

Restauration de la confluence du secteur Arve - Foron du Chablais Genevois

Diagnostic

Rapport

Réf. ARI-16-035/Diagnostic/Version 3.1

06/06/2017

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. ARI-16-035

Etude : Restauration de la confluence du secteur Arve - Foron du Chablais Genevois

Phase : Diagnostic

Date de remise : 06/06/2017

Version : 3.1

Statut du document : Définitive

Propriétaire du document : SIFOR

Diffusion : A. Delajoud du SIFOR

Chef de projet : Simon Desseigne

Rédacteur : Simon Desseigne

Vérificateur : Simon Desseigne



SOMMAIRE

PARTIE 1 : AVANT PROPOS	9
1. CONTEXTE ET ZONE D'ETUDE	9
PARTIE 2 : DIAGNOSTIC MILIEUX AQUATIQUES ET TERRESTRES	10
1. CARACTERISATION DU POTENTIEL PISCICOLE	10
1.1. Qualité des eaux	10
1.1.1. Physico-chimique et biologique	10
1.1.2. Influence des rejets de la STEP OCYBELE	14
1.1.3. Suivi thermique	15
1.2. Description du lit mineur.....	19
1.2.1. Méthode de description des habitats aquatiques.....	19
1.2.2. Placette 1	25
1.2.3. Placette 2	34
1.2.4. Placette 3	41
1.2.5. Confluence.....	49
1.3. Peuplement piscicole attendu et observé.....	53
1.3.1. Niveaux typologiques théoriques.....	53
1.3.2. Composition et état du peuplement observé sur le Foron	54
1.3.3. Comparaison des peuplements attendus et observés sur le secteur d'étude	55
1.4. Synthèse : Evaluation du potentiel piscicole du secteur de la confluence Arve - Foron du Chablais Genevois.....	56
1.4.1. Qualité des eaux	56
1.4.2. Qualité des habitats aquatiques	57
1.4.3. Peuplement piscicole	60
2. LA RIPISYLVE.....	61
2.1. Méthode de description de la ripisylve.....	61
2.1.1. Définition.....	61
2.1.2. Prospection et relevés terrains.....	61
2.2. Résultats par placette.....	62
2.2.1. Placette 1	62
2.2.2. Placette 2	63
2.2.3. Placette 3	64
2.2.4. Confluence.....	65

2.2.5.	Synthèse et enjeux de la végétation rivulaire	66
3.	POTENTIEL FAUNISTIQUE ET FLORISTIQUE.....	70
3.1.	Analyse bibliographique.....	70
3.1.1.	Recueil d'information	70
3.1.2.	Résultats	71
3.2.	Prospection naturaliste	74
3.2.1.	Dates de prospection	74
3.2.2.	Faune présente	74
3.2.3.	Flore présente.....	76
3.2.4.	Les habitats de la zone d'étude.....	76
3.3.	Evaluation du potentiel écologique	78
3.3.1.	Les habitats naturels.....	78
3.3.2.	Evaluation patrimoniale : méthodologie.....	78
3.3.3.	Enjeux faunistiques	78
3.3.4.	Enjeux floristiques	78
3.3.5.	Synthèse du potentiel écologique.....	79
	PARTIE 3 : DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE.....	81
1.	ANALYSE DIACHRONIQUE.....	81
2.	HYDROLOGIE.....	82
2.1.	Le Foron	82
2.2.	L'Arve	82
2.2.1.	Synthèse	83
3.	MODELISATION HYDRAULIQUE.....	83
3.1.	Construction du modèle hydraulique.....	83
3.1.1.	Logiciel utilisé	83
3.1.2.	Topographie utilisée	84
1.1.1.	Conditions aux limites	85
1.1.2.	Scénarios modélisés	86
1.1.3.	Calage du modèle hydraulique	87
4.	RESULTATS.....	89
4.1.	Analyse des résultats pour le Foron en étiage.....	89
4.1.1.	Analyse d'étiages communs (scénario 1)	89
4.1.1.	Analyse des crues (scénarios 2 à 5)	91
4.2.	Analyse des résultats pour le Foron en crue décennale.....	93
4.2.1.	Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 6)	93

4.2.1.	Analyse des crues (scénarios 7 à 10).....	97
4.1.	Analyse des résultats pour le Foron en crue trentennale (scénarios 11 à 15)....	98
4.2.	Analyse des résultats pour le Foron en crue centennale.....	98
4.2.1.	Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 16)	98
4.2.1.	Analyse des crues (scénarios 17 à 20).....	100
4.3.	Analyse des résultats pour le Foron en crue millénaire.....	101
4.3.1.	Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 21)	101
4.3.1.	Analyse des crues (scénarios 22 à 25).....	103
4.4.	Synthèse	105
PARTIE 4 : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE		108
PARTIE 4 : USAGES ET PROJETS RIVERAINS		109
1.	CONTRAINTES TECHNIQUES LIEES AUX RESEAUX.....	109
2.	LES PROJETS ALENTOURS	111
2.1.	le projet MAP Foron	111
2.2.	le projet d'extension de la STEP Vilette côté Suisse	112
2.3.	le projet de piste cyclable	113
2.1.	Synthèse	114

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Localisation de la zone d'étude (source : géoportail).....	9
Figure 2 :	Localisation des points de qualité physico-chimiques (source : AERMC)	11
Figure 3 :	Localisation de la station Arv 15	16
Figure 4 :	A - courbes des températures moyennes journalières sur le secteur aval du Foron de Gaillard (station Arv15) en 2004/2005 et 2012/2013 mises en relation avec B- les débits moyens journaliers du Foron de Sciez, bassin voisin au Foron de Gaillard, pour les mêmes périodes d'étude.....	17
Figure 5 :	A- températures maximales instantanées, B- amplitude thermique, C- moyennes des 30 jours les plus chauds.....	18
Figure 6 :	A - durée en jours du préférendum thermique de la truite commune; B - durée en heures de la séquence maximale et nombre de séquences durant laquelle la température est restée au-dessus de 19°C.....	18
Figure 7 :	durée en heures maximale durant laquelle la température est restée au-dessus de 15°C.....	19
Figure 8 :	Localisation des placettes au sein du linéaire d'étude	20

Figure 9 : débits moyens journaliers sur le Foron de Sciez observés à la station V0355010 au mois de juillet.....	21
Figure 10 : débits moyens journaliers sur le Foron de Sciez observés à la station V0355010 au mois d'août	21
Figure 11 : stick hypoxique incubé, on remarque la partie grisée (hypoxie) délimitée par le trait noir en partie inférieure du tasseau.....	22
<i>Figure 12 : Localisation et vue générale de la placette 1.....</i>	<i>25</i>
Figure 13. Relevé des faciès d'écoulement de la placette 1.	26
Figure 14 : Variation de l'EHE pour la placette P1.....	30
Figure 15 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne	30
Figure 16 : localisation et vue globale de la placette 2.....	34
Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la placette 2	36
Figure 18 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne	39
Figure 19 : localisation et vue globale de la placette 3.....	41
Figure 20 : Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la placette 3	42
Figure 21 : Variation de l'EHE pour la placette 3	45
Figure 22 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne	46
Figure 23 : Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la confluence	50
Figure 24 : substrat grossier versus substrat fin (Gayraud et al, 2012).....	51
Figure 25 : Schéma du Foron de Gaillard, localisant les stations d'inventaires piscicoles - Source : Fédération d: C. Chasseriau, juin 213.....	53
Figure 26 : Classes d'abondance Arv 15 ; Source : Chasseriau, 2013	55
Figure 27 : Classes d'abondance Arv 45 ; Source : Chasseriau, 2013	56
Figure 28 : Vue depuis l'amont sur l'aval du tronçon de la placette 1	62
Figure 29 : Gabions en rive droite et ripisylve "ouverte" en RG.....	64
Figure 30 : Vue sur l'amont de la placette 3 (HYDRETUDES, 31/08/2016).....	65
Figure 31 : Affouillement et Renouée du Japon observable au sein de la placette "confluence" (HYDRETUDES, 31/08/2016).....	66
Figure 32 : Isopyrum thalictroides (Tela botanica)	67
Figure 33. Analyse diachronique du Foron à la confluence avec l'Arve.....	81
Figure 34. Hydrogrammes modélisés centrés sur le débit de pointe.	83
Figure 35. Carte de localisation des profils en travers.	85
Figure 36. Conditions aval.....	86
Figure 37. Analyse hydraulique S2.	91
Figure 38. Localisation des principaux points de débordement et des zone ou la digue empêche le ressuyage (S6).	94
Figure 39. Localisation zone de gène aval (S6).	95

Figure 40. Enjeux touchés pour S6.	96
Figure 41. Emprise maximale du Foron en Q100 pour l'étiage de l'Arve (S16).....	99
Figure 42. Emprise maximale du Foron en Q1000 pour l'étiage de l'Arve (S21).....	103
Figure 43. Comparaison S5 et S25	106
Figure 44. Comparaison S6 et S21	106
Figure 45. Principal point de débordement de l'Arve (cas de la Q10 de l'Arve pour un étiage du Foron (S2)).	107
Figure 46. Localisation du cheminement prévisionnel et de la passerelle (OXALIS, 2013).	111
Figure 47. Projet de passerelle (OXALIS, 2013).....	112
Figure 48. Projet de la STEP Suisse - variante A'.....	112
Figure 49. Localisation du projet de piste cyclable au niveau du chemin de La-Craz.	113
Figure 50. Profil en travers du projet de piste cyclable.....	114
Figure 51 : à gauche vue en coupe et à droite de dessus. A = substrat ; B = couche interne	118
Figure 52 : Différents composants du substrat d'un lit fluvial (Hydrétudes).....	119
Figure 53 : Influence du substrat d'un lit sur les faciès d'écoulement et la circulation hyporhéique (Hydrétudes)	120
Figure 54 : zone hyporhéique d'après Malard et al., 2000	124
Figure 55 : choix du lieu de frai pour TRF (source Hydrétudes)	125
Figure 56 : confection du complexe dôme-cuvette par la femelle de TRF (source Hydrétudes)	127
Figure 57 : courants dans le complexe cuvette-dôme (source : Hydrétudes)	128
Figure 58 : création de la poche des œufs par la femelle (source Hydrétudes).....	129
Figure 59 : frayère opérationnelle (en incubation) – source Hydrétudes.....	129
Figure 60 : stick hypoxique avant incubation	131
Figure 61 : stick hypoxique incubé, on remarque la partie grisée (hypoxie) délimitée par le trait noir en partie inférieure du tasseau.....	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques des eaux de l'Arve en amont et aval du rejet et du Foron - Source : Annemasse Agglo	14
Tableau 2 : Débits moyens mesurés sur la station V0355010 du Foron de Sciez le jour des prospection de terrain	21
Tableau 3 : Nombre de sticks mis en œuvre par placette.....	23
Tableau 4 : classes de colmatage (Archambaud et al., 2005)	23

Tableau 5 : Echelle de cohésion du substrat (Hydrétudes)	24
Tableau 6 : Synthèse principales caractéristiques de la placette 1	26
Tableau 7 : Résultat des sticks hypoxiques pour la placette P1.....	29
Tableau 8 : Statistique concernant l'EHE de la placette P1	29
Tableau 9 : Principales caractéristiques de la placette 2.....	35
Tableau 10 : Résultats des sticks hypoxiques pour la placette P2	38
Tableau 11 : Statistique concernant l'EHE de la placette P2	38
Tableau 12 : Principales caractéristiques de la placette 3.....	42
Tableau 13 : Résultats des sticks hypoxiques pour la placette P3	44
Tableau 14 : Statistique concernant l'EHE de la placette P3	44
Tableau 15 : Caractéristiques principales de la confluence	49
Tableau 16 : Sable fin au niveau de la confluence.....	50
Tableau 17 : Liste des espèces végétales patrimoniales potentiellement présentes	73
Tableau 18 : classification de Wentworth sandrisée.....	117
Tableau 19 : Impact des particules de colmatage selon leur taille.....	123
Tableau 20 : granulométrie des principales espèces lithophiles présentes en France	130

LISTE DES ENCARTS

Encart 1 : les biofilms épilithiques.....	122
---	-----

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Annexe 1 "Habitats aquatiques "	
ANNEXE 2 : Méthodologie employée pour la bio évaluation des enjeux faunistiques et floristiques	
ANNEXE 3 : chronologie des crues	
ANNEXE 4 : diagnostic géotechnique	

PARTIE 1 : AVANT PROPOS

1. CONTEXTE ET ZONE D'ETUDE

Les enjeux sur le secteur sont multiples tant écologiques qu'hydrauliques. L'occupation du sol est caractérisée par deux stations d'épuration, une exploitation maraîchère, un pépiniériste, le tout dans un contexte transfrontalier Franco-suisse.

L'objectif de l'étude est de définir un avant-projet sur la zone d'étude (voir figure suivante) en conciliant tous les enjeux. La zone d'étude concerne la partie aval du Foron, de la confluence avec l'Arve jusqu'à l'aval immédiat du pont de Sousville (tronçon d'environ 725 mètres).

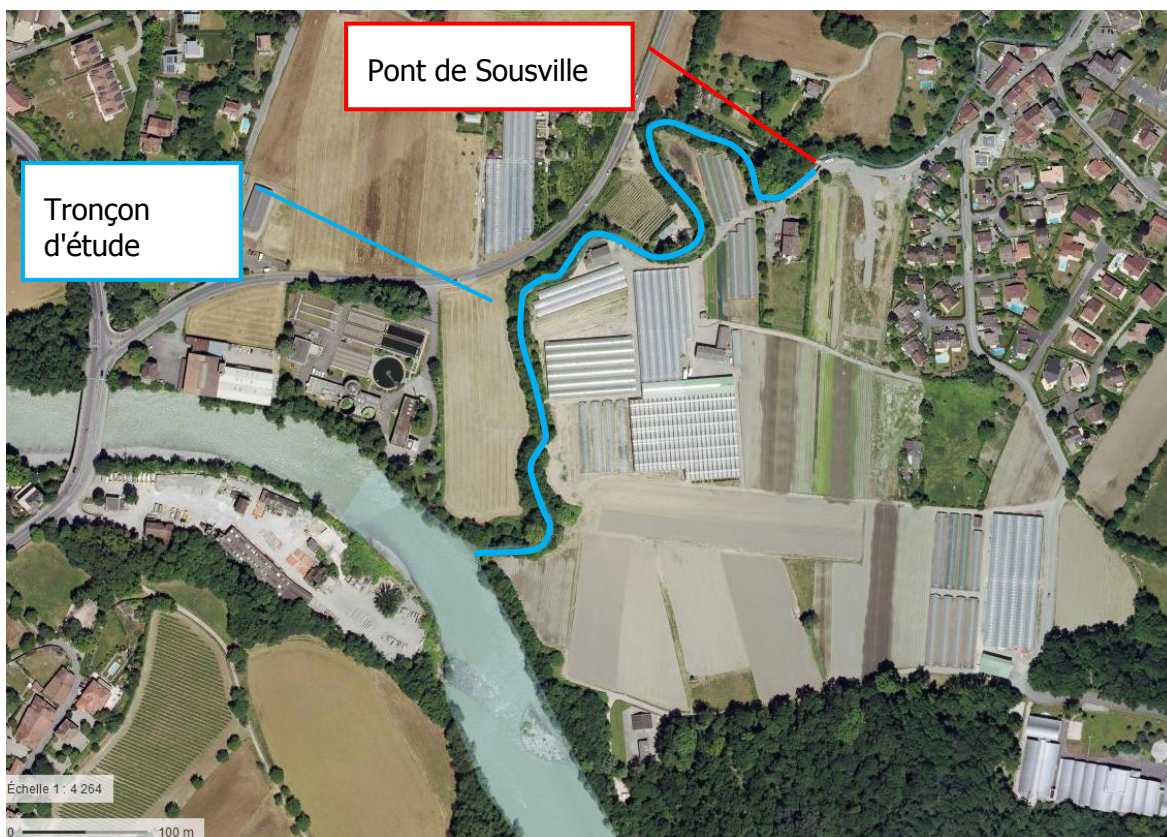


Figure 1. Localisation de la zone d'étude (source : géoportail).

PARTIE 2 : DIAGNOSTIC MILIEUX AQUATIQUES ET TERRESTRES

1. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL PISCICOLE

1.1. QUALITÉ DES EAUX

Il est utile de rappeler que le Foron de Gaillard au droit du tronçon à aménager est inscrit sous le numéro FRDR 556b et est considéré en tant que masse d'eau fortement modifiée.

1.1.1. Physico-chimique et biologique

1.1.1.1. Sur le Foron

Des résultats d'analyse des eaux sont disponibles sur le SIE (Système d'Information sur l'Eau). Ces prélèvements ont été initiés :

- par le Conseil Général de la Haute Savoie et le SIVU pour l'Aménagement et l'Entretien du Foron du Chablais-Genevois,
- par l'agence de l'eau dans le cadre du réseau de contrôle opérationnel jusqu'en 2014 (RCO).

Au total, 6 stations d'analyse des eaux ont été suivies sur le Foron, plus ou moins fréquemment et totalement depuis 2006. Seules les stations positionnées à Juvigny (06065030) et à Gaillard (RCO 06069110) au droit du linéaire d'aménagement, ont été suivies annuellement jusqu'en 2014.

Les résultats les plus récents datent de 2014.

Les paragraphes qui suivent sont issus de l'étude de faisabilité de restauration de la continuité écologique du lac de Machilly, Hydrétudes et Gay Environnement, mai 2016.

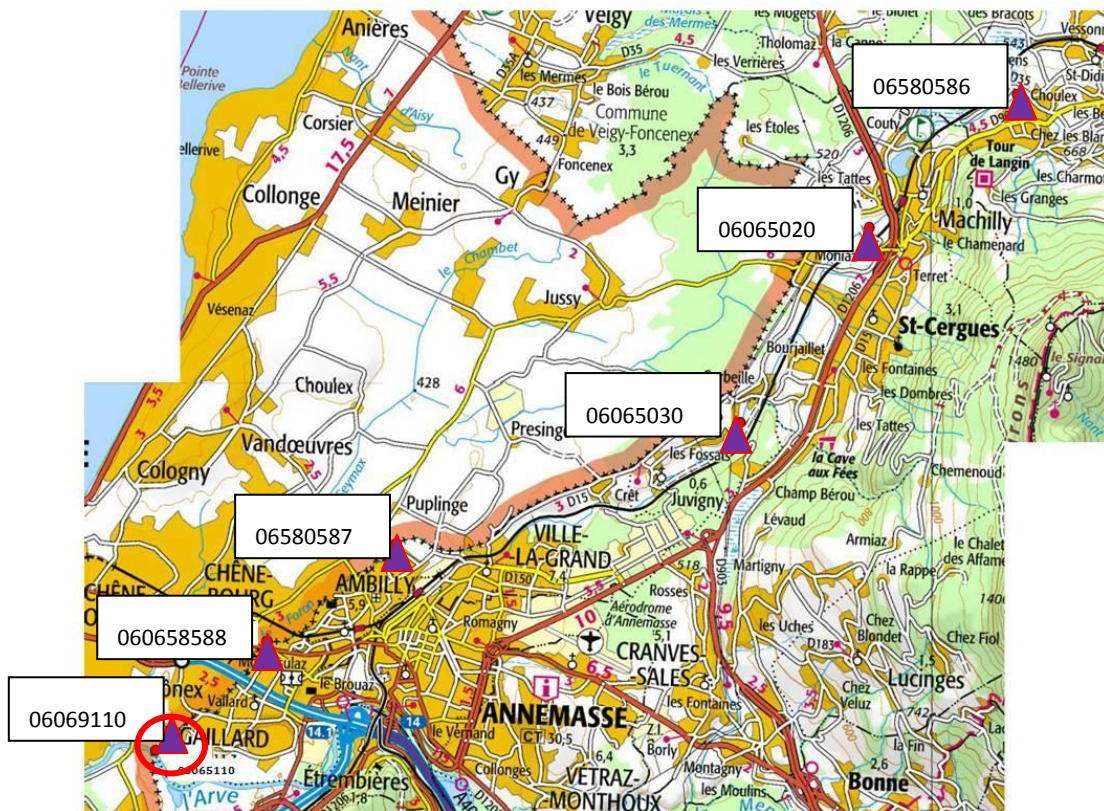


Figure 2 : Localisation des points de qualité physico-chimiques (source : AERMC)

Voici les principaux éléments à retenir du Foron de Gaillard :

- ☞ **le bilan de l'oxygène**, est satisfaisant depuis 2012 en présentant un état très bon sur l'ensemble du Foron. De nettes améliorations ont été mises en évidence à Juvigny et à Gaillard, où les états étaient respectivement « moyen » en 2006/2007 et « mauvais » en 2006/2007,
- ☞ **le bilan des nutriments** est satisfaisant avec un état « bon » voire « très bon » depuis 2012. Une amélioration d'un état "moyen" vers "très bon" s'est opérée sur le ruisseau de Coudray qui affichait un dysfonctionnement patent jusqu'en 2010 dû à une surcharge en orthophosphates,
- ☞ **le bilan thermique** oscille entre "bon" et "très bon" en fonction des années et des stations. Toutefois, il s'agit de l'état "DCE" et les suivis thermiques menés par la Fédération de Pêche précisant la qualité thermique du Foron de Gaillard au regard des sensibilités piscicoles (preferendum thermique, développement de la maladie PKD...) sont moins éloquents quant à la qualité du Foron de Gaillard (cf paragraphe suivi thermique).
- ☞ **le pH des eaux**, légèrement basique, satisfait toujours aux exigences de la DCE avec un état toujours « bon » ou « très bon ».
- ☞ **un état physico-chimique général "bon"**.

Les 6 stations de qualité mentionnées ci-avant, ont fait l'objet d'un suivi biologique (IBGN et IBD) en 2012 et 2013. La station RCO ayant été suivie annuellement entre 2008 et 2014.

Les principales conclusions sont reprises de l'étude de faisabilité de restauration de la continuité écologique du lac de Machilly, Hydrétudes et Gay Environnement, mai 2016.

Voici les principaux éléments à retenir des suivis effectués sur les stations en 2012 et 2013 et en 2014 pour la station RCO :

- **s'agissant du peuplement invertébré mesuré par IBGN**, ces résultats montrent une différence nette de qualité entre la partie située en amont du lac de Machilly et la partie située à son aval ;
 - la partie amont présente une très bonne qualité
 - la qualité de la partie aval, oscille entre l'état moyen et médiocre. Les indices ne dépassent pas 11/20 tandis que les GFI (Groupe Faunistique Indicateur) oscillent le plus souvent entre 3 et 5/9, ce qui souligne une perturbation sensible de la qualité des eaux.
- **s'agissant de la flore diatomique appréciée par IBD**, ces résultats montrent que :
 - le ruisseau de Coudray présente un état « moyen » (2012 et 2013) avec un indice IBD de 14,7/20 qui suggère une perturbation de la qualité physico-chimique des eaux (perturbation non perçue par les analyses sur eau) ;
 - le Foron de Gaillard présente un état plus satisfaisant. En effet, hormis l'aval du lac de Machilly et au niveau de Ville-la-Grand où l'état est « moyen », la communauté diatomique présente un niveau d'état « bon ». Les indices IBD oscillent entre 16 et 17/20 et il faut noter que les indices IBD disponibles au niveau de Saint-Cergues (15,9/20) et Ville-la-Grand (15,7/20) avoisinent la valeur plancher de l'état « bon » (16/20).
- **s'agissant de l'état biologique global**
 - le ruisseau de Coudray présentait en 2012-2013 (seules années disponibles) un état biologique « moyen » du fait de la flore diatomique ;
 - le Foron de Gaillard présentait en 2012-2013, un état biologique le plus souvent « moyen » et localement « médiocre », les indices IBGN étant les principaux descripteurs déclassants.

En d'autres termes du point de vue de la biologie, le ruisseau de Coudray et le Foron de Gaillard présenteraient tous les deux des dysfonctionnements patents. Toutefois, il faut souligner que le ruisseau de Coudray (nom du cours d'eau en amont du lac de Machilly) se distingue du Foron de Gaillard par un peuplement invertébré de « très bonne » qualité : la dégradation de celui-ci en aval du lac de Machilly suggérant une incidence de celui-ci sur ce compartiment.

1.1.1.1. Sur le secteur d'étude

Le tableau suivant synthétise la qualité biologique et physico-chimique du Foron de Gaillard, à partir des résultats des analyses effectués sur la station RCO 06069110 (au droit du site d'étude) entre 2010 et 2014.

Les résultats sont interprétés selon les termes de l'arrêté du 25 janvier 2010, la légende des couleurs employées, représentant des classes d'état de la qualité est la suivante :

Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
----------	-----	-------	----------	---------

Bilan	Paramètres	2010	2011	2011	2013	2014
Oxygène	Oxygène dissous (mg(O2)/L)					
	Oxygène dissous (saturation) (%)					
	DBO (mg(O2)/L)					
	Carbone organique (mg(C)/L)					
	Température (°C)		21.7		21.03	
Nutriments	Phosphates (mg(PO4)/L)					
	Phosphore total (mg(P)/L)					
	Ammonium (mg(NH4)/L)					
	Nitrates (mg(NO3)/L)					
	Nitrites (mg(NO2)/L)					
	Azote Kjeldahl (mg(N)/L)					
Acidification	pH (unité pH)					
Salinité	Conductivité à 25°C (µS/cm)	443-637	503-640	506-655	387-646	508-581
	MeS (mg/L)	<2-432	<2- 4.8	<2-67	<2- 31	3.2-25
	Etat physico-chimique					
Biologie	IBGN - indice /20	16.8	16.4	17	16.5	16.7
	IBGN - GFI /9	5	5	5	5	5
	IBD - indice /20	10	11	9	11	10
	Etat biologique					

Ainsi au droit de la station RCO et selon les termes de la DCE , concernant la qualité physico-chimique :

- le bilan de l'oxygène est globalement très bon depuis 2010,
- le bilan de la température est mitigé, il varie de "très bon" à "moyen", les valeurs estivales étant parfois supérieures à 21°C,
- le bilan des nutriments très bon en 2013 et 2014. Les années précédentes ce bilan présentait un état légèrement plus dégradé du fait des teneurs en éléments phosphorés et/ou azotés,
- le bilan de l'acidification constamment bon, présente de légères valeurs basiques,
- la conductivité est relativement élevée et montre quelques variations à priori naturelles, témoignant d'une teneur évolutive en minéraux,
- les matières en suspension sont souvent supérieures à 2mg/l et peuvent atteindre de très fortes concentrations.

Globalement, la qualité physico-chimique du Foron de Gaillard au droit du secteur d'étude est "bonne" du fait des légères valeurs de pH constamment basiques, relayées parfois par les valeurs de la température et des teneurs en éléments azotés et phosphorés.

En ce qui concerne la qualité biologique, la classe de qualité diverge entre l'indice IBGN et l'indice IBD, ce dernier affiche constamment un état bon tandis que l'IBGN est en permanence moyen. Le groupe faunistique indicateur de 5 est faible et témoigne d'une qualité des eaux insuffisante non mesurée par les analyses physico-chimiques.

En comparaison des résultats de la station de Juvigny, peu de variations sont visibles. Les différences les plus flagrantes relèvent des paramètres biologiques pour lesquels une amélioration est constatée depuis Juvigny pour les invertébrés (+9 points en moyenne sur l'IBGN) et au contraire une dégradation de la flore diatomique (-6 points en moyenne sur l'indice IBD).

1.1.2. Influence des rejets de la STEP OCYBELE

Le rejet de la STEP Ocybèle est situé en berge rive droite de l'Arve, quelques mètres en amont de la confluence avec le Foron de Gaillard.

A l'étiage (observations été 2016), les eaux de l'Arve et du Foron de Gaillard ne semblent pas se mélanger, selon un constat visuel (les eaux de Arve sont turbides, tandis qu'elles sont limpides pour le Foron) et selon les mesures in situ effectuées en plusieurs points sur les 50 mètres de la placette confluence (pas de variation des paramètres pH, conductivité et oxygénation avec l'éloignement de la confluence).

Par ailleurs, toujours à l'étiage, le panache du rejet, perceptible grâce aux mousses, se dirige dans l'Arve avec une tendance à l'éloignement de la confluence.

En période de hautes eaux, les eaux stagnent sur une cinquantaine de mètres en amont de la confluence de l'Arve (observations avril 2016), un mélange des eaux du Foron et de l'Arve + rejet est possible (toutefois, seules des analyses physico-chimiques des eaux pourraient lever les hypothèses de l'influence du rejet sur la zone de confluence).

En ce qui concerne le compartiment physico-chimique, le tableau ci-après, synthétise les analyses effectuées par Annemasse Agglo, gestionnaire de la STEP Ocybel, dans le cadre de l'arrêté de fonctionnement de cette unité de traitement.

Trois points de prélèvements sont effectués, sur l'Arve en amont et en aval du rejet et le dernier sur le Foron. Les résultats sont interprétés selon les seuils de l'arrêté du 27 juillet 2015 (SEEE) et selon le SEQ pour les MES, DCO, NTK.

Tableau 1 : Analyses physico-chimiques des eaux de l'Arve en amont et aval du rejet et du Foron - Source : Annemasse Agglo

DATE	DBO5 (mg/l)			DCO (mg/l)			MES (mg/l)			NTK (mg/l)		
	Arve		Foron	Arve		Foron	Arve		Foron	Arve		Foron
	Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet	
12/11/2014	2.6	2.2	2.9	12.0	12.0	21.0	37.0	18.0	32.0	1.59	2.54	0.89
22/12/2014	1.0	1.9	1.0	10.0	10.0	10.0	2.0	5.0	2.0	1.27	4.3	0.95
04/11/2015	1.1	3.2	1.2	10.0	10.0	10.0	4.0	5.0	4.0	0.5	1.89	0.5
25/11/2015	1.8	3.4	2.9	10.0	10.0	12.0	34.0	24.0	40.0	0.5	1.36	0.67
31/03/2016	3.2	3.1	2.0	10.0	10.0	10.0	190.0	55.0	7.0	0.5	1.12	0.5
DATE	NH4 (mg/l)			NO2 (mg/l)			NO3 (mg/l)			PTOTAL (mg/l)		
	Arve		Foron	Arve		Foron	Arve		Foron	Arve		Foron
	Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet		Amont rejet	Aval rejet	
12/11/2014	0.055	1.52	0.01	0.0653	0.122	0.0346	2.71	5.39	4.61	0.108	0.163	0.094
22/12/2014	0.059	3.03	0.087	0.0495	0.0771	0.025	4.18	5.34	5.44	0.053	0.131	0.044
04/11/2015	0.01	1.25	0.023	0.079	0.17	0.033	4.8	4.83	5.27	0.056	0.129	0.05
25/11/2015	0.075	1.47	0.01	0.036	0.066	0.089	4.95	6.99	4.58	0.092	0.097	0.081
31/03/2016	0.078	1.34	0.054	0.0307	0.736	0.0381	2.63	3.9	4.79	0.2	0.111	0.129

Légende (qualité du paramètre)

Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
------------	-------	---------	----------	----------

Ces analyses montrent que :

- en terme de classe de qualité, le rejet de la STEP n'a pas d'effet sur la DBO5, la DCO, le PT, et les NO3,
- en terme de classe de qualité, des dégradations sont constatées pour les éléments azotés NTK, NH4, et NO2 entre l'amont et l'aval du rejet,
- en terme de valeurs absolues, des augmentations des teneurs de l'ensemble des paramètres (sauf DCO), de façon constante ou quasi constante pour les éléments azotés et phosphorés et de façon moins fréquente pour la DBO5 et les MES,
- en terme de valeurs absolues, des teneurs à la baisse mesurées ponctuellement pour la DBO5, les MES et le PT entre l'amont et l'aval du rejet,
- le Foron semble avoir peu d'incidences sur la qualité de l'Arve.

En ce qui concerne les effets sur le compartiment biologique, il semblerait que, à l'échelle de l'Arve (pas de données précises sur la confluence) les zones recevant de nombreux rejets soient peu fréquentées par l'Ombre commun, les rejets agiraient alors comme répulsif chimique (Gadais R; 2012).

1.1.3. Suivi thermique

1.1.3.1. Du Foron

Plusieurs stations du Foron de Gaillard ont été mises en œuvre pour suivre l'évolution de la température des eaux du cours d'eau depuis l'amont du lac de Machilly jusqu'à la confluence. 3 suivis ont été mis en œuvre en 2004-2005, 2006-2007 et 2008-2009. Ces suivis ont été réalisés par la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques de la Haute Savoie (FDAAPPMA 74).

Voici une synthèse des conclusions de ces suivis à l'échelle du Foron :

- ☞ « *l'amont du lac de Machilly (ruisseau du Coudray) ne montre pas de conditions thermiques défavorables pour la vie salmonicole* » ;
- ☞ « *le lac de Machilly entraîne en aval des impacts négatifs sur la température de l'eau du Foron en période printanière et estivale (le lac a une influence certaine sur tous les paramètres thermiques jusqu' à Saint Cergues). Les effets négatifs sur le Foron de l'augmentation de température provoquée par le lac sont de deux ordres* » :
 - d'une part, " *les conditions ne deviennent plus favorables pour la vie salmonicole avec des valeurs dépassant souvent les 19°C* " ;
 - d'autre part, " *les conditions thermiques deviennent très favorables au développement de la maladie PKD* (cf lexique). Ces conditions se prolongent sur l'ensemble du linéaire du Foron en aval du lac jusqu'à son embouchure avec l'Arve* " ;

- ☞ « les conditions thermiques estivales induisent un changement de la biotypologie qui fait évoluer le Foron dans une zonation de type cyprinicole et non plus salmo-nicole » ;
- ☞ « le réchauffement prématuré de l'eau au printemps pourrait limiter la réussite du développement embryo-larvaire, avec l'atteinte de températures supérieures à 12°C en fin de période de développement. »
- ☞ l'extrémité « aval du Foron présente des conditions de vie, du point de vue thermique, défavorables pour la truite commune ».

1.1.3.2. La thermie sur la zone d'étude et effets sur le peuplement piscicole

Les données qui suivent proviennent de la note technique réalisée par C. Chasserieu de la Fédération de Pêche de Haute Savoie à l'attention d'HYDRETUDES dans le cadre de cette étude.

Les températures moyennes journalières du Foron de Gaillard sur le secteur aval (au niveau de la station Arv15 au sein de notre zone d'étude) sont comprises entre 0 et 22°C pour les deux campagnes de suivi réalisées en 2012/2013 et 2004/2005.

La figure ci-contre localise la station Arv15.



Figure 3 : Localisation de la station Arv 15

Les températures extrêmes minimales et maximales ont été plus importantes en 2004/2005 qu'en 2012/2013.

	Température °C Moyenne minimale	Température °C Moyenne maximale
2004/2005	0	26.8
2012/2013	2.25	23.8

Les figures qui suivent montrent le profil thermique du Foron de Gaillard sur Arv 15 pour les deux suivis en parallèle de l'hydrologie (prise à parti du Foron de Sciez qui présente des tendances hydrologiques similaires, seule l'allure de la courbe est à visualiser).

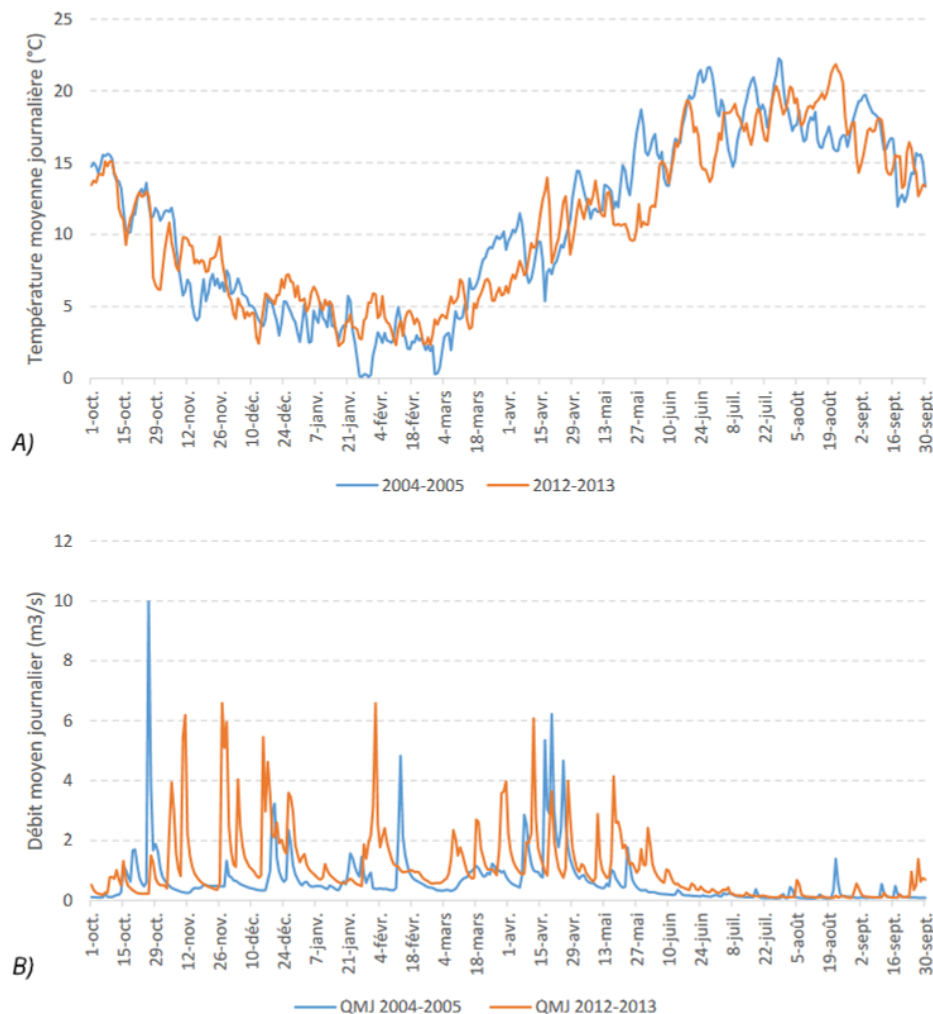
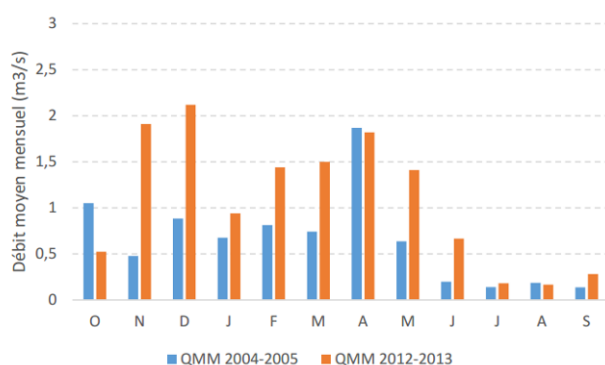


Figure 4 : A - courbes des températures moyennes journalières sur le secteur aval du Foron de Gaillard (station Arv15) en 2004/2005 et 2012/2013 mises en relation avec B- les débits moyens journaliers du Foron de Sciez, bassin voisin au Foron de Gaillard, pour les mêmes périodes d'étude.



Les débits moyens en 2012/2013 plus élevés que ceux de 2004/2005 peuvent être à l'origine des différences des températures moyennes extrêmes basses et hautes mesurées entre ces deux suivis.

La chronique 2004/2005 affiche une amplitude de 22.2°C contre 19.7°C en 2012/2013, tandis que la moyenne des 30 jours les plus chauds est équivalente pour les deux périodes d'étude.

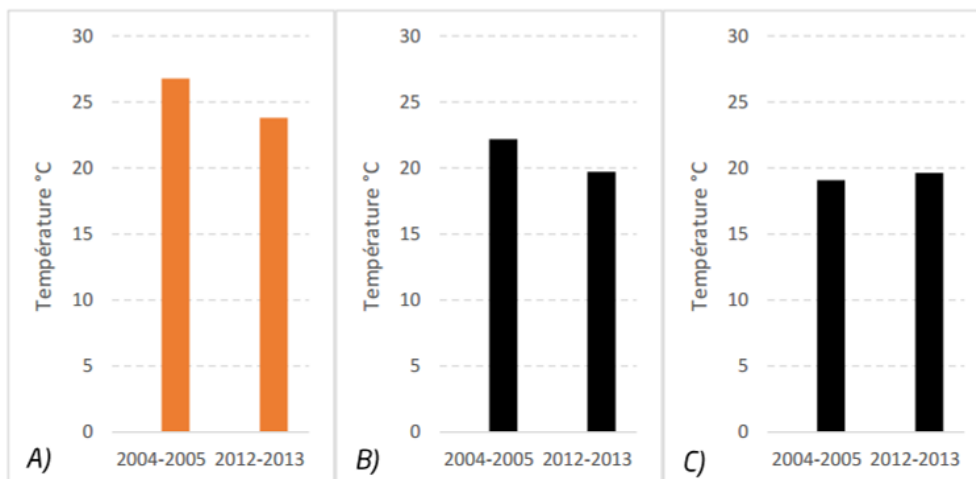


Figure 5 : A- températures maximales instantanées, B- amplitude thermique, C- moyennes des 30 jours les plus chauds

Le préférendum thermique de la truite est considéré entre 4 et 19°C d'après la littérature. cette gamme de température est observée 74% du temps pour la chronique 2004/2005 contre 84% en 2012/2013.

Malgré ces pourcentages, les périodes où la température dépasse 19°C en continu sont conséquentes, 34 jours en 2004/2005 et 27 jours en 2012/2013. Par ailleurs, le nombre de séquences où la température de l'eau du Foron de Gaillard dépassent 19°C sont élevées, 93 en 2004/2005 et 49 en 2012/2013.

Ces températures extrêmes à répétition sur des longues périodes peuvent être fatales pour la truite commune.

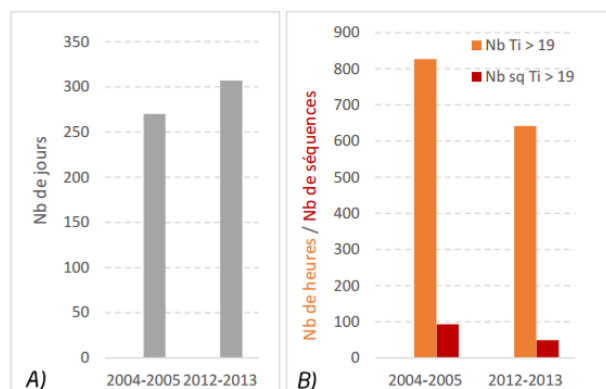


Figure 6 : A - durée en jours du préférendum thermique de la truite commune; B - durée en heures de la séquence maximale et nombre de séquences durant laquelle la température est restée au-dessus de 19°C

Le secteur aval du Foron de Gaillard présente un risque potentiel très élevé du développement de la maladie rénale proliférative (MRP ou PKD en anglais). Si le pathogène responsable de cette maladie est présent *Tetracapsula bryosalmonae*, le bon développement et la survie des alevins de truite sont compromis.

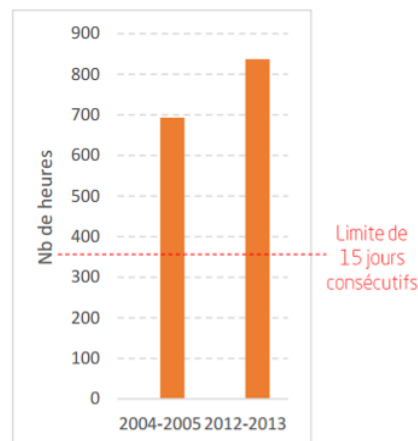


Figure 7 : durée en heures maximale durant laquelle la température est restée au-dessus de 15°C

Le seuil de 15 jours consécutifs à 15°C (en rouge) est le seuil approximatif fixant le risque de développement de la maladie MRP, touchant essentiellement les alevins et bien souvent létale à ce stade.

La durée de vie pendant laquelle les alevins sont situés sous les graviers, est de 135 jours sur le secteur aval du Foron de Gaillard, ce qui est plutôt faible par rapport au reste du département. Durant cette période, il est détecté lors des 2 chroniques de données des séquences, des températures pouvant être limitantes pour le développement des œufs et des embryons (>15°C et <1.5°C). L'année 2004/2005 a présenté des températures beaucoup moins favorables pour le développement de la vie embryo-larvaire.

1.2. DESCRIPTION DU LIT MINEUR

1.2.1. Méthode de description des habitats aquatiques

1.2.1.1. Détermination des placettes

La description des habitats aquatiques s'est opérée sur 4 placettes de 50 m au sein du tronçon de la zone d'étude dont la zone de la confluence.

- la placette confluence
- la placette 1 : PK 70 à 120
- la placette 2 : PK 310 à 360
- la placette 3 : PK 470 à 520.

Toutes les placettes mesurent 50 mètres. La figure ci-dessous localise ces 4 placettes.

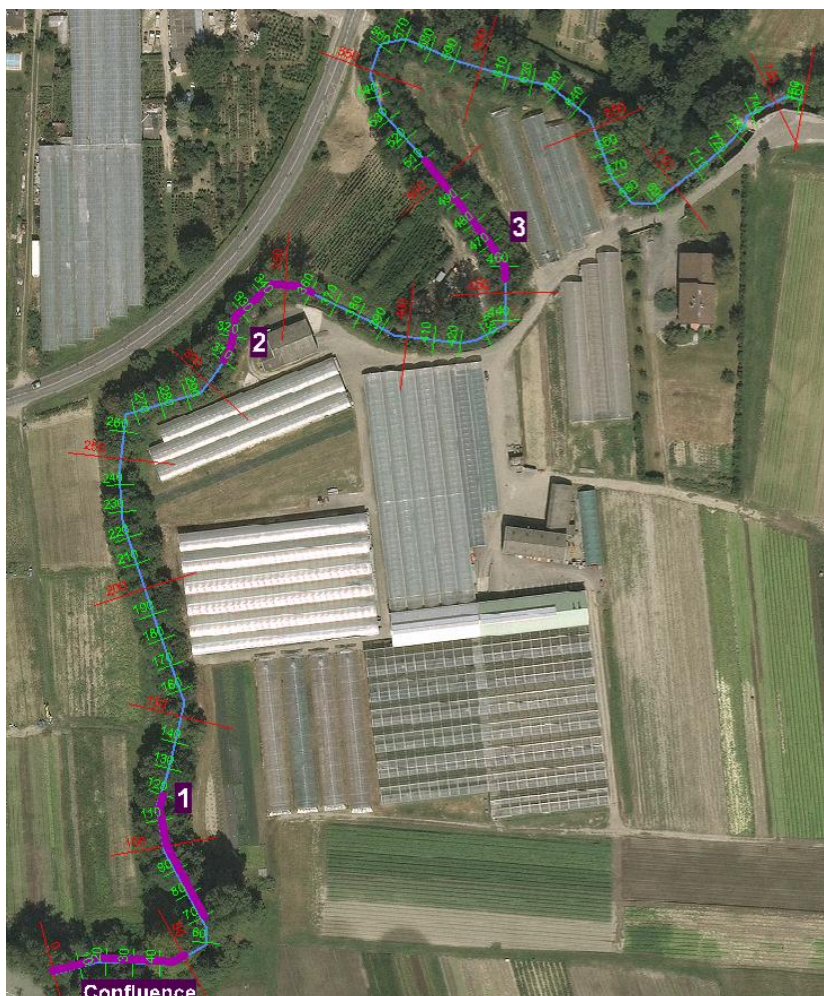


Figure 8 : Localisation des placettes au sein du linéaire d'étude

Les placettes 1, 2 et 3 ont été déterminées sur la base des reconnaissances effectuées le 29/07/2016. Ces placettes supportent des conditions représentatives du linéaire à aménager (ombrage, habitats, caches...) tout en présentant des caractéristiques distinctes (granulométrie moyenne, largeur moyen du lit (plein bord), faciès) permettant ainsi de témoigner de l'évolution du milieu face à certaines contraintes physiques.

❖ *Date des prospections*

Les phases de terrain se sont déroulées à l'étiage (voir détail des conditions hydrologiques dans le paragraphe suivant) :

- 29/07/2016 : reconnaissance de terrain, parcours du tronçon dans sa totalité, mise en évidence des placettes à prospecter,
- 03/08/2016 : détermination des faciès aquatiques et pose des sticks hypoxiques au sein des 4 placettes
- 22/08/2016 : relevé des éléments de composition des habitats aquatiques (caches, bancs....)

❖ Conditions hydrologiques des prospections

Le Foron de Sciez est équipé d'une station de mesure des débits V0355010, présentant un fonctionnement hydrologique similaire à celui du Foron de Gaillard. De fait, nous l'avons employé pour caractériser les conditions hydrologiques du Foron de Gaillard lors des prospections de terrain.

Le QMNA5 du Foron de Sciez est de 0.110 m³/s.

Voici les graphiques des débits moyens journaliers du Foron de Sciez pour la période juillet et août 2016 sur lesquels est matérialisée par la ligne rouge le QMNA5 et les dates de prospections encerclées.

Depuis le mois de juillet les débits du Foron de Sciez sont globalement bas, malgré quelques montées des eaux proches du module notamment le 12/07 et d'autres évènements pluvieux ayant fait ponctuellement gonflés les débits. Une diminution moyenne constante des débits depuis juillet est observée et les débits sont généralement proches du QMNA5.

Juillet 2016

Débits journaliers en m³/s

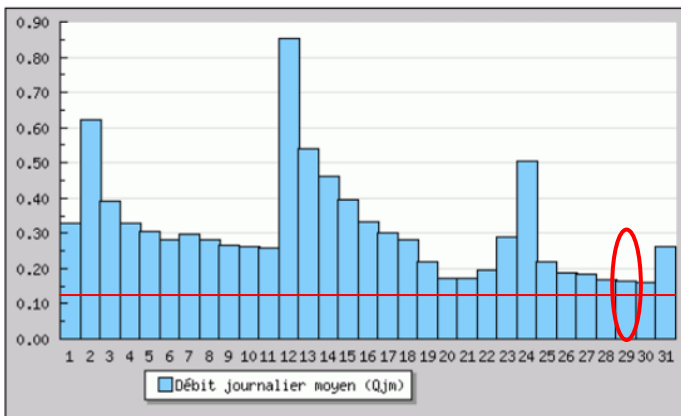


Figure 9 : débits moyens journaliers sur le Foron de Sciez observés à la station V0355010 au mois de juillet

Août 2016

Débits journaliers en m³/s

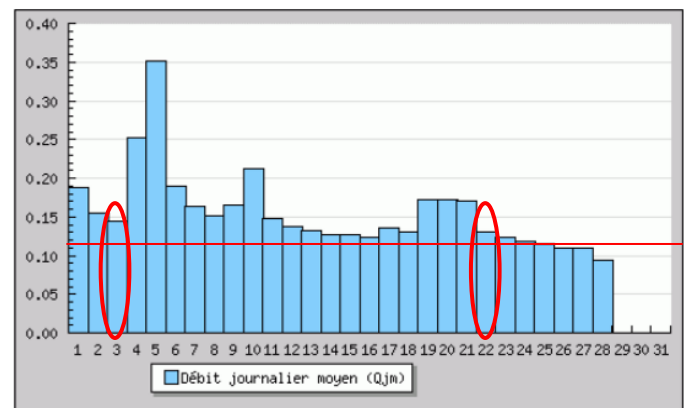


Figure 10 : débits moyens journaliers sur le Foron de Sciez observés à la station V0355010 au mois d'août

Tableau 2 : Débits moyens mesurés sur la station V0355010 du Foron de Sciez le jour des prospection de terrain

Dates	Débit moyen journalier (m ³ /s) mesurés à la station V0355010
29/07/2016	0.164
03/08/2016	0.144
22/08/2016	0.130

Lors des 3 jours de prospection les débits du Foron de Sciez présentait des valeurs faibles proches des valeurs de QMNA5 (0.110m³/s).

La description des habitats aquatiques s'est donc déroulées en condition d'étiage.

1.2.1.2. Éléments de caractérisation des habitats aquatiques employés

❖ *Faciès d'écoulement*

Les faciès ont été déterminés, sur les 4 placettes, sur la base de la clé de détermination de Malavoi et Souchon, à partir

- des hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement (1er niveau),
- des profils en travers et en long (2e niveau),
- des caractéristiques de la surface de l'eau (2e niveau).

La granulométrie moyenne observée sur chaque faciès a été relevée sur la base de la classification de Wentworth (1922).

❖ *Détermination de l'épaisseur hyporhéique efficace (EHE) : implantation de sticks*

Se reporter à l'annexe 1 pour plus de précisions du principe.

La hauteur hyporhéique efficace ou EHE est la hauteur de sédiments saturés en eau présentant une bonne oxygénation. Cette couche de l'ordre de quelques dizaine de cm est importante pour la vie aquatique.

Cette hauteur a été mesurée par la mise en place de sticks (tasseaux de pin 10*10mm) de 30 cm de haut, enfoncés entièrement dans le substrat du Foron de Gaillard. Les sticks ont été placés dans les substrats des trois placettes P1, P2 et P3. Les sticks ont été placés le 3/08/2016 et retirés le 22/08/2016.

Lors du retrait, on observe généralement deux parties, une partie claire correspondant à la couche oxygénée et une partie assombrie (en dessous) correspondant à la couche moins bien oxygénée (cette coloration brunie est due aux bactéries anaérobiques qui dégradent les sulfates en sulfure).



Figure 11 : stick hypoxique incubé, on remarque la partie grisée (hypoxie) délimitée par le trait noir en partie inférieure du tasseau.

Tableau 3 : Nombre de sticks mis en œuvre par placette

Placette	Nombre de sticks implantés	Date pose	Date retrait
Confluence	5	03/08/2016	22/08/2016
1	11	03/08/2016	22/08/2016
2	2	03/08/2016	22/08/2016
3	5	03/08/2016	22/08/2016

❖ Classes de colmatage

Se reporter à l'annexe 1d pour comprendre les effets du colmatage sur le milieu.

La détermination du colmatage est intéressante car c'est un bon indicateur de qualité des habitats : il joue en effet sur les échanges d'eau, de nutriments, d'invertébrés et de micro-organismes entre la surface et le milieu interstitiel. Le colmatage induit une banalisation des habitats interstitiels (Datry, 2010) et appauvrit la faune hyporhéique (Gayraud *et al.*, 2002).

A partir de l'état du substrat du lit et d'une manipulation simple, des classes de colmatage ont été déterminées selon les classes déterminées par Archambaud, *et al.*, 2005 (voir détail dans le tableau ci-dessous).

Ces différentes classes correspondent à un test visuel : il s'effectue en soulevant un élément du substrat identifié comme « substrat dominant » (*ibid.*).

On estime alors son degré de facilité d'extraction, ainsi que la densité à l'œil du nuage de MES éventuellement soulevé.

En fonction de ces deux critères on obtient cinq classes de colmatage qui sont synthétisées dans le tableau ci-dessous (*ibid.*) :

Encodage		CLASSES DE COLMATAGE (Archambaud, <i>et al.</i> 2005)
		Caractéristiques déterminantes
Classes	1	Éléments se soulevant facilement. Les éléments sont posés sur la sous-couche granulométrique et ne génèrent pas de MES.
	2	Éléments se soulevant plus difficilement que la classe 1. Toutefois le nuage de MES généré est peu dense, le pavage est « collé » par une couche limoneuse légèrement colmatante et qui lie les éléments entre eux.
	3	Les éléments sont très enchâssés et se soulèvent avec un nuage de MES assez épais.
	4	La structure est enchâssée dans une sous-couche très colmatante dont l'emprise est forte sur les éléments. Le nuage de MES est très dense.
	5	Les éléments ne se soulèvent pas ou très difficilement (structure cimentée ou sous forme d'un dallage). C'est le cas lorsque la granulométrie est recouverte par une épaisse couche de limon.

Tableau 4 : classes de colmatage (Archambaud *et al.*, 2005)

❖ L'induration du substrat du lit

L'induration (ou cohésion) du substrat du lit est un élément important pour analyser les possibilités de frai des espèces de poissons lithophiles.

En effet, un pavage très cohésif peut prendre la forme d'une induration et devient donc très difficile à préparer pour les géniteurs d'espèces lithophiles.

Nous avons ainsi développé en interne une échelle d'induration de 0 à 5, qui est synthétisée dans le tableau ci-après.

Echelle de cohésion du substrat du lit				
Cohésion du substrat	Meuble	ferme	dur	cimenté
Texture au toucher	Aucune cohésion	Ferme au toucher, mais assez facilement dépavable à la main	Dur au toucher et difficilement dépavable	Compact et très dur, très difficilement dépavable à la main
Indice de cohésion	0	1	3	5

Tableau 5 : Echelle de cohésion du substrat (Hydrétudes)

Nous évaluons ainsi « à la main », lorsque nous effectuons les prélèvements de matériaux, la cohésion des grains constitutifs du lit.

Il est à noter que la cohésion 0, correspond à des fonds de lit au substrat fin et très peu cohésif (sablonneux) ou à des patchs de colmatage composés de fines. Les cohésions 1 à 5 correspondent à des lits présentant une carapace (substrat), dont l'épaisseur est de la taille de l'ordre du diamètre des plus gros éléments (Simon, 1986).

Un substrat induré peut être, malgré une granulométrie adaptée, difficilement utilisable pour frayer (et ainsi plutôt réservé aux géniteurs de grande taille de TRF par exemple), voire s'il est cimenté non adapté au frai de toutes les espèces lithophiles car les géniteurs ne pourront y construire de frayère.

❖ *Caches/postes piscicoles*

Un relevé des caches et postes piscicoles a été effectué sur chacune des placettes. Ce relevé permet de veiller aux possibles zones de refuge offertes à la faune piscicole tant à l'étiage qu'au module.

Ainsi, les abris en berge, leur longueur et leur nature (sous cavage de tronc d'arbre, d'enrochements, de pied de berge...) ont été mis en évidence sur chacune des rives, tout comme la présence d'éléments grossiers au sein du lit constituant à la fois l'ossature et des possibles zones de repos favorables à la faune piscicole.

Une qualification de la période de fonctionnement de ces caches/postes est avancée, permettant ainsi de caractériser en période hydrologique constatée (étiage, module, débit supérieur au module) le potentiel d'accueil du Foron de Gaillard.

❖ *Atterrissements*

Par placette, un relevé de la longueur et largeur moyenne des atterrissements a été effectué, en parallèle d'un relevé de la granulométrie moyenne.

Le relevé de ces atterrissements est intéressant pour apprécier les processus de dépôts-érosion du lit.

❖ *Autres éléments*

Les dépôts limoneux sur les substrats ont été observés et les variations éventuelles au sein même des placettes mises en évidence.

La présence des rejets, la mise en évidence de leur activité les jours de reconnaissance de terrain, accompagnées du levé des principales caractéristiques organoleptiques (odeurs, couleur, présence de prolifération végétale...) ont été relevés au sein des placettes.

Tout autres éléments en mesure de caractériser les habitats ont été mentionnés comme les chevelus racinaires par exemple.

1.2.2. Placette 1

❖ *Présentation générale*

La placette 1 débute 70 mètres en amont de la confluence.

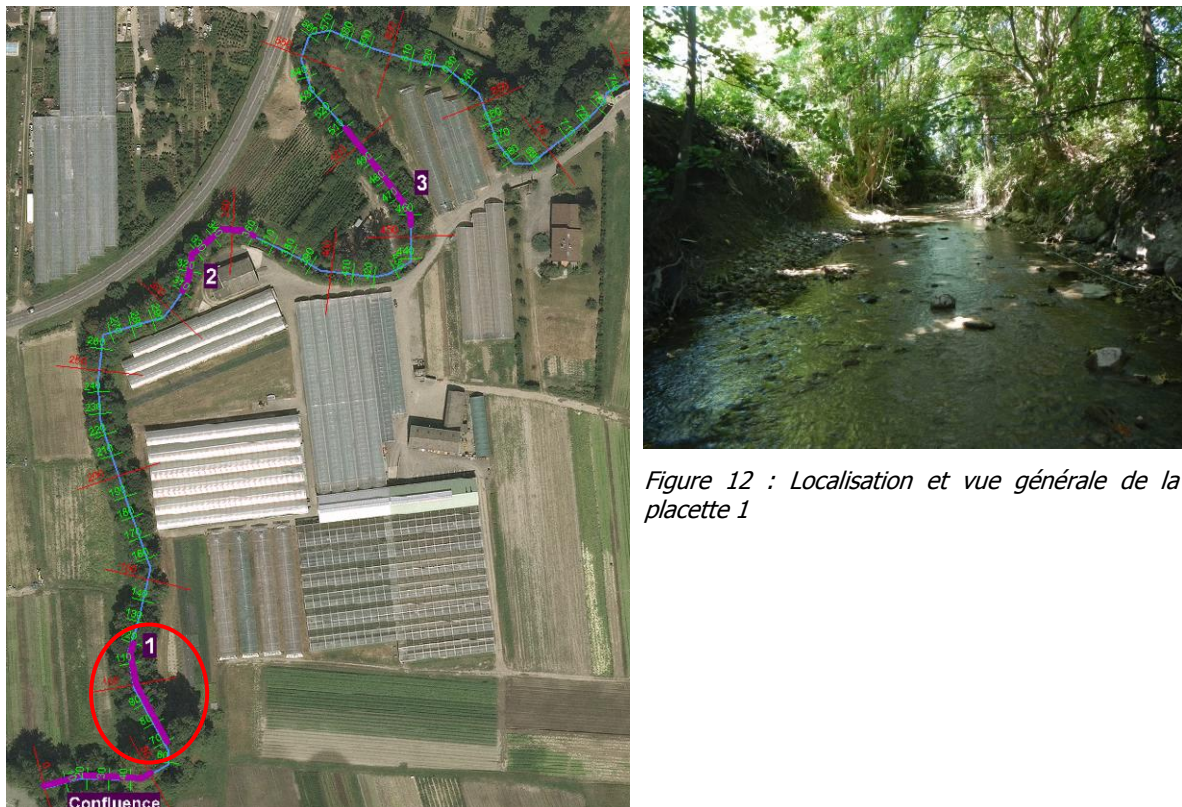


Figure 12 : Localisation et vue générale de la placette 1

Les eaux présentent un état visuel limpide, les mesures in situ effectuées attestent d'eaux bien oxygénées et une conductivité qui reflète la conductivité généralement mesurée sur la station RCO et qui témoigne d'eaux bien minéralisées.


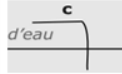
La hauteur d'eau moyenne à l'étiage est de 13 cm pour une largeur mouillée de 4.5 mètres.

L'ombrage apporté par la végétation est fort, il est de l'ordre de 90%.

Les berges présentent un profil très pentu, la hauteur est très élevée (>3m). Des enrochements libres sont ponctuellement présents, sur près de la moitié du linéaire de la rive gauche, et 1/5e de la rive droite. Les blocs de certaines protections ruinées sont éparpillés dans le lit mineur.

Le tableau qui suit synthétise les caractéristiques générales de cette placette.

Tableau 6 : Synthèse principales caractéristiques de la placette 1

Numéro placette		1		
Dates prospections		03/08/2016 et 22/08/2016		
Hydrologie moyenne		Etiage		
Longueur (m)		50		
Localisation (PK)		70 à 110		
Etat visuel de l'eau		Limpide		
Mesures in situ prise le 23/08/2016 entre 9h40 et 10h00	Localisation	radier	zone profond/calme	
	Température air	14.1		
	Température eau	15.1		
	Cond (µS/cm)	605		
	pH	8.56		
	O2%	93	90	
O2 mg/l	9	8.8		
Largeur moyenne (m)	Plein bord	6		
	En eau (étiage)	4.5 (3.6 à 6.70)		
Hauteur eau moyenne (m)	Plein bord	0.8		
	En eau (étiage)	0.13 (0.05 à 0.025)		
Rejet		Présent (1 en RG), inactif		
Ombrage (%)		60 à 90		
Berges	Profil	rive droite	rive gauche	
				
	Pente (%)	>70	>70	
	Hauteur (m)	3	3.5	
	Protections de berge	Matériaux	Enrochements libres	Enrochements libres
		Longueur (m)	10 + 5 déstabilisés	21
Signes érosion	Sappement	Sappement		

❖ Faciès d'écoulements

La figure suivante présente l'enchainement et la longueur relevée des faciès d'écoulement de la placette 1 de façon linéaire (la largeur n'est pas représentative du milieu).

Début placette

Fin placette

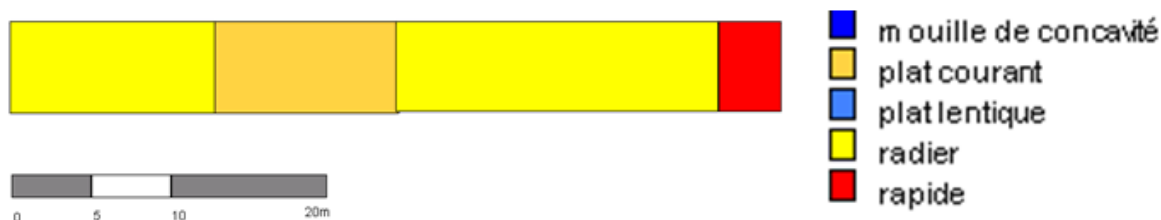


Figure 13. Relevé des faciès d'écoulement de la placette 1.

3 types de faciès d'écoulement sont rencontrés, le principal étant le radier (34m), notons l'absence de faciès profond (>60cm) et de faciès lent (<30cm/s).

❖ *Granulométrie*

La principale granulométrie rencontrée sur cette placette correspond aux cailloux grossiers (32 à 64 mm), puis dans un second temps aux pierres fines (64 à 128mm).



Photo 1 : Placette 1, cailloux grossiers



Photo 2 : Placette 1, pierres fines

❖ *Tapis/ossature*

La placette présente peu de rugosités, les éléments fins tapissant le lit étant majoritaires. Seuls quelques blocs de l'ordre de 25 à 40 cm, représentant à peine 15% de la surface du lit, dispersés ou quelques fois regroupés composent l'ossature du lit.

Photo 3 : Eléments de rugosité et tapis



❖ *Caches/postes*

Les abris en berge sont présents sur cette placette mais ne sont pas fonctionnels à l'étiage et ce quelque soit la rive. A l'étiage aucune cache piscicole n'est présente.

De plus certaines de ces caches semblent n'être fonctionnelles qu'à partir de débits supérieurs aux moyennes eaux.

La plupart de ces caches sont créées par le sapement des pieds de berges sous les racines et troncs des arbres de tailles importantes pour la rive droite et par les interstices entre les enrochements de protection du pied de digue pour les deux rives. En rive gauche, le système racinaire mis à nu par l'érosion pourrait offrir quelques abris pour de forts débits (cf *Photo 6*).

Au total, 8 caches ont été repérées dont 5 sur la rive droite.

En terme de linéaire, cela représente environ 9 mètres en rive droite et 2m en rive gauche (+ ponctuellement sur 8 mètres en lien avec les interstices des enrochements).

La rive droite qui présente une végétation rivulaire plus vieille et implantée soit en pied soit en milieu de berge, affiche de plus nombreuses caches.



Photo 4 : Abris en berge créé par sous cavage d'arbres en rive droite



Photo 5 : Abris en berge créés par les interstices entre enrochements en rive gauche



Photo 6 : Système racinaire mis à nu en rive gauche



Photo 7 : Berge mise à nu

Par ailleurs, seuls quelques blocs (voir paragraphe tapis/ossature) présents sur le linéaire permettent d'offrir ponctuellement des postes de repos pour la faune piscicole.

❖ *Colmatage/induration*

Le colmatage du substrat est ici le plus faible des 3 placettes, toute comme l'induration qui présente généralement pas ou peu de cohésion. Ainsi les classes et indices à retenir pour ces deux paramètres sont :

- Colmatage : Classe 1 (cf principe page 23)
- Induration : Indice 0 (cf principe page 24)

Toutefois, par endroit seulement quelques variations sont observées (notamment en bordure de cours d'eau), le colmatage et l'induration deviennent plus conséquents.

❖ *Dépôts limoneux*

Les substrats de cette placette présentent des dépôts limoneux notables, le mouvement de grattage de substrat (tel que réalisé par la truite lors du frai) génère ainsi un départ de matières en suspension assez important.

❖ *Oxygénation des habitats : sticks*

Pour la placette P1 10 sticks hypoxiques ont été mis en incubation en lit et 9 ont été exploités. Le stick PP1 n'a pu être exploité (stick cassé pendant l'incubation).

Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour la placette P1 :

Résultat des sticks hypoxiques après incubation				
localisation	N° stick	Résultat	EHE* (cm)	Observation
Placette 1	PP1		-	cassé
	PP2		13	
	PP3		30	
	PP4		19	
	PP5		10	
	PP6		20	
	PP7		18	
	PP8		16	
	PP9		15	
	PP10		18	
	PP11		15	

Tableau 7 : Résultat des sticks hypoxiques pour la placette P1

*EHE : Epaisseur hyporhéique efficace

Les éléments statistiques concernant la placette P1 sont les suivants :

Résultat des sticks hypoxiques par tronçons			
Tronçon	Données statistiques (EHE en cm)		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Placette 1	17,4	10	30 ⁺

Tableau 8 : Statistique concernant l'EHE de la placette P1

⇒ Discussion :

Sur les 10 sticks positionnés en lit le taux de retour est intéressant ainsi 9 sticks ont été retrouvés et sont exploitables soit 90%.

L'épaisseur hyporhéique moyenne sur la placette P1 est ainsi de 17,4 cm avec une épaisseur maximale de 30 cm (au minimum puisque c'est la taille des tasseaux – on notera cette épaisseur 30⁺) et une épaisseur minimale de 10 cm.

L'épaisseur minimale est à mettre en relation avec l'épaisseur de l'armure. En effet, on admet que l'épaisseur d'une armure est superposable à la taille des plus gros matériaux de cette armure (Couvert *et al.*, 1999 ; Bravard & Petit, 2000).

Ces épaisseurs sont intéressantes pour la vie aquatique et montrent ainsi un milieu peu colmaté puisque l'eau superficielle chargée en dioxygène pénètre le substrat (armure et couche interne).

Les schémas ci-dessous montrent l'EHE au niveau de la placette P1 à partir de l'oxycline (ligne séparant la partie supérieure du lit en normoxie (bien oxygénée) de la partie plus profonde en hypoxie (sous oxygénée)) :

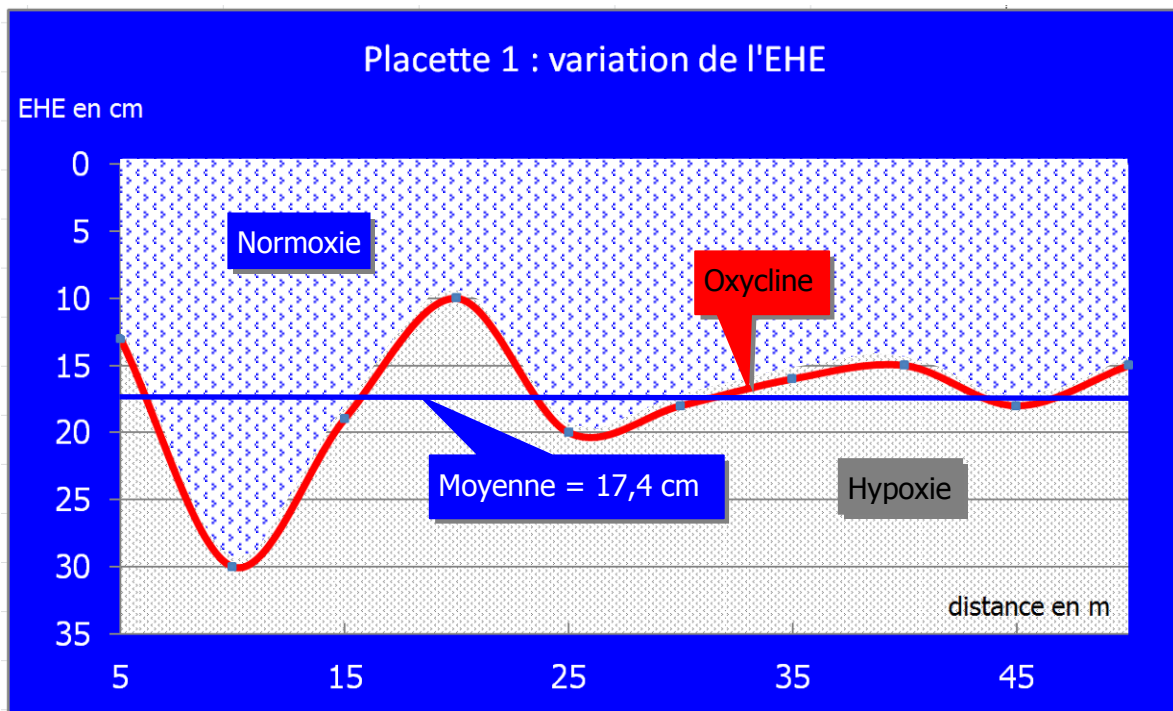


Figure 14 : Variation de l'EHE pour la placette P1

❖ Atterrissements

Deux atterrissements ont été façonnés en rive gauche, les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit. Ils sont situés l'un à la suite de l'autre et occupent la partie amont de la placette.

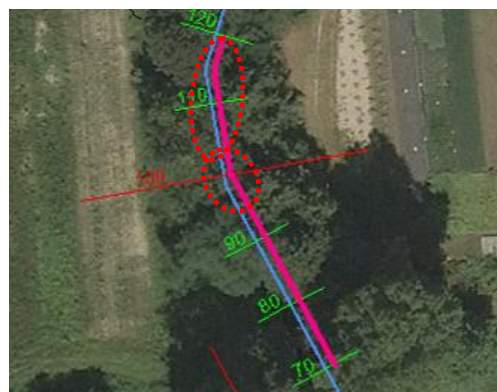




Figure 15 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne

Le linéaire du premier atterrissement atteint quasiment la moitié du linéaire de la placette.

Placette	Placette 1	
N° atterrissement	1	2
Rive de localisation	Gauche	Gauche
Longueur (m)	24	8
Largeur moyenne (m)	1.5	0.7
Granulométrie dominante	Pierres grossières	Pierres fines à grossières

Placette	Placette 1	
Observations	Peu induré	Induration plus prononcée
Photos		

❖ *Autres éléments : déchets, rejets ...*

Un rejet est présent en rive gauche mais son encombrement semble prouvé une inactivité permanente.

Quelques déchets souillent les berges, arrêtés lors des crues par les systèmes racinaires en berge ou par les branches de la végétation rivulaire (déchets plastiques, films plastiques, déchets métalliques...)

Certains déchets sont également ancrés dans la berge. D'ailleurs, la rive droite de la digue semble être formée par un remblais dans lequel de nombreux détritiques sont présents. Le haut de la berge rive droite a fait l'objet de dépôt de détritiques (roue, palette...).



Photo 8 : bâche plastique ancrée en berge



Photo 9 : déchets arrêtés par la végétation lors des crues



Photo 10 : amoncellement de débris de tout genre en haut de berge rive droite



Photo 11 : déchets en sommet de berge rive droite

❖ Synthèse placette 1

Les faciès d'écoulement sont réduits à la succession peu fréquente de plat courant/radier. L'absence significative de zone de profond utile au refuge est à déplorer.

La lame d'eau est faible à l'étiage, ce qui à une influence sur l'échauffement des eaux et rend difficile la progression pour le peuplement piscicole.

Les profils en travers sont assez homogènes et le milieu est peu attractif. Cet aspect tient de la faible présence d'éléments de rugosités et de l'homogénéité des substrats, dominés largement par les cailloux grossiers. Quelques éléments plus grossiers de type blocs sont présents mais proviennent généralement de la dégradation des protections présentes en pied de berge. L'absence de connexion latérale avec la ripisylve (berge qui tombe à pic dans le lit mineur), limite la diversité des substrats en pied de berge, généralement très biogènes comme les chevelus racinaires par exemples.

Cependant, et notamment ponctuellement au niveau des courbures même faibles, le processus de sédimentation/érosion, permet de diversifier les écoulements, les profils en travers apparaissent moins homogènes, affichant ainsi des zones plus profondes et plus lentes en partie concave.

En revanche le colmatage y apparait le plus faible de tout le linéaire (classe 1), même si parfois des patch de colmatage ont été repérés. Cet aspect est tout à fait corrélé au test

des sticks hypoxiques qui montre une épaisseur hyporhéique légèrement inférieure à 20 cm. Cette épaisseur est intéressante pour la vie aquatique puisque les eaux oxygénées pénètrent le substrat, mais elle demeure améliorable.

Concernant les abris piscicoles, ils sont absents à l'étiage et paraissent fonctionnels pour des débits proches ou supérieurs au modules mais demeurent peu nombreux. Les quelques abris sont liés au sous cavage des troncs d'arbres, du pied des berges et aux interstices entre enrochements de protection. Les postes piscicoles, en relation avec les éléments de rugosité sont quasiment absents.

Sur ce linéaire, la granulométrie rencontrée pourrait être favorable au frai de nombreuses espèces piscicoles, mais les dépôts observés sur ces substrats peuvent nuire à la bonne oxygénation des œufs.

De nombreux déchets souillent les berges (incrustés ou pris dans les branches), la rive droite semble être formée par un remblai contenant de nombreux détritiques.

Cette placette est assez homogénéisée toutefois mais présente quelques signes de dynamisation et de diversité physique intéressants et encourageants.

1.2.3. Placette 2

❖ *Présentation générale*

La placette 2 débute 310 mètres en amont de la confluence.

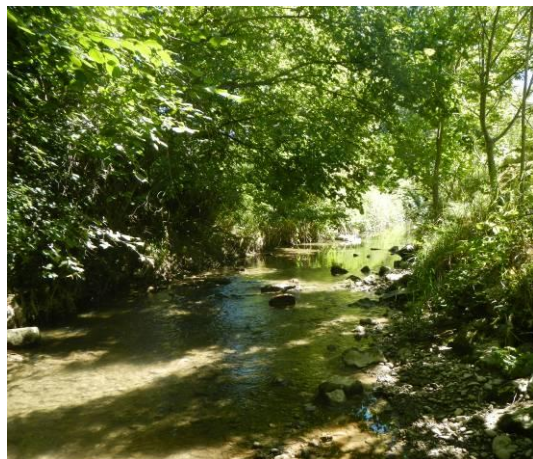
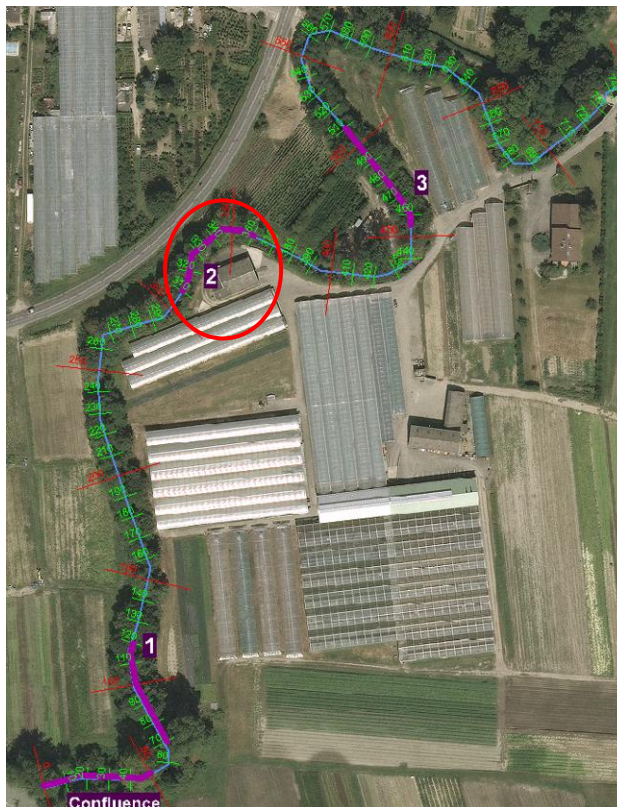

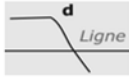


Figure 16 : localisation et vue globale de la placette 2

Les eaux présentent un état visuel limpide mais elles paraissent assez troubles au sein des mouilles. Les mesures in situ effectuées, quasiment similaires à la placette 1, attestent d'eaux bien oxygénées et une conductivité qui reflète la conductivité généralement mesurée sur la station RCO et qui témoigne d'eaux bien minéralisées.

La hauteur d'eau moyenne à l'étiage est de 27 cm pour une largeur mouillée de 3,6 mètres. Toutefois, de fortes variations de hauteurs d'eau sont mises en évidence au vu de la présence de zones de fonds allant jusqu'à 80cm.

Tableau 9 : Principales caractéristiques de la placette 2

Numéro placette		2		
Dates prospections		03/08/2016 et 22/08/2016		
Hydrologie moyenne		Etiage		
Longueur (m)		50		
Localisation (PK)		310 à 360		
Etat visuel de l'eau		Limpide mais troublées dans les mouilles		
Mesures in situ prise le 23/08/2016 entre 9h40 et 10h00	Localisation	radier	zone profond/calme	
	Température air	14.5		
	Température eau	15.2		
	Cond (µS/cm)	608		
	pH	8.52		
	O2%	93	92	
O2 mg/l	9.1	9		
Largeur moyenne (m)	Plein bord	4.5		
	En eau (étiage)	3.6 (1.8 à 4.8)		
Hauteur eau moyenne (m)	Plein bord	0.6		
	En eau (étiage)	0.27 (0.05 à 0.80)		
Rejet		Présent (1RG), actif (goutte)		
Ombrage (%)		60 à 90		
Berges	Profil	rive droite	rive gauche	
				
	Pente (%)	>70	30-70	
	Hauteur (m)	2.3	2.5	
	Protections de berge	Matériaux	Gabions	Enrochements libres
		Longueur (m)	10	25
Signes érosion	Sappement			

L'ombrage apporté par la végétation est fort, il est de l'ordre de 80%.

Les berges présentent un profil très pentu en rive droite, du fait de la présence de gabions. La digue atteint en moyenne 2,5m. Des enrochements libres occupent la moitié du linéaire de la rive gauche. Les gabions de la rive gauche occupent un linéaire de l'ordre de 10m.

Cette placette est située dans un coude maintenu par des gabions. Le processus de dépôts / érosion à fait naître de belles mouilles de concavité au pied de la rive droite.

❖ *Faciès d'écoulements*

La figure suivante présente l'enchainement et la longueur relevée des faciès d'écoulement de la placette 2 de façon linéaire (la largeur n'est pas représentative du milieu).

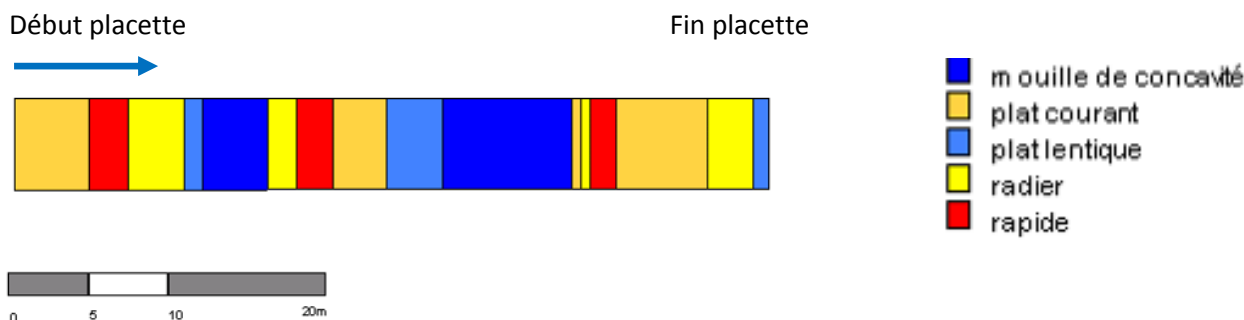


Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la placette 2

Cette placette présente une certaine diversité tant en terme de fréquence que de type de faciès.

5 types de faciès d'écoulement sont rencontrés, les deux principaux faciès étant le plat courant (15,3m) et la mouille de concavité (12,5m).

❖ *Granulométrie*

La granulométrie la plus rencontrée sur cette placette correspond aux pierres fines puis dans un second temps aux pierres grossières.

❖ *Tapis/ossature*

Cette placette présente une rugosité plus élevée en comparaison de la placette 1, même si les matériaux fins tapissant le lit sont très largement majoritaires. Les blocs représentent environ 20 % de la surface du lit et présentent une taille variable comprise entre 25 et 70 cm environ. Ils sont souvent dispersés et présents en bordure.



Photo 12 : Quelques blocs formant l'ossature

❖ *Caches/postes*

Les abris en berge sont présents sur cette placette et sont pour certains fonctionnels dès l'étiage (rive droite). Toutefois, la majorité de ces caches semblent fonctionnelles pour des débits supérieurs.

La plupart de ces caches sont créées par le sapement des pieds de berges sous les racines et troncs des arbres de tailles importantes pour la rive droite et par les interstices entre les enrochements de protection du pied de digue pour les deux rives.

Cette placette bénéficie également de deux zones de profond dans lesquels de gros blocs sont présents.

En terme de linéaire, cela représente environ 14 mètres en rive droite et ponctuellement sur 10 mètres en rive gauche (interstices entre enrochements).



Photo 13 : Abris en berge créé par sous cavage d'enrochements en rive gauche



Photo 14 : Abris en berge créés par sous cavage de la végétation en rive droite.

Globalement, la rive droite qui présente une érosion plus marquée (zone de concavité) et une végétation rivulaire plus vieille, implantée soit en pied soit en milieu de berge, affiche de plus nombreuses caches. Le chevelus racinaires y est d'ailleurs assez bien représenté.



Photo 15 : Mouille de concavité et sous cavage de tronc d'arbres en rive droite



Photo 16 : Chevelu racinaire immergé en rive droite

En comparaison des autres placettes, celle-ci présente la plus grande diversité et nombre d'abris en berge.

En terme de postes piscicoles quelques blocs présents en bordure d'écoulement peuvent être utilisés par la faune piscicole (voir photos du paragraphe tapis/ossature).

❖ *Colmatage/induration*

Le colmatage du substrat est ici assez hétérogène et évolue entre les classes 2 et 3, tandis que le niveau d'induration reste assez homogène (indice 1).

La variation du niveau de colmatage a été mise en évidence entre les substrats des faciès situés en amont de la seconde mouille de concavité qui présentaient un colmatage plus important, que celui des substrats situés en aval de la mouille de concavité.

Ainsi les classes et indices à retenir pour ces deux paramètres sont :

- Colmatage : classe 2 à 3
- Induration : Indice 1

❖ *Dépôts limoneux*

De forts dépôts limoneux sont observés sur les substrats dans les mouilles, les substrats à l'aval de ces dernières en étant dépourvus ou quasiment dépourvu.

❖ *Oxygénation des habitats : sticks*

Pour la placette P2, 2 sticks hypoxiques ont été mis en incubation en lit et 2 ont été exploités.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour la placette P2 :

Résultat des sticks hypoxiques après incubation				
localisation	N° stick	Résultat	EHE (cm)	Observation
Placette 2	PMG0		19	
	PMG1		14	

Tableau 10 : Résultats des sticks hypoxiques pour la placette P2

Les éléments statistiques concernant la placette P2 sont les suivants :

Résultat des sticks hypoxiques par tronçons			
Tronçon	Données statistiques (EHE en cm)		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Placette 2	16,5	14	19

Tableau 11 : Statistique concernant l'EHE de la placette P2

⇒ Discussion :

Les 2 sticks positionnés en lit ont été retrouvés et sont exploitables.

L'épaisseur hyporhéique moyenne sur la placette P2 est ainsi de 16,5 cm avec une épaisseur maximale (19 mm) proche de la minimale (14 cm).

Ces épaisseurs sont intéressantes pour la vie aquatique mais sont relativement limitées toutefois, l'eau pénétrant dans l'épaisseur du lit sans y aller toutefois profondément.

❖ *Atterrissements*

Deux atterrissements ont été façonnés en rive gauche, les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit. Ils sont situés l'un à la suite de l'autre et se sont déposés sur l'intrados du coude maintenu par gabions en rive droite et au pied desquels des mouilles de concavité se sont formées.

Les deux bancs occupent plus des 2/3 du linéaire total de la placette.

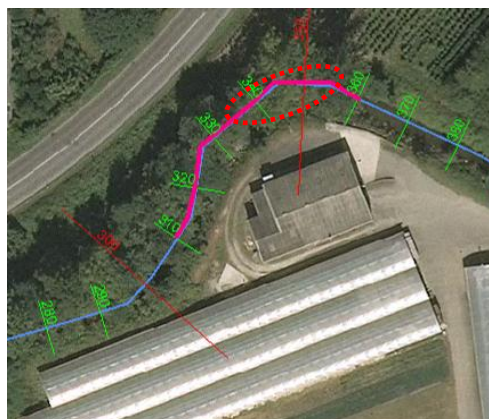




Figure 18 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne

Placette	Placette 2	
N° atterrissement	1	2
Rive de localisation	Gauche	Gauche
Longueur (m)	10	26
Largeur moyenne (m)	2	2.3
Granulométrie dominante	Pierres fines	Pierres fines
Observations	Peu induré	Peu induré
Photos		

❖ *Autres éléments : déchets, rejets*

Un rejet gouttait le jour des reconnaissances de terrain, il est implanté en rive gauche. Les eaux issues de ce rejet sont limpides et sans odeur significatives, par ailleurs aucune prolifération végétale du tuyau ou de la gouille n'a été mise en évidence.

Quelques débris constitués de film plastiques sont présents sur les branches (stoppés en crue). D'autres déchets métalliques jonchent également le fond de lit.



Photo 17 : Déchets métalliques

❖ Synthèse placette 2

Les faciès d'écoulement sont ici les plus diversifiés et alternés par rapport aux autres placettes, ceci est lié au processus d'érosion/sédimentation permettant de diversifier les écoulements et de créer un lit vif assez dynamique. Le milieu apparaît alors assez hétérogène et relativement attractif grâce aux habitats en pied de berge rive droite (concave) qui se sont mis en place et sont fonctionnels dès l'étiage (chevelus racinaires, sous cavage de tronc, déstabilisation des gabions...) et ce malgré la fixation de la berge droite par des rangées de gabions.

Les mouilles présentes, permettent également la réalisation du processus de décantation et semblent ainsi avoir un effet direct sur le colmatage (variation entre classes 2 et 3) et les dépôts limoneux observés sur les substrats (colmatage et dépôts plus faible en aval des mouilles).

Pour la faune piscicole, cette placette présente de nombreux atouts notamment en ce qui concerne les abris en berge et les postes (mouille, sous cavage, blocs en lit).

En ce qui concerne la zone hyporhéique, les quelques sticks mis en place affichent des résultats contrastés, l'épaisseur est intéressante mais pas suffisante.

Le lit vif de cette placette s'est reconstitué au fil des crues, et présente de bons atouts en terme de diversité et d'abris, notamment en rive concave (en comparaison des autres placettes) et ce malgré la fixation de ces berges. La rive gauche demeure toutefois banalisée (avec pour moitié des protections en enrochements) et déconnectée du milieu aquatique.

1.2.4. Placette 3

❖ *Présentation générale*

La placette 3 débute 470 mètres en amont de la confluence.

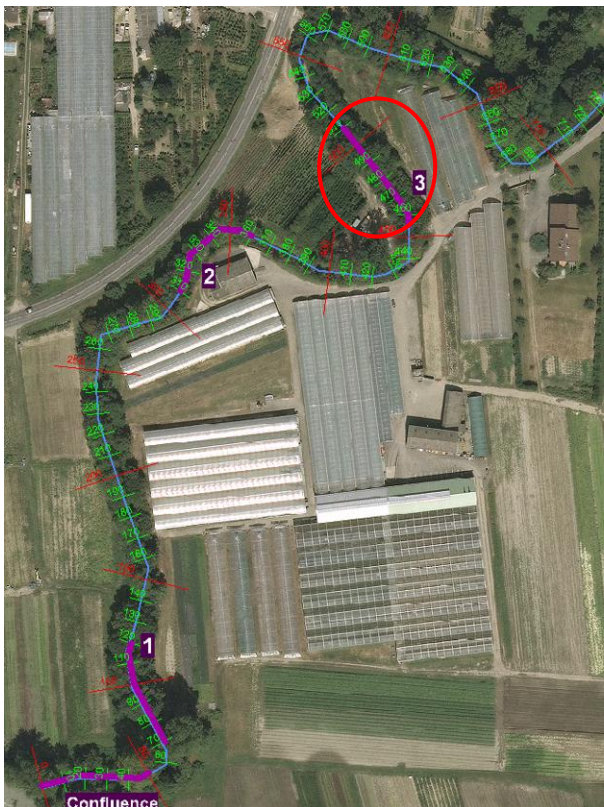
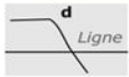
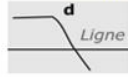


Figure 19 : localisation et vue globale de la placette 3

Les eaux présentent un état visuel limpide mais elles paraissent assez troubles au sein des mouilles. Les mesures in situ effectuées, quasiment similaires aux deux placettes aval, attestent d'eaux bien oxygénées et d'une conductivité qui reflète la conductivité généralement mesurée sur la station RCO et qui témoigne d'eaux bien minéralisées.

La hauteur d'eau moyenne à l'étiage est de 10 cm pour une largeur mouillée de 5 mètres. L'ombrage apporté par la végétation est fort, il est de l'ordre de 80%.

Tableau 12 : Principales caractéristiques de la placette 3

Numéro placette		3		
Dates prospections		03/08/2016 et 22/08/2016		
Hydrologie moyenne		Etiage		
Longueur (m)		50		
Localisation (PK)		470 à 520		
Etat visuel de l'eau		Limpides		
Mesures in situ prise le 23/08/2016 entre 9h40 et 10h00	Localisation	radier	zone profond/calme	
	Température air	15		
	Température eau	15.2		
	Cond (µS/cm)	609		
	pH	8.58		
	O2%	93		
	O2 mg/l	9		
Largeur moyenne (m)	Plein bord	7.3		
	En eau (étiage)	5 (3 à 5.45)		
Hauteur eau moyenne (m)	Plein bord	0.6		
	En eau (étiage)	0.1 (0.05 à 0.30)		
Rejet		Absent		
Ombrage (%)		60 à 90		
Berges		rive droite	rive gauche	
	Profil			
	Pente (%)	30-70	30-70	
	Hauteur (m)	2.5	2.6	
	Protections de berge	Matériaux	Enrochements libres	Enrochements libres
		Longueur (m)	10	10
Signes érosion		Sappement		

Les berges sont généralement inclinées, sauf ponctuellement au niveau des linéaires de protection avec enrochements libres (notamment en rive droite) ou elles se raidissent. La berge atteint en moyenne 2,5m. Des protections en enrochements libres positionnées sur les extrémités de la placette occupent près de 1/5e du linéaire de chaque berge.

❖ Faciès d'écoulements

La figure suivante présente l'enchaînement et la longueur relevée des faciès d'écoulement de la placette 3 de façon linéaire (la largeur n'est pas représentative du milieu).

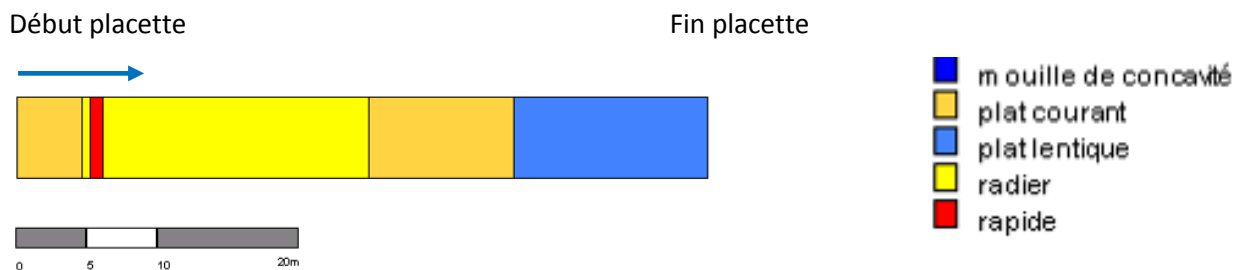


Figure 20 : Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la placette 3

4 types de faciès d'écoulement sont rencontrés, le principal étant le radier (environ 20m), suivi du plat courant (15.2). Notons l'absence de faciès profond (>60cm).

❖ Granulométrie

La granulométrie la plus rencontrée sur cette placette correspond aux pierres grossières puis aux pierres fines.



Photo 18 : Pierres fines placette 3



Photo 19 : Pierres grossières placette 3

❖ *Tapis/ossature*

De la même manière que les deux autres placettes, la rugosité de cette dernière est faible. Toutefois, ici les éléments formant l'ossature sont plus proches de la pierre grossières que du bloc et sont dispersés sur l'ensemble du lit mouillé.

Leur efficacité en terme de rugosité semble se limiter aux faibles débits (absence d'effet lors des débits moyens sur la diversification de la ligne d'eau). Quelques blocs de taille plus importante sont ponctuellement présents.



Photo 20 : Aspect général du lit mineur, quelques blocs éparpillés



Photo 21 : Élément de l'ossature (rocher)

❖ *Colmatage/induration*

Le colmatage du substrat est ici assez hétérogène et évolue entre les classes 2 et 3, tandis que le niveau d'induration reste assez homogène (indice 1).

Un gradient de colmatage s'observe depuis la partie aval vers la partie amont de la placette, plus l'on s'éloigne du faciès plat lentique moins le colmatage est prononcé.

Ainsi les classes et indices à retenir pour ces deux paramètres sont :

- Colmatage : classe 2 à 3

- Induration : Indice 1

❖ *Dépôts limoneux*

De forts dépôts limoneux sont observés sur le plat lentique sur la partie amont de la placette.

❖ *Caches/postes*

Sur cette placette les caches en berge et postes sont quasiment absents et se résument à quelques trouées formées en pied de berge et sous les troncs des arbres par sapement du pied de berge. L'étiage n'offre aucune possibilité d'abris en berge pour la faune piscicole.



Photo 22 : Pied de berge sappé offrant un refuge lors des moyennes eaux

❖ *Oxygénation des habitats : sticks*

Pour la placette P3 5 sticks hypoxiques ont été mis en incubation en lit et 4 ont été exploités. Le stick PPG2 n'a pu être exploité.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour la placette P3 :

Résultat des sticks hypoxiques après incubation				
localisation	N° stick	Résultat	EHE (cm)	Observation
Placette 3	PPG1		7	
	PPG2		-	cassé
	PPG3		15	
	PPG4		28	
	PPG5		26	

Tableau 13 : Résultats des sticks hypoxiques pour la placette P3

Les éléments statistiques concernant la placette P3 sont les suivants :

Résultat des sticks hypoxiques par tronçons			
Tronçon	Données statistiques (EHE en cm)		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Placette 3	19	7	28

Tableau 14 : Statistique concernant l'EHE de la placette P3

⇒ Discussion :

Sur les 5 sticks positionnés en lit le taux de retour est intéressant ainsi 4 sticks ont été retrouvés et sont exploitables soit 80%. Le stick PPG2 s'est cassé vraisemblablement lors de sa mise en place et de ce fait est inexploitable.

L'épaisseur hyporhéique moyenne sur la placette P1 est ainsi de 19 cm avec une épaisseur maximale de 28 cm et une épaisseur minimale de 7 cm.

L'épaisseur minimale est à mettre en relation avec l'épaisseur de l'armure. En effet, on admet que l'épaisseur d'une armure est superposable à la taille des plus gros matériaux de cette armure (Couvert *et al.*, 1999 ; Bravard & Petit, 2000). Cette épaisseur est faible.

Toutefois, ces épaisseurs sont intéressantes pour la vie aquatique (deux sticks ont une épaisseur hyporhéique > 25 cm) et montrent ainsi un milieu peu colmaté puisque l'eau superficielle chargée en dioxygène pénètre le substrat (armure et couche interne)

Les schémas ci-dessous montrent l'EHE au niveau de la placette P3 (implantation des sticks sur les 25 premiers mètres) à partir de l'oxycline (ligne séparant la partie supérieure du lit en normoxie de la partie plus profonde en hypoxie) :

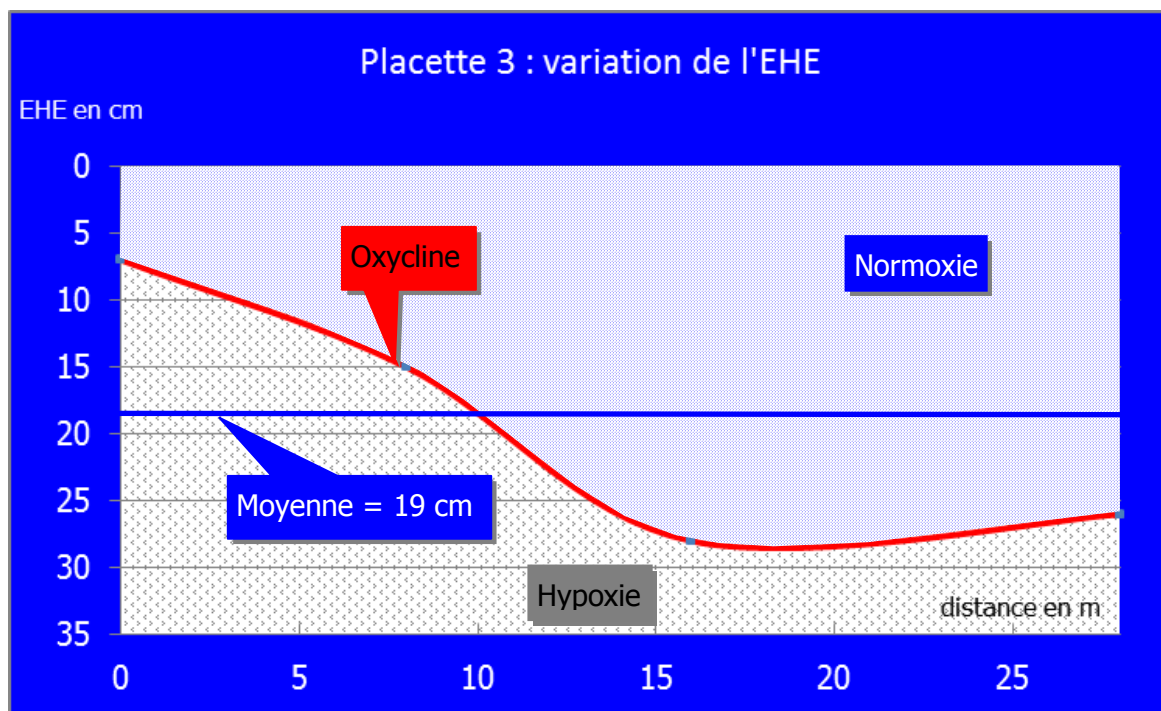


Figure 21 : Variation de l'EHE pour la placette 3



❖ Atterrissements

Deux atterrissements ont été façonnés en rive droite, les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit.

Les deux bancs prennent place sur quasiment la moitié du linéaire de la placette



Figure 22 : Localisation des atterrissements sur vue aérienne

Placette	Placette 3	
N° atterrissement	1	2
Rive de localisation	Droite	Droite
Longueur (m)	12	11
Largeur moyenne (m)	1.7	1.7
Granulométrie dominante	Pierres fines	Pierres fines
Observations	Mélange de matériaux déposés à la dernière crue non colmaté Sur autre matériaux très enchâssés	Colmatage présent mais moins prononcé que sur l'autre banc
Photos		

❖ *Autres éléments : déchets, rejets*

Au sein de cette placette, aucun rejet n'a été mis en évidence, par contre, un rejet qui semblerait être un déversoir d'orage, au vu des nombreuses lingettes ménagères présentes en berge, est présent en rive gauche une dizaine de mètres en aval de la placette.



Photo 23 : Rejet en rive gauche, (déversoir d'orage ?), une dizaine de mètres en aval de la placette 3

Des déchets de type film plastique ; tissu, métallique, sont stoppés par les racines ou ancrés dans les berges sont à noter.



Photo 24 : détritrus jonchant le fond du lit



Photo 25 : déchet métallique ancré dans le corps de digue en rive droite

❖ *Synthèse placette 3*

Cette placette est la plus banalisée des trois, elle présente un secteur rectiligne, marqué par un lit vif s'étalant très largement et conduisant à l'abaissement de la lame d'eau à des niveaux faibles à l'étiage (environ 10 cm).

Les éléments de rugosité quasiment absents en parallèle de l'étalement de ligne d'eau conduisent à homogénéiser le milieu. Les bancs, qui se sont constitués naturellement et présents ponctuellement en pied de berge (sur une dizaine de mètres) ne permettent pas de resserrer suffisamment les écoulements.

Pour la faune piscicole, cette placette manque nettement d'abris, de postes et de diversité de faciès, elle n'est pas attractive.

Le colmatage, à l'instar de la placette 2, est assez fort et évolue entre les classes 2 et 3, cependant, les résultats des sticks sont plutôt encourageants même si de nette variation de l'épaisseur hyporrhéique efficace est mise en évidence, cette hauteur est améliorable.

En ce qui concerne les rejets, cette placette est marquée par la présence (extrémité aval) d'un rejet de type déversoir d'orage à en croire les résidus de lingettes présentes sur les berges.

La placette 3 est homogène et présente que très peu d'intérêt en l'état pour le peuplement piscicole.

1.2.5. Confluence


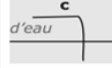
❖ Présentation générale

Les eaux présentent un état visuel limpide, mais troublées au sein des mouilles. Les mesures in situ effectuées attestent d'eaux bien oxygénées et une conductivité qui reflète la conductivité généralement mesurée sur la station RCO et qui témoigne d'eaux bien minéralisées.



Photo 26 : Vues générales de la confluence

Tableau 15 : Caractéristiques principales de la confluence

Numéro placette		Confluence		
Dates prospections		03/08/2016 et 22/08/2016		
Hydrologie moyenne		Etiage		
Longueur (m)		environ 35		
Localisation (PK)		0 à 50		
Etat visuel de l'eau		Limpide mais troublée dans la mouille en amont (Pk 40-50), très fortes odeurs liées au rejet de la STEP OCYBELE dans l'Arve		
Mesures in situ prise le 23/08/2016 entre 9h40 et 10h00	Localisation	Confluence (quelque soit la distance avec l'Arve)		
	Température air	15.1		
	Température eau	15.1		
	Cond (µS/cm)	616		
	pH	8.24		
	O2%	90		
	O2 mg/l	8.8		
Largeur moyenne (m)	Plein bord	7		
	En eau (étiage)	3		
Hauteur eau moyenne (m)	Plein bord	1		
	En eau (étiage)	0.15		
Rejet		Absent		
Ombrage (%)		60 à 90		
Berges	Profil	rive droite	rive gauche	
				
	Pente (%)	>70	>70	
	Hauteur (m)	3.5	3.5	
	Protections de berge	Matériaux	Enrochements libres	
		Longueur (m)	0	35
	Signes érosion	Sappement		

❖ *Faciès d'écoulement*

La figure suivante présente l'enchainement et la longueur relevée des faciès d'écoulement de la placette confluence de façon linéaire (la largeur n'est pas représentative du milieu).

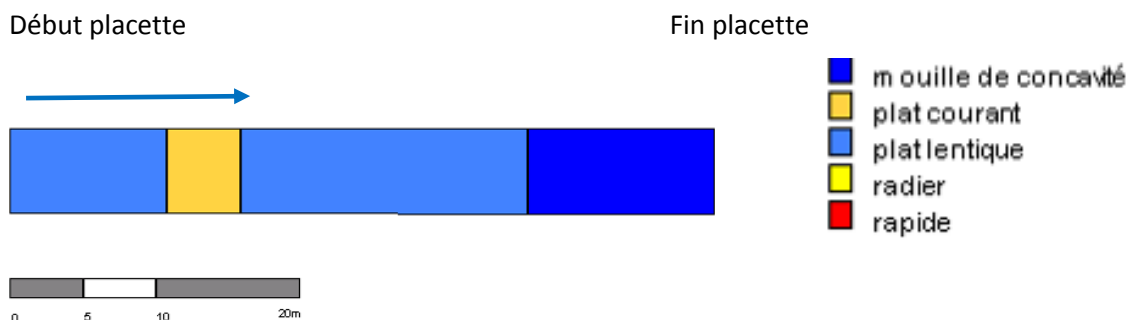


Figure 23 : Figure 17 : Relevé des faciès d'écoulement de la confluence

3 types de faciès d'écoulement sont rencontrés, le principal étant le plat lentique (environ 32 m), suivi du plat courant (15,2m). Notons la prédominance de faciès à écoulement lent.

❖ *Granulométrie*

La granulométrie la plus rencontrée sur cette placette correspond aux sables fins puis aux limons. Compte-tenu de la présence massive de sédiments fins le milieu est totalement banalisé.

Tableau 16 : Sable fin au niveau de la confluence



❖ *Tapis/ossature*

La placette est quasiment dépourