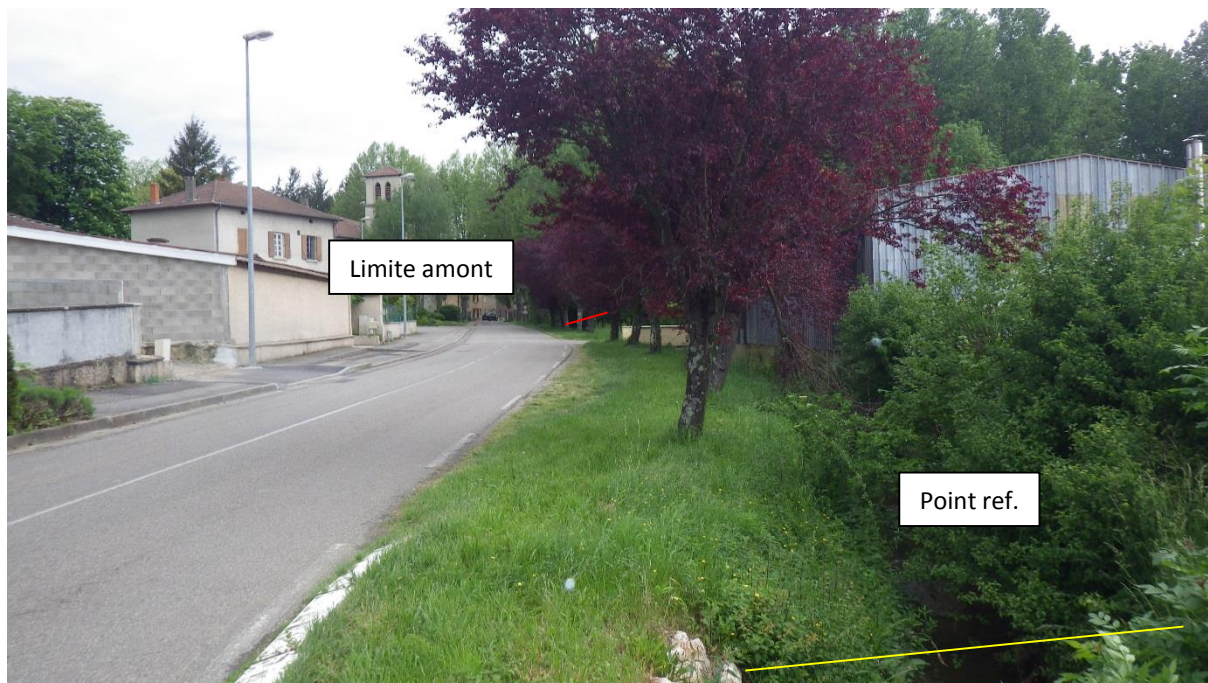


### 3.1.4. Secteur 4

Dans ce secteur, le cours d’eau est contraint au maximum en rive droite (rue Sainte Marguerite) et gauche (muret, sapin). Ce secteur mesure environ 170 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016



Vue amont du secteur 4





Vue du virage (point rèf.) et aval du secteur 4

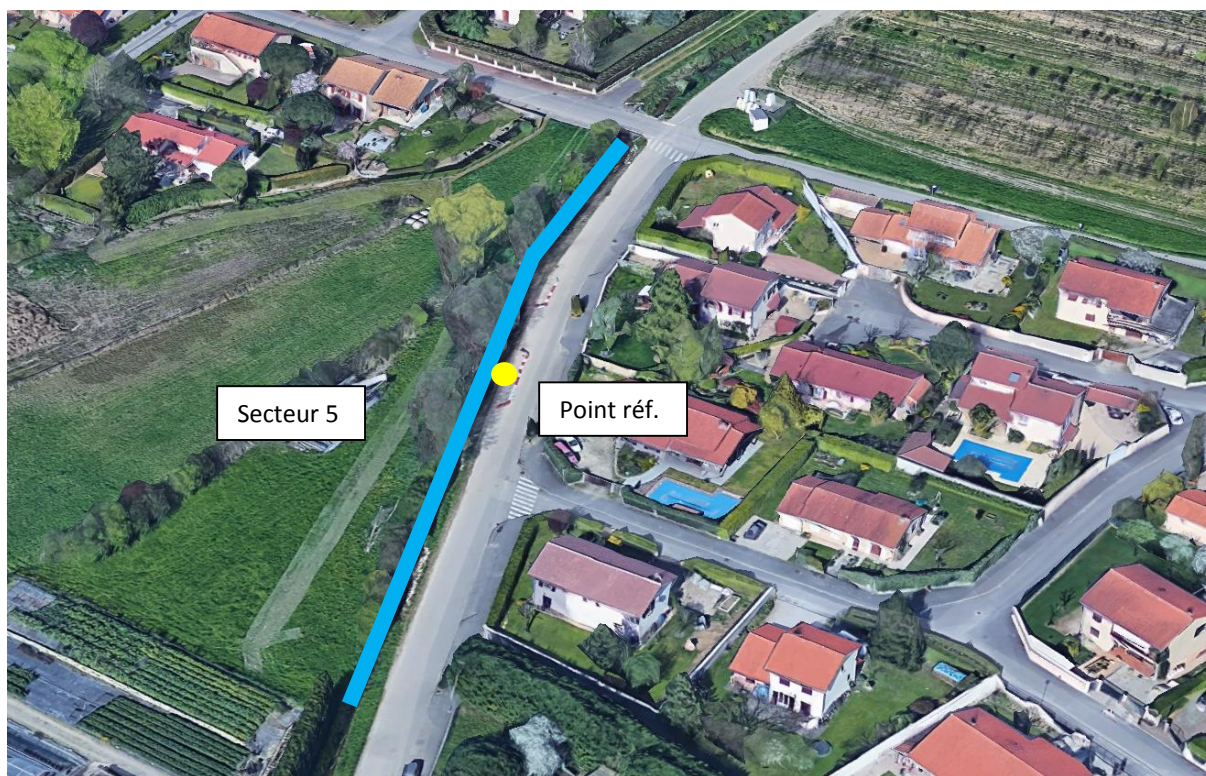


Vue du secteur 4 depuis l’aval



### 3.1.5. Secteur 5

Dans ce secteur amont, le cours d’eau est beaucoup moins contraint en rive gauche (pâture-champ) qu’en rive droite (rue Sainte Marguerite). Ce secteur mesure environ 145 m et est illustré ci-après.

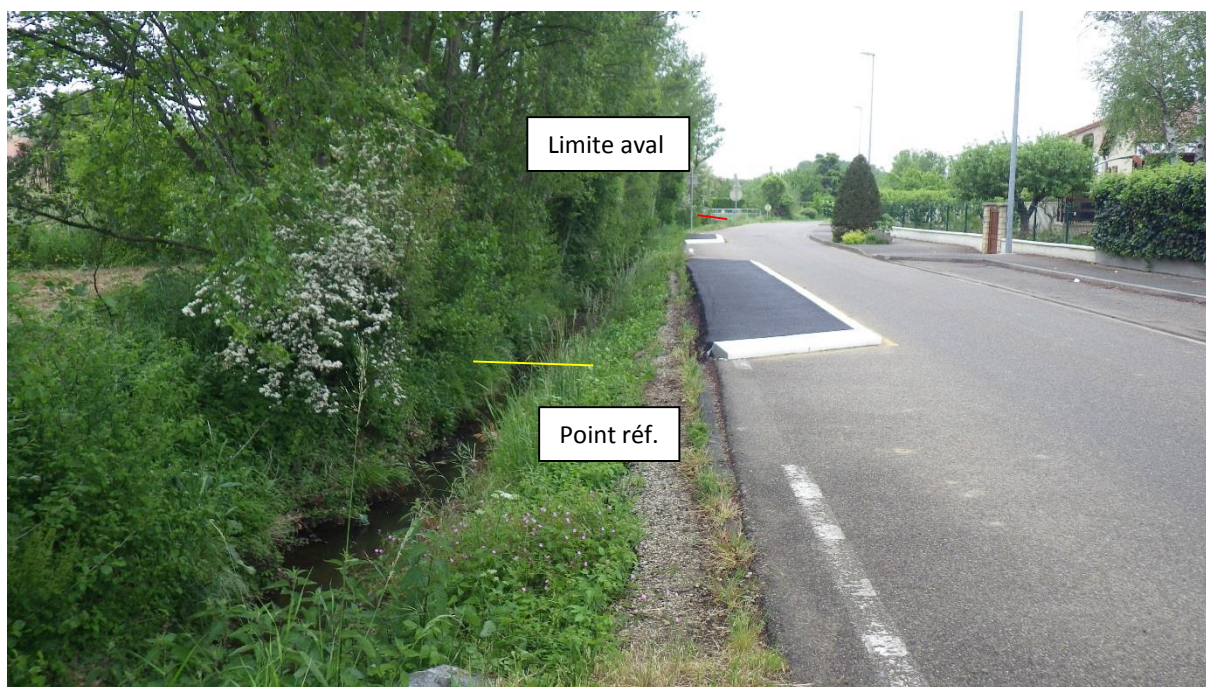


Sources : Google Image 2016 & 2008



Vue du secteur 5 depuis l'amont





Vue du secteur 5 vers l’aval au droit du point réf.



Sources : Google Image 2008



### 3.1.6. Secteur 6

Dans ce secteur, l’ouvrage hydraulique du pont du stade ainsi que toutes les canalisations traversant le cours d’eau à cet endroit, constituent un point dur. Par ailleurs, à l’aval, le cours d’eau est relativement contraint par un chemin en rive droite et par une bande de servitude communal en rive gauche. Ce secteur mesure environ 120 m et est illustré ci-après. On note la présence de Renouée du Japon sur ce secteur.



Sources : Google Image 2016



Vue du secteur 6 vers l’aval depuis le pont du stade





Présence de renouée du Japon en amont du secteur



Vue du secteur 6 depuis l'aval



### 3.1.7. Secteur 7

Ce secteur du cours d'eau est contraint par la limite de propriété (sapin) en rive gauche et par le chemin en rive droite. Ce secteur mesure environ 70 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016

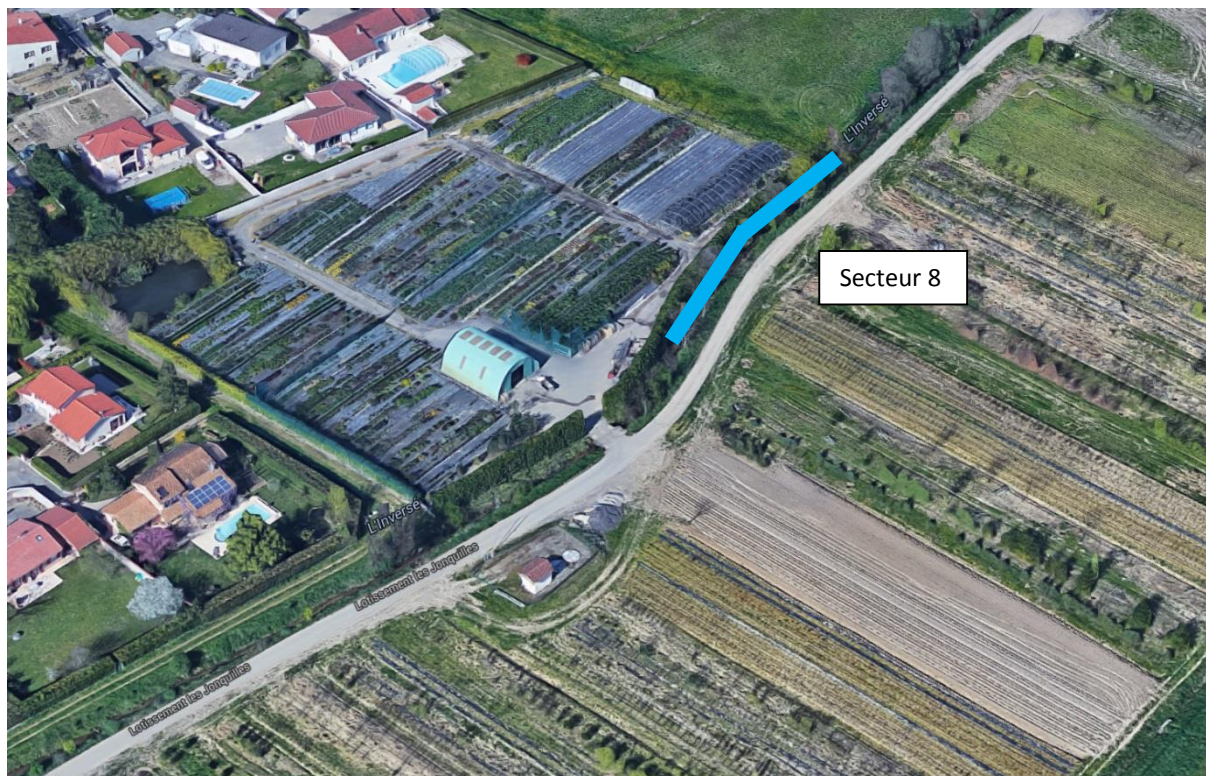


Vue du secteur 7 depuis l'aval



### 3.1.8. Secteur 8

Ce secteur du cours d’eau connaît les mêmes contraintes dans l’espace que le secteur précédent (limite propriété avec rangée arbustive et chemin) **mais possède une contrainte supplémentaire liée aux barrages de castor plus à l’aval dans le marais. L’hydraulique dans ce secteur est sous influence de la ligne d’eau aval ce qui influe sur les capacités du cours d’eau.** Ce secteur mesure environ 55 m et est illustré ci-après.



Sources : Google Image 2016



Vue du secteur 8 depuis l'amont



### 3.1.9. Secteur 9

Dans ce dernier secteur à l’aval, le chemin en rive droite constitue la seule contrainte physique. **Le cours d’eau à ce niveau reste sous influence hydraulique aval.** Ce secteur se termine environ 20 m à l’aval du dernier ouvrage hydraulique et mesure environ 185 m.



*Vue du secteur 9 depuis l’amont*

**Nota :** Le barrage de castor est situé bien plus à l’aval dans le marais (env. 50 à 100 m.)

### 3.2. Aspect morphologique de l’Inverse à Simandres

Le tracé du ruisseau de l’Inverse présente une succession de profils morphologique distincts plus ou moins éloignés d’un profil type naturel. Les variations morphologiques observées sur la commune de Simandres ne sont pas dues au réajustement du cours d’eau suite à des crues morphogènes, mais à des philosophies et des volontés d’aménagement passées.

Sur les secteurs 1 et 2, le gabarit du cours d’eau est très largement surdimensionné avec un cours d’eau en forme trapézoïdale de type Lf (Largeur en fond) \* H(Hauteur) \* Lm (Largeur au miroir) = 2.5 m \* 2.5 m \* 8.5 m.

Sur les secteurs 3, le gabarit du cours d’eau évolue beaucoup et n’a pas de gabarit type. Il a tout de même un fond de lit surdimensionné (env. 4 m).

Sur le secteur 4, le gabarit du cours d’eau a un gabarit un peu rectangulaire et de plus faibles dimensions. Il peut être assimilé à un type L(Largeur)\*H(hauteur) = 4 m \* 2.5 m.

Sur le secteur 5, le gabarit du cours d’eau est trapézoïdal et peut être assimilé à un type identique à ceux du secteur 1 et 2, et égal à 1.5 m \* 2 m \* 6 m.

Sur la fin de la zone d’étude, le gabarit du cours d’eau est semblable et assimilable à un gabarit rectangulaire de type = 5 à 6 m \* 2 à 3 m.

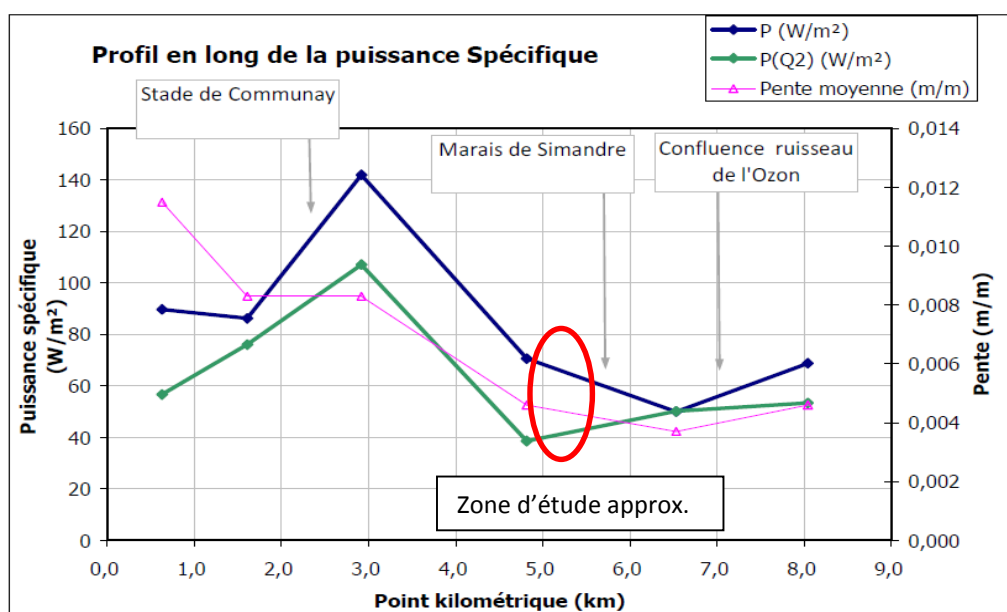
Par ailleurs sur la zone d’étude, on distingue :

- une pente de 7‰ en moyenne, sur les secteurs 1 à 3 et la moitié du secteur 4,
- une pente de 4‰ en moyenne, sur la moitié du secteur 4 et le secteur 5,
- une pente de 2‰ en moyenne, sur le reste aval de la zone d’étude (secteur 6 à 9).

### 3.3. Transport solide

#### 3.3.1. A l’échelle du bassin versant :

Dans son étude sur le bassin versant de l’Ozon, BURGEAP analyse la puissance spécifique de l’inverse sur son linéaire et définit les capacités spécifiques du cours d’eau en termes de transport solide et ses capacités à s’auto-équilibrer (cf. extrait ci-dessous).





La puissance spécifique est comprise globalement entre 35 et 50 N/m<sup>2</sup> soit une puissance moyenne. En fonction de l'érodabilité des berges (gamme 30 à 100 W/m<sup>2</sup>) et de l'apport solide, l'activité du cours d'eau est dynamique ou faible.

### 3.3.2. Au droit de la zone d'étude

Même si le potentiel de transport solide via la puissance spécifique est moyen, les surdimensionnements de gabarit du cours d'eau, et notamment, et spécifiquement, ceux des ouvrages hydrauliques, ne permettent pas un transport solide **normal**. Par ailleurs, la présence de nombreux ouvrages en travers le cours d'eau (seuils, canalisation, rondin de bois...) perturbe d'autant plus le transport solide.



Amont secteur 1



secteur 2

Ainsi, deux fonctionnements sont identifiés :

- Les zones où la pente est trop faible voire négative (contre pente), les zones sont colmatées et il n'y a pas de transport solide,



Secteur 1



Secteur 9



- Dans les zones où la pente permet le transport solide, soit le gabarit du cours d'eau est surdimensionné et dans ce cas on observe des accumulations solides (souvent visible au droit des ouvrages), soit le gabarit du cours d'eau est normal et dans ce cas, le cours d'eau a un fonctionnement normal et travaille en fonction du débit et des crues morphogènes.



Gabarit surdimensionné =  
fonctionnement perturbé

OH n°3 , secteur 4



Fonctionnement peu  
ou pas perturbé

Secteur4



Fonctionnement peu  
ou pas perturbé

Secteur 5

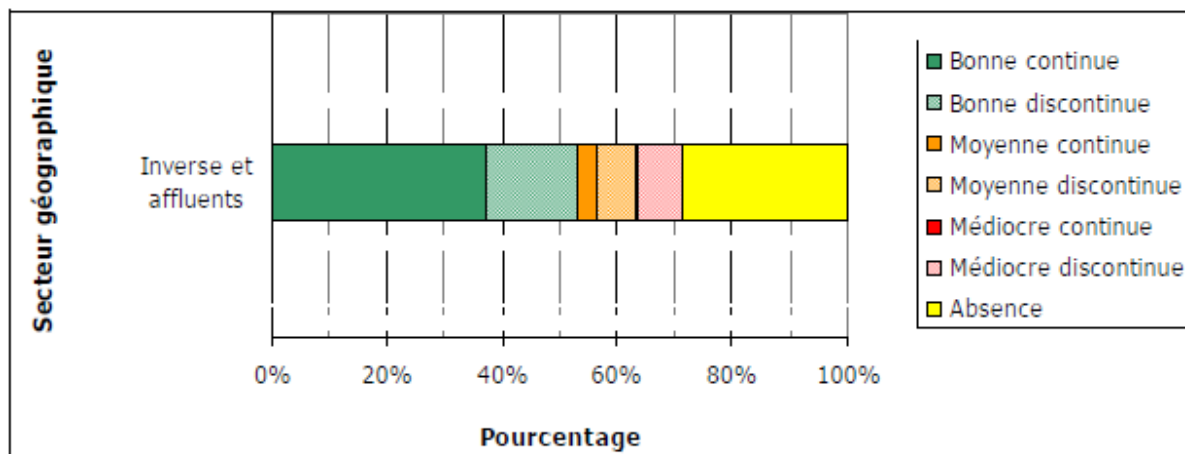


Secteur5

### 3.4. Ripisylve et lit majeur

#### 3.4.1. A l’échelle du bassin versant

A l’échelle du bassin versant, l’état de la ripisylve est abordée à l’aide des études réalisées par BURGEAP dans le cadre de son étude sur l’ensemble du bassin versant de l’Ozon. Pour l’inverse, l’état des lieux définit l’état de la ripisylve de l’Inverse de la manière suivante :



Les linéaires en bon état ne représentent que 53% du linéaire de ripisylve total. Les dégradations sont dues aux aménagements présents sur les berges et à la pression anthropique (zones urbaines) qui limite fréquemment la ripisylve. Le fort taux d’absence totale (28%) est dû aux passages dans les zones urbaines de Communay et de Simandres.

#### 3.4.2. Sur la zone d’étude

La ripisylve sur le cours d’eau, au droit de la zone d’étude, est très limitée voire inexistante. Il s’agit principalement de

Secteur	Rive Gauche	Rive Droite
1	Haie arbustive paysagère (continue et env. 1 m de haut)	Platane (env. 1 arbre/7 à 8 m)
2	Haie arbustive paysagère	Platane (env. 1 arbre/7 à 8 m)
3	Ripisylve discontinue : Erable et Aulne (env. 90 %), Sureau, Cornouiller	
4	Thuya (continue et env. 8 m de haut)	-Cerisier du Japon (env. 1 arbre /7m) sur 50 % - Néant sur 50 %
5	Ripisylve discontinue : Cornouiller (env. 90%), Aubépine, Sureau, Erable et Aulne	Néant
6	Haie arbustive paysagère (présence de Renouée du Japon)	Haie arbustive paysagère
7	Thuya (continue et env. 3 à 4 m)	Néant
8	Thuya (continue et env. 3 à 4 m)	Néant
9	Ripisylve discontinue : Sureau (env. 90%), Aubépine	Ripisylve discontinue : Sureau (env. 90%), Aubépine

Cette composition est très limitée et ne constitue pas une ripisylve suffisante, variée et que l’on peut attribuer aux berges de cours d’eau (sauf secteur 3). Elle peut être qualifiée de dégradé.

## 4. Hydrologie de l’Inverse

Dans son étude hydromorphologique sur l’ensemble du bassin versant de l’Ozon, BURGEAP définit 4 tronçons homogènes pour décrire le fonctionnement de l’Inverse. Les résultats de cette étude sont utilisés pour définir les différents régimes hydrologiques de ce cours d’eau au droit de Simandres (cf. tronçon homogène INV2.2).

Les résultats à retenir des études précédentes sont :

UNITE FONCTIONNELLE	Cours d'eau	UNITE HOMOGENE	Limite amont	Limite aval	Linéaire (m)
<b>INVERSE</b>					
<b>INVERSE.1 - Affluents amont de l'Inverse</b>	Rau du Limon	<b>INV 1.1</b>	Combe de la Forêt du Roi	Confluence R. de la Dame	1259
	Plan et Combeau	<b>INV 1.2</b>	Puits Espérance	Confluence R. de la Dame	1855
	R. de la Dame	<b>INV 1.3</b>	Salla	Stade de Communay	2615
<b>INVERSE.2 - Inverse de Communay à la confluence avec l'Ozon</b>	Inverse	<b>INV 2.1</b>	Stade de Communay	Les Bardes	1817
	Inverse	<b>INV 2.2</b>	Les Bardes	Les Marais	1876
	Inverse	<b>INV 2.3</b>	Les Marais	Confluence R. de l'Ozon	1555
	Inverse	<b>INV 2.4</b>	Confluence R. de l'Ozon	Confluence Ozon	1471

Pour les débits faibles et moyens, l’étude précédente donnent les résultats suivant :

Localisation	Cours d'eau	Superficie du BV (km <sup>2</sup> )	Point kilométrique (km)	Débit QMNA5 (l/s)	Débit spécifique ETIAGE (l/s/km <sup>2</sup> )	Débit module (l/s)	Débit spécifique MODULE (l/s/km <sup>2</sup> )
<b>Inverse</b>							
Stade de football de Communay	Inverse	7,1	2,61	<b>0,8</b>	0,1	<b>1,6</b>	0,2
Marais de Simandres	Inverse	17,3	6,4	<b>6,8</b>	0,4	<b>14,6</b>	0,8
Prairie Magdeleine	Inverse	18,3	7,1	<b>7,7</b>	0,4	<b>16,4</b>	0,9
Aval Confluence R.Ozon	Inverse	22,3	7,95	<b>29,2</b>	1,3	<b>62,6</b>	2,8
Aval confluence Ozon	Inverse	27,3	9,42	<b>132,7</b>	4,9	<b>281,7</b>	10,3

Pour le débit morphogène, l’étude hydromorphologique envisage les résultats suivants :

Unité Fonctionnelle	Tronçon	Cours d'eau	Superficie (km <sup>2</sup> )	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	Débits spécifiques (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
INVERSE.1 - Affluents amont de l'Inverse	INVERSE-1.1	Rau du Limon	1,69	1,23	0,73
	INVERSE-1.2	Fossé du Plan et du Combeau	3,44	<b>1,62</b>	<b>0,47</b>
	INVERSE-1.3	Ruisseau de la Dame	7,14	3,08	0,43
INVERSE.2 - Inverse de Communay à la confluence avec l'Ozon	INVERSE-2.1	Inverse	13,15	<b>4,60</b>	<b>0,35</b>
	INVERSE-2.2	Inverse	17,34	5,43	0,31
	INVERSE-2.3	Inverse	22,31	<b>6,92</b>	<b>0,31</b>
	INVERSE-2.4	Inverse	22,86	7,09	0,31

Pour les débits de crues, l'étude détermine les valeurs suivantes :

N°	Identification du sous bassin versant	S (km <sup>2</sup> )	Débits retenus (m <sup>3</sup> /s)					Ratio Q100/ Q10	q100 (m <sup>3</sup> /s/ km <sup>2</sup> )
			2	5	10	50	100		
7	BV du Valentin à la confluence avec l'Ozon	1,8	2,2	3,5	4,4	8,6	11,0	2,5	6,0
8	BV du Renonceaux à la confluence avec l'Ozon	3,0	1,4	2,6	3,2	6,0	8,2	2,5	2,7
9	SBV du Putaret à Chaponnay	3,1	1,5	2,6	3,3	6,2	8,3	2,5	2,6
10	BV du Putaret à la confluence avec l'Ozon	7,3	2,5	4,5	5,6	10,6	14,4	2,6	2,0
11	BV du ruisseau du Bié à Chaponnay	1,2	1,5	2,4	3,0	3,9	7,8	2,6	6,3
12	BV du Vernatel à Chaponnay	2,1	1,1	2,4	3,0	6,0	7,9	2,6	3,8
13	SBV de la Combe des Fausse en amont de Marennes	1,6	1,5	2,4	3,0	6,1	8,2	2,7	5,0
14	SBV du ruisseau de l'Ozon de Marennes à l'Inverse	6,1	2,2	3,9	4,8	9,1	12,2	2,5	2,0
15	BV du Fossé du Plan et du Combeau	3,4	1,6	2,9	3,6	6,7	9,1	2,5	2,6
16	SBV amont de l'Inverse à Communay	3,5	1,6	2,9	3,6	6,9	9,4	2,6	2,7
17	SBV de l'Inverse à Simandres	13,2	4,6	8,4	10,5	18,3	23,2	2,2	1,8
18	BV de l'Inverse à la confluence avec le ruisseau de l'Ozon	22,3	7,0	12,8	16,0	26,4	32,1	2,0	1,4

Ces débits sont calculés à l'aide d'une modélisation hydrologique et ne tiennent pas compte des zones de ralentissement dynamique, ni de celles d'écèlement et d'expansion de crues. Ce débit est donc majorant.

Le PPRI sur les communes faisant partie de la CCPO, prend en référence pour ces calculs, les éléments du tableau suivant :

Cours d'eau	lieu	Surface km <sup>2</sup>	Q <sub>10</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /s
Ozon	amont remblai RN 7	53	19	27
Ozon	confluence Rhône	78,4	20	29
Inverse	confluence Ozon	23,2	11,7	16,5

Tableau 2 : débits de référence de l'Ozon & de l'Inverse



En conclusion, les caractéristiques hydrologiques du ruisseau de l’Inverse, au droit de la zone d’étude, sont résumées dans le tableau ci-dessous.

T (période de retour)	Débit de l’Inverse (en m <sup>3</sup> /s)
Etiage (QMNA5)	0.007
Module	0.015
2	5.43
5**	6.3
10*	6.65
50**	8.58
100*	9.4

\* Valeurs estimées par rapport à la valeur du PPRI avec ratio de surface

\*\* Valeurs intermédiaires calculées par ajustement afin d’être cohérent aux données PPRI.

## 5. Franchissabilité piscicole

La franchissabilité d’un ouvrage hydraulique se fait selon plusieurs critères et pour différentes espèces cibles. Le protocole ICE permet de définir de manière très précise la franchissabilité d’une structure, d’un ouvrage et d’un cours d’eau.

Celui-ci précise notamment des groupes d’espèces ayant des caractéristiques natatoires et morphologiques similaires. Il permet également de donner un aperçu des vitesses et hauteurs d’eau nécessaires à la franchissabilité totale, partielle, temporaire ou même nulle d’un ouvrage.

L’**Annexe 3** présente un tableau de synthèse concernant les groupes de poissons considérés ainsi que leurs vitesses, leurs capacités de saut et les hauteurs minimales d’eau pour rendre l’ouvrage franchissable.

Dans le cadre de la présente étude, il convient de considérer les groupes de **la Truite Fario (*Salmo trutta*-groupe 4 a et b) et de la Lamproie de Planer (*Lampetra planeri*-groupe 9b)** car l’arrêté frayères Rhône (69) définit le cours d’eau au droit de Simandres comme étant susceptible d’être une zone d’alimentation, de croissance et de frayères pour ces espèces et leurs espèces d’accompagnement.

Ainsi, les contraintes de franchissabilité suivantes, doivent être prises en considération :

- **Hauteur minimale d’eau : 10 cm,**
- **Vitesse maximale : 1.5 m/s (avec une vitesse de nage moyenne d’environ 0.5 m/s),**
- **Capacité de saut : Aucune pour le groupe 9b, 0.5 à 0.9 en moyenne pour le groupe 4.**

**La modélisation hydraulique présentée ci-après permet de définir précisément les conditions de franchissabilité des ouvrages hydrauliques.**

On peut d’ores et déjà, au vu du diagnostic terrain, établir les éléments suivants concernant la franchissabilité de la zone d’étude :

- La franchissabilité au droit des ouvrages est difficile du fait de l’étalement de la ligne d’eau (**débit équivalent à 3\* module**).
- Des seuils sont localisés au droit des secteurs 1, 2, 3 et 6 (à minima). Ils sont dus à la présence de canalisations, de rondins de bois en travers et des enrochements. Ceux-ci rendent infranchissable la zone au regard des capacités de saut nulles pour les espèces du groupe 9b.

Nota : Il convient ici de signaler la présence de nombreux individus du groupe 9 dans le cours d’eau lors de la visite de terrain.



## 6. Modélisation hydraulique de l’état initial

L’objectif de la présente étude est de diagnostiquer le cours d’eau de l’inverse dans sa traversée de Simandres afin de proposer des pistes d’améliorations, hydrauliques, morphologiques, sédimentaires et piscicoles selon les différents secteurs identifiés dans les chapitres précédents.

### 6.1.1. Choix du modèle hydraulique

Notre démarche s’appuie sur les principes suivants :

- Création d’un modèle hydraulique sur la base de la campagne topographique de relevés et à l’aide des informations obtenues (bibliographies, terrains, ...).
- Simulation sur une gamme de débits afin de caractériser le fonctionnement hydraulique, dynamique et morphologique du cours d’eau,
- Modélisation de différents scénarii, analyse des résultats pour analyse multicritères (phases 2).

### 6.1.2. Présentation du logiciel de simulation

HEC RAS est un code de calcul de ligne d’eau en rivière, développé par l’armée américaine (US Army Corps of Engineers : USACE).

Il fonctionne en régime permanent ou graduellement varié.

Les quatre principales hypothèses de fonctionnement sont les suivantes :

- L’écoulement à une direction privilégiée (écoulement 1D) correspondant à l’axe principal. Les écoulements complexes en lits majeurs ne sont donc pas modélisables,
- Les vitesses transversales sont négligeables de sorte que le niveau est horizontal dans la direction perpendiculaire à celle de l’écoulement,
- La répartition de la pression est hydrostatique. Cette hypothèse revient à négliger l’accélération verticale devant la pesanteur, la pression dans le fluide en mouvement peut alors être assimilée à celle d’un fluide au repos,
- La courbure des lignes de courants doit rester faible, les écoulements dans des fortes pentes (>10%) sont ainsi exclus.

Sur le tronçon étudié il est tout à fait possible de mettre en place ces hypothèses.

Le principe de ce modèle repose principalement sur l’équation de Bernoulli, résolue par discrétisation :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Avec :

Y2 et Y1 : hauteurs d’eau au niveau des sections 1 et 2,  
 Z2 et Z1 : niveaux du fil d’eau au niveau des sections 1 et 2,  
 V2 et V1 : vitesses moyennes de l’eau au niveau des deux sections,  
 $\alpha_2$  et  $\alpha_1$  : coefficients de répartition des vitesses,  
 g : accélération de la pesanteur,  
 $h_e$  : perte de charge entre les deux sections.

Il résout les équations des ressauts en mode unidimensionnel : les vitesses et les lignes d’eau sont considérées comme constantes sur un profil en travers donné de la rivière.

Le modèle permet de spécifier différents coefficients de rugosité sur chacun des profils en travers et prend en compte différents types d’ouvrages tels que ponts, seuils, passages busés sous différentes conditions de fonctionnement (à surface libre ou en charge, noyé ou dénoyé).



### 6.1.3. Topographie utilisée pour le modèle

#### (Cf. la localisation des profils modélisés sur l’Annexe 4).

Pour définir un modèle représentant au mieux le cours d’eau, une campagne topographique spécifique a été commandée par la CCPO sur la base des informations nécessaires établie par NOX. Celle-ci a eu lieu courant mars-avril 2016.

Le modèle est construit sur une série de profils en travers et sur le profil en long issue d’une topographie fine du lit mineur du ruisseau, avec relevés de toutes les singularités présentes sur le linéaire (seuils, canalisations, méandres, radiers, mouilles, limites de berges...).

Le tracé du cours d’eau actuel au niveau de la zone amont est représenté par un modèle, construit sous la forme suivante :

- 34 profils en travers sur le cours d’eau de l’Inverse sur environ 960 m linéaire. Le modèle s’étale du pont du centre de la commune (RD156) au dernier ouvrage en amont immédiat du marais de Simandres. Entre chacun des profils, le rapport entre la variation de l’altitude du fond du cours d’eau et la longueur détermine une pente.
- Le profil en long est construit sur l’ensemble du linéaire par succession de ces différentes pentes moyennes.
- Sur chaque profil en travers sont précisées les positions du lit mineur et des berges, avec les différentes natures de ceux-ci (fonds graveleux, berges végétalisées ou chemins, présence de murs...) par attribution de coefficients de rugosité, ainsi que la totalité du lit majeur pour évaluer les impacts lors des crues.
- Interpolation linéaire pour stabilisation du modèle, grâce au logiciel lui-même, pour une meilleure approche numérique telle que la distance entre 2 profils soit inférieure à 2 mètres.
- Sur la base de 2 profils particuliers (1 à l’amont et 1 à l’aval), sont modélisés les différents ouvrages hydrauliques (soit 7 OH) sur l’ensemble du linéaire de l’Inverse dans sa traversée de Simandres.

### 6.1.4. Débits de simulations

Les débits de modélisation sont ceux référencés dans le chapitre hydrologie.

### 6.1.5. Calage du modèle

Des coefficients de rugosité de berges, lit mineur et lit majeur ont été assignés aux éléments dans le modèle grâce à des valeurs de bases issues de tables et selon la méthode de Cowan. Celle-ci prend en compte la rugosité initiale du substrat et ajoute des rugosités dues aux irrégularités, à la forme, à la végétation...

Les valeurs de base estimées à l’aide de la méthode de Cowan sont :

- $n = 0.041 \Rightarrow K = 24.5$  pour le lit mineur,
- Les valeurs du lit majeur correspondent principalement à de la route en rive droite soit  $n = 0.016 \Rightarrow K = 62.5$  et des champs/pâtures et arbres en rive gauche soit  $n = 0.08 \Rightarrow K = 12.5$ ,

Ces coefficients font ensuite l’objet d’un calage en fonction des connaissances hydrauliques du site et notamment au relevé des lignes d’eau au droit des ouvrages hydrauliques et des côtes du PPRI.

Par ailleurs, il faut noter ici que le modèle est calé à l’aide des conditions limites suivantes :

- Condition limite aval : Seuil aval modélisant le barrage castor afin que la ligne d’eau soit équivalente à celle observée sur le terrain au droit du dernier ouvrage hydraulique(OH7) couplé à une loi hauteur-débit équivalente au fonctionnement hydraulique de la buse « du fossé de décharge amont » à l’OH7.
- Condition limite amont : Hauteur d’eau normale liée à la pente.

### 6.1.6. Résultats des simulations

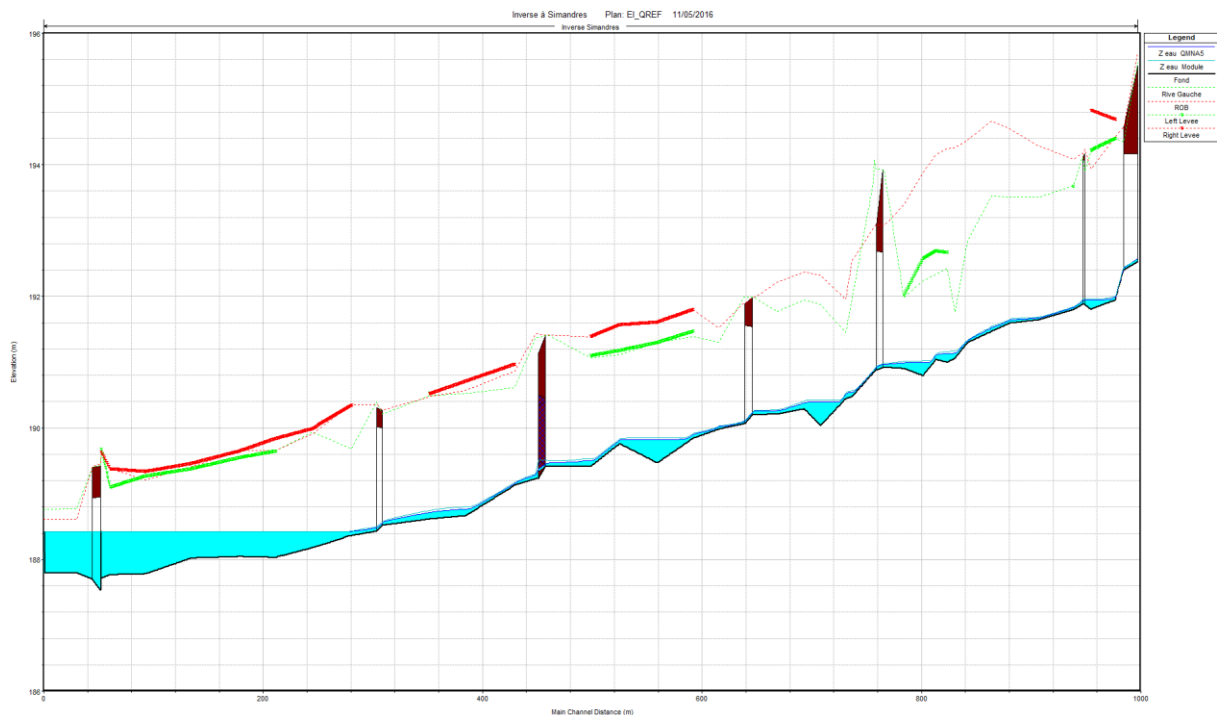
L'ensemble des résultats de simulations de l'état initial, pour chacun des débits retenus, est présenté en **Annexe 5** et sont développés ci-après.

#### 6.1.6.1. Fonctionnement général du modèle

Le cours d'eau modélisé fonctionne sous influence aval (barrage des castors) sur environ 280 m (au module et pour Q inférieur), soit ce qui est observé sur le terrain. Le fonctionnement hydraulique amont est conditionné par les ouvrages hydrauliques, les pentes et les successions de gabarit.

#### 6.1.6.2. Cas des débits faibles et moyens

Pour ces débits, le surdimensionnement généralisé du gabarit conduit à un étalement de la ligne d'eau et une faible hauteur d'eau dans le lit vif. On note également en amont de 5 des 7 ouvrages hydrauliques, un effet « cuvette » avec une zone de rétention des eaux. Cet effet est lié à la mise en place des ouvrages surdimensionnés. En effet, la diminution de vitesse au droit de ces ouvrages (lié au surdimensionnement) vient créer un dépôt régressif contribuant au comblement du fond du lit.

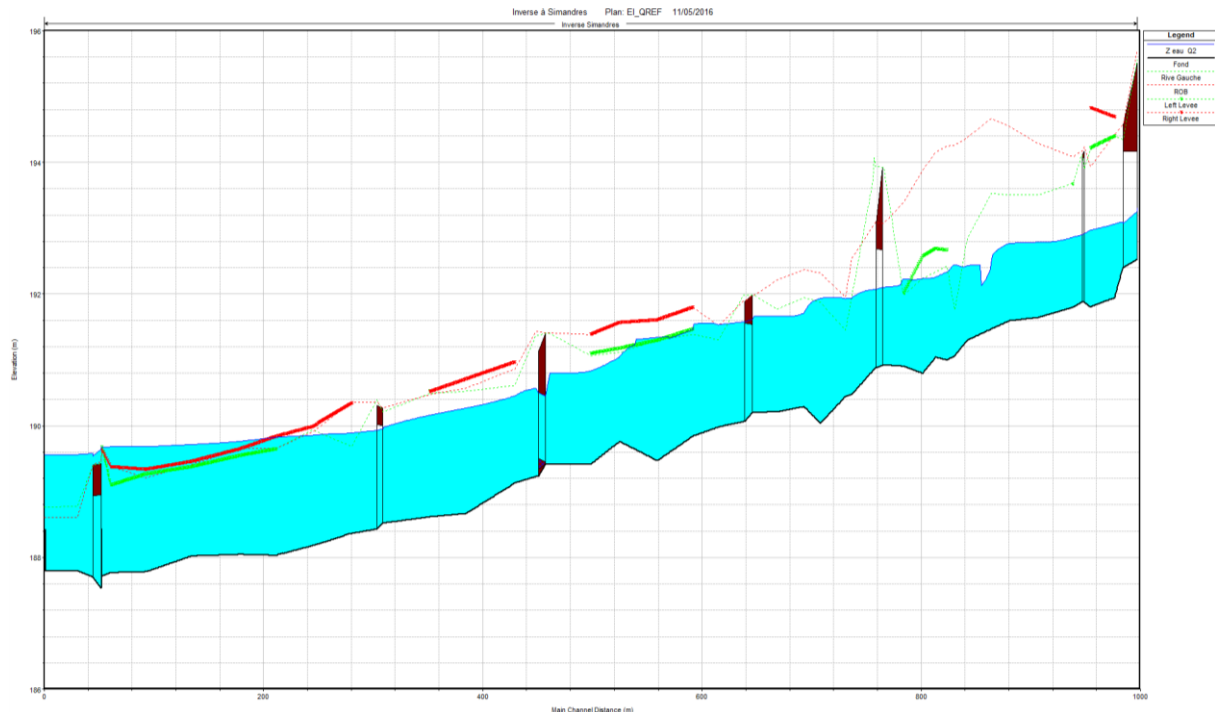




### 6.1.6.3. Cas des débits de crues

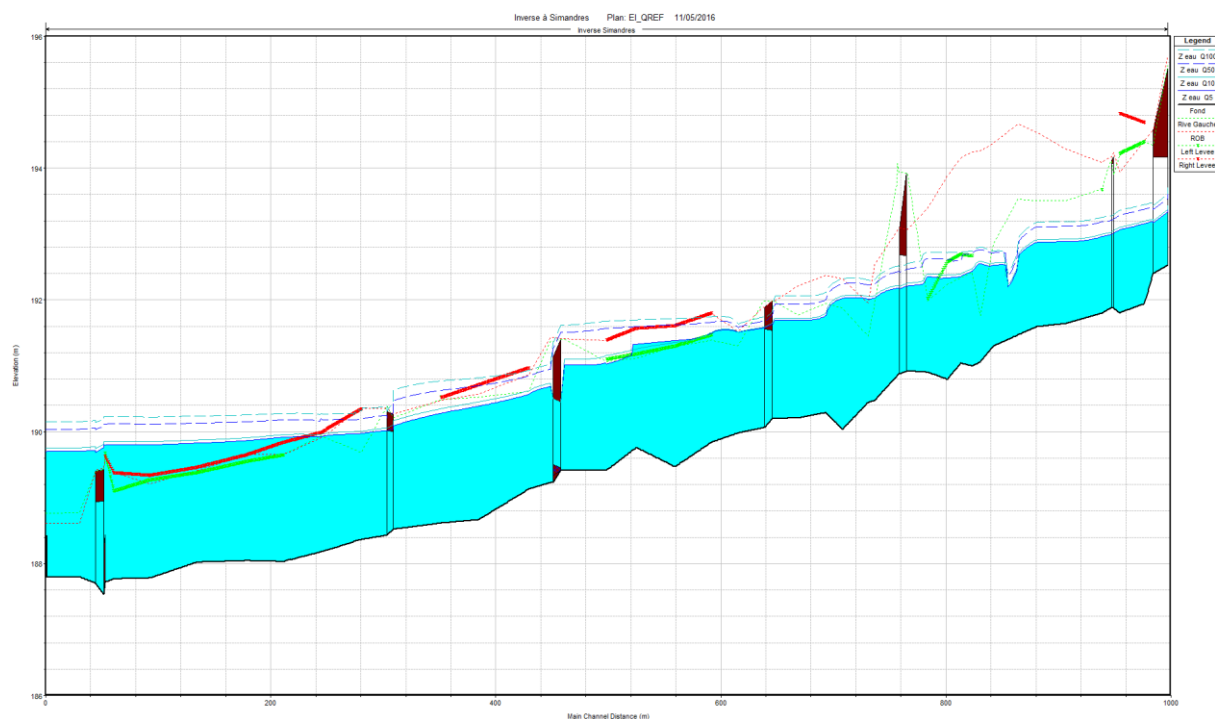
#### ➤ $Q_2$

Ce débit génère des débordements à l’aval de la zone d’étude au droit du marais de Simandres. Le cours d’eau sur les secteurs 3 à 5 et sur la moitié du secteur 6 est quasiment débordant. Sur les secteurs 1 et 2, le cours d’eau est très largement retenu dans le gabarit du cours d’eau.



#### ➤ $Q_5$ à $Q_{100}$

Ce débit génère des débordements dans le centre plus ou moins importants sur les secteurs 3 à 6. Sur les secteurs 1 et 2, le cours d’eau est encore largement retenu dans le gabarit du cours d’eau. La variation de  $Q_5$  à  $Q_{100}$  sur la ligne d’eau est de l’ordre de 50 cm. On donne des débordements à l’aval du secteur au droit du marais de Simandres



#### 6.1.7. Influences hydrauliques du barrage de castor.

Bien que l’influence du barrage de castor soit visible directement sur le terrain, et correspond au module à une influence hydraulique sur les secteurs 8 et 9, il est primordial d’identifier son influence pour les crues afin de voir qu’elles sont les aléas et inondations engendrés par ce dernier pour chaque événement.

L’influence minimale du barrage se fait pour **un débit d’étiage (QMNA5)** et correspond à l’influence de la ligne d’eau sur le graphique du chapitre 6.1.6.2. Elle correspond à une longueur de **230 m** environ à l’amont à partir du dernier ouvrage de l’étude.

L’influence maximale du barrage correspond à la distance maximale pour laquelle celui-ci influence encore la ligne d’eau et qu’aucune autre contrainte n’influence d’avantage la ligne d’eau que celle issue du barrage de castor. Ainsi, à partir d’un débit entre 3 et 3.5 m<sup>3</sup>/s, l’ouvrage du pont du stade devient influent et est en sous capacité à partir de 4.5 m<sup>3</sup>/s. A partir de ce débit, il crée une nouvelle contrainte hydraulique. Le barrage des castors a donc une influence maximale pour un débit de 4.5 m<sup>3</sup>/s. Pour ce débit, la ligne d’eau est influencée jusque l’ouvrage hydraulique n°6 (passerelle accès privé) **sur environ 255 m à partir de l’ouvrage hydraulique n°7.**



## 7. Synthèse hydromorphologique de l’Inverse dans la traversée de Simandres

De nombreuses contraintes sont identifiées au droit ou à proximité du cours d’eau et notamment les réseaux au droit du pont du stade. La quasi-totalité des secteurs ne sont pas en bon état morphologique. Le plan de synthèse en annexe 6 présente les éléments de ce chapitre.

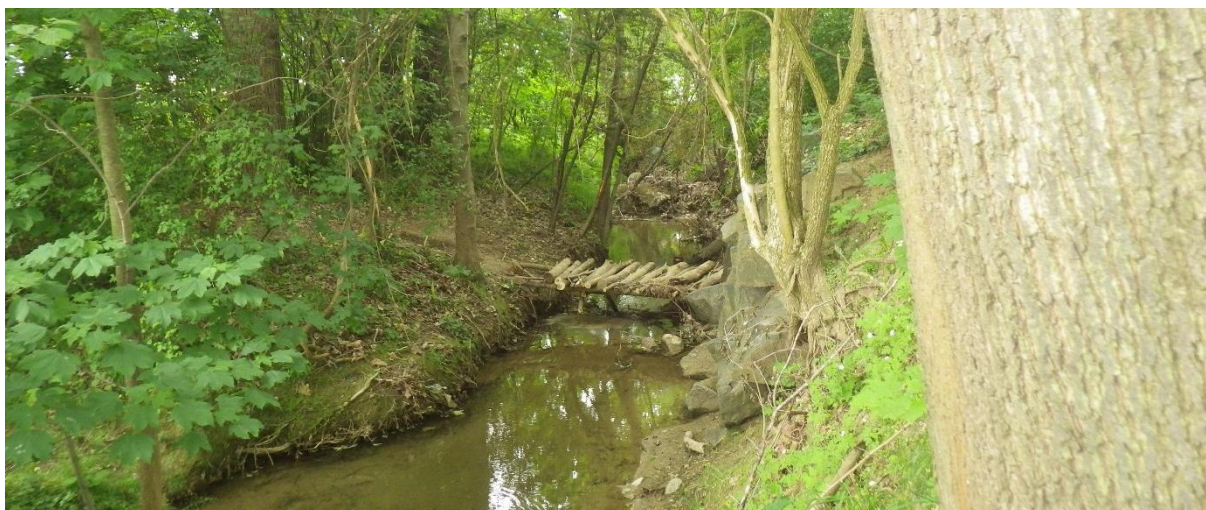
### 7.1. Secteurs 1 et 2 :

Sur ces secteurs, le cours d’eau est surdimensionné avec un tracé linéaire et avec une capacité, estimée par la modélisation, supracentennale (sauf point particulier aval secteur 2). Quatre seuils sont identifiés sur ces secteurs. Ils sont non franchissables au module. La ripisylve est dégradée et ne correspond pas à une ripisylve de ce type de cours d’eau. Le transport solide à ce niveau est très limité. Le cours d’eau présente peu de mobilité latérale sur le secteur 1. Le secteur 2 présente en rive gauche quelques possibilités.



### 7.2. Secteur 3 :

Sur ce secteur, le cours d’eau est débordant en rive gauche pour  $Q_2$ . Un seuil « naturel », qui semble être franchissable au module (racine d’arbre), est identifié sur ce secteur. La ripisylve est en état moyen, avec des individus épars mais correspondant à des essences présentes le long des cours d’eau. Les berges sont quant à elles dégradées. Le transport solide à ce niveau est très limité. Le secteur présente quelques possibilités en rives gauche et droite.





### 7.3. Secteur 4 :

Le gabarit du cours d’eau, à partir de ce secteur, se rapproche d’un gabarit « naturel », même si la berge rive gauche est quasiment inexistante (muret de propriétés privées). Le gabarit permet de faire transiter une crue d’occurrence biennale environ. La ripisylve est également quasiment inexistante. A ce niveau, le cours d’eau est très contraint et il n’y a aucune possibilité de mobilité latérale. Le transport solide sur ce secteur est actif et on y observe des alternances radier/mouille. Celui-ci est cependant perturbé par la présence d’ouvrage hydraulique surdimensionné, provoquant un dépôt régressif venant contribuer au comblement du cours d’eau en amont de ces ouvrages.





## 7.4. Secteur 5 :

C’est le secteur ayant le plus de potentiel au niveau de la qualité du cours d’eau. En termes de morphologie, le cours d’eau n’est pas surdimensionné et le gabarit de celui-ci permet de faire transiter un débit équivalent de l’ordre de  $Q_2$ . La ripisylve est variée avec une prépondérance de Cornouiller sur la rive gauche. Elle est inexistante en rive droite. Le cours d’eau, à ce niveau, est contraint en rive droite mais présente des possibilités de mobilité latérale certaines en rive gauche. Le transport solide est normal sur la quasi-totalité du secteur avec des alternances de radier/mouille et est perturbé en aval par la présence du pont du stade dont la capacité hydraulique est de  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .



## 7.5. Secteur 6 :

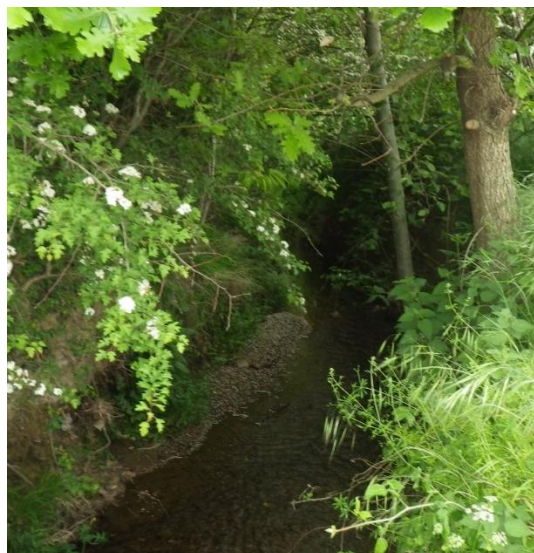
Le cours d’eau dans ce secteur a un gabarit surdimensionné et possède une ripisylve discontinue avec quelques espèces étrangères aux berges de cours d’eau et d’autres inféodés au cours d’eau. On note ici en rive gauche une poche de **renouée du Japon**. Ce secteur est contraint puisqu’une route est localisée en rive droite et une voie d’entretien est présente en rive gauche. Le transport solide à ce niveau est normal mais perturbé, notamment par la canalisation d’eaux usées en amont dans le cours d’eau.





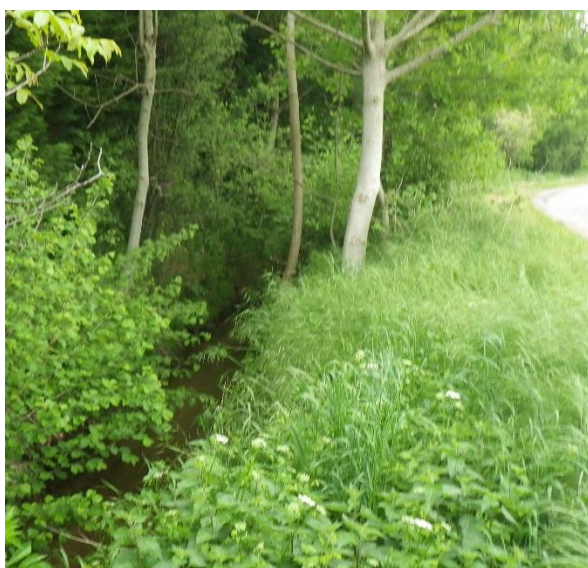
## 7.6. Secteur 7 :

Le cours d’eau dans ce secteur n’est pas surdimensionné et possède une ripisylve inexistante si ce n’est quelques arbres ci-et-là en plus du cordon de Thuya en rive gauche. La capacité hydraulique de ce cours d’eau est influencée à partir de  $Q_2$  par l’aval et notamment par le barrage de castor à l’aval dans le marais. Ce secteur est également contraint puisqu’une route est localisée en rive droite et une parcelle privée en rive gauche. Le transport solide y est normal mais perturbé, notamment pas la présence de l’ouvrage hydraulique (passerelle et gabarit surdimensionné).



## 7.7. Secteur 8 :

Ce secteur présente les mêmes caractéristiques morphologiques que le secteur précédent. Il est cependant soumis à une contrainte hydraulique aval liée à la présence du barrage de castor dans le marais de Simandres (pour  $Q < \text{module}$ ). Cette contrainte provoque les mêmes phénomènes que l’on observe près d’un seuil artificiel. Le transport solide devient nul à cause de vitesses d’écoulement très faible et le réajustement dynamique au niveau de ce secteur est donc impossible en présence du barrage de castor. Les berges sont identiques au secteur 7 et la capacité hydraulique y est plus faible. On observe des débordements pour un débit compris entre le module et  $Q_2$ . Par ailleurs, aucun problème de franchissabilité n’est observé sur ce secteur.





## 7.8. Secteur 9 :

Ce secteur présente les mêmes caractéristiques hydrauliques, de transport solide, morphodynamique et de franchissabilité que le secteur précédent. On peut même noter que dans ce secteur, l’écoulement est très difficile et l’oxygénation de l’eau est très faible. On observe très peu de ripisylve en amont (très probablement des peupliers coupés récemment) et une ripisylve discontinue à l’aval avec des essences pauvres (surtout du sureau et de l’aubépine).



## 8. Conclusion et pistes de solution

Aux vues des analyses présentées ci-avant, chaque secteur présente un niveau de dégradation différent et ceux pour les diverses thématiques évoquées ci-avant (franchissabilité, capacité hydraulique, morphologie, transport solide, ripisylve). En fonction des contraintes et des enjeux propres à chaque secteur, les niveaux d’ambitions de restauration et les pistes de solutions envisageables pour l’amélioration des divers fonctionnements seront adaptés.

### 8.1. Thématiques d’aménagement envisageables :

#### 8.1.1. Aménagements hydromorphologiques

Dans cette partie, sont abordés les aménagements concernant les capacités hydrauliques et la morphologie du cours d’eau.

Au vu du diagnostic, les pistes principales envisageables sont :

- Redimensionnement du lit vif et du gabarit sur les secteurs 1, 2 et 3
- Aménagement de l’ouvrage du pont du stade.
- Réaménagement du cours d’eau sur le secteur 5
- Adaptation au niveau du barrage des Castors
- Réaménagement du cours d’eau sur le secteur 9 et notamment à l’aval

#### 8.1.2. Aménagements piscicoles

Dans cette partie, sont abordés les aménagements concernant l’aspect de franchissabilité du cours d’eau.

Au vu du diagnostic, les pistes principales envisageables sont :

- Aménagement de l’ouvrage du pont du stade.
- Aménagement ponctuel au droit de chaque OH avec modification du lit vif.
- Aménagement du secteur 1 et 2 (pente d’équilibre) pour effacer les seuils dû aux réseaux.

#### 8.1.3. Aménagements pour le transport solide

Globalement, les aménagements pour favoriser le transport solide, ou à minima ne pas le perturber, sont les mêmes que les aménagements concernant l’amélioration de l’hydromorphologie, à savoir :

- Redimensionnement du lit vif et du gabarit sur les secteurs 1, 2 et 3
- Aménagement de l’ouvrage du pont du stade.
- Adaptation au niveau du barrage des Castors

#### 8.1.4. Aménagements des berges

Dans cette partie, sont abordés les aménagements concernant la ripisylve et les berges du cours d’eau.

Au vu du diagnostic, les pistes principales envisageables sont :

- Mise en place de ripisylve sur les secteurs 1, 2,5 et 9.
- **Suppression de la renouée sur le secteur 6\***

\* Cette piste doit être envisagée le plus rapidement possible et dans les règles de l’art pour éviter une propagation de la Renouée du Japon sur l’aval du bassin versant.



## 8.2. Solution préconisée

La solution préconisée devra suivre un certain nombre de principes et notamment :

### **Principe 1 : Ne pas soumettre de zones constructibles à l’aléa**

Il s’agit ici de conserver les zones constructibles existantes, sans les soumettre à une problématique d’inondation qui pourrait occasionner des pertes matérielles, voire humaines.

Au niveau des secteurs urbanisables, certains espaces non constructibles pourront être dégagés, en vue de faciliter l’aménagement de protection contre les crues (jardins, berge de cours d’eau...). Dans ces périmètres, la création de zone non aedificandi pourrait permettre de définir des espaces de liberté assurant une divagation plus importante des cours d’eau.

Il convient également de conditionner l’urbanisation et les aménagements envisagés pour sauvegarder au mieux les caractéristiques morphologiques et hydrauliques, sur l’ensemble du site (respect des passages d’eau...).

### **Principe 2 : Réduire l’aléa**

L’objectif est de modifier sensiblement les fréquences de débordements pouvant occasionner des dégâts afin de rendre compatible l’aléa, avec le niveau de protection fixé.

Pour cela, on peut envisager une diminution des apports, soit par conservation minimale des champs d’expansion existants, soit par créations de nouvelles zones d’écêtements.

Pour les problématiques de débordements des cours d’eau, on favorisera un déversement contrôlé des eaux dans des zones, peu ou moins sensibles et identifiées pour favoriser l’écêtement (permettant ainsi l’étalage des crues, par décalage dans le temps, des différents débits de pointe).

### **Principe 3 : Se protéger contre les effets de l’aléa**

Il s’agit d’organiser dans les zones urbaines, la réduction de la vulnérabilité de chacun par rapport au risque d’inondation et de minimiser les conséquences de ces éventuelles crues.

En effet la mise en œuvre de différents types de protections individuelles et l’acquisition des bons gestes pendant les épisodes de crues permettent la protection des personnes et des biens. On peut suggérer, par exemple, les différents aménagements et consignes suivantes :

(Il s’agit bien évidemment de recommandations à l’adresse des riverains et non pas d’opération à intégrer dans un programme).

- Prévoir une zone de sécurité, accessible de l’intérieur comme de l’extérieur, pour se protéger et faciliter l’accès au secours,
- De manière générale, au niveau de l’aménagement intérieur, on favorisera le placement des éléments ou appareils sensibles, hors d’eau,
- Au niveau des constructions à proprement parler, et dans les zones sensibles, il est conseillé :
  - Pour les revêtements, d’utiliser des matériaux insensibles à l’eau,
  - Sur les chauffages : les chaudières et autres équipements (cuve à fioul par exemple) doivent être fixées, lestées ou arrimées solidement afin d’éviter leurs éventuels arrachements,
  - L’adaptation sur le réseau électrique spécifique, aux pièces basses, peut être nécessaire (décalage des hauteurs de prises... etc.),
  - Les portes, fenêtres et baies vitrées peuvent être également, équipées et obturées temporairement, par des batardeaux...

La principale solution d’aménagement est celle qui permettra d’améliorer le plus efficacement le fonctionnement du cours d’eau et pour plusieurs problématiques. Ainsi, il apparaît au vu du chapitre précédent que la modification du cours d’eau au droit du pont du stade, y compris réfection de l’ouvrage en vue d’une augmentation de gabarit, semble la solution la plus pertinente.

En effet, cette solution permet de répondre à plusieurs thématiques (hydromorphologie, franchissement, transport solide) dont les principales conséquences croisées sont les débordements en amont de cet ouvrage (identifiés dans l’étude hydraulique).

En termes d’hydraulique, l’objectif de cet aménagement n’est pas de supprimer totalement l’aléa inondation mais d’augmenter la périodicité de débordement afin de rendre tous les secteurs du cours d’eau cohérent et homogène.



## 9. Annexes

---

**Annexe 1 : Bassin Versant de l’Inverse**

**Annexe 2 : Plan de synthèse terrain de l’Inverse dans la traversée de Simandres**

**Annexe 3 : Tableau de synthèse sur la franchissabilité (extrait ICE)**

**Annexe 4 : Plan de localisation des profils modélisés**

**Annexe 5 : Ensemble des résultats de simulation de la modélisation hydraulique dans l’état initial**

**Annexe 6 : Plan de synthèse des contraintes de l’Inverse à Simandres**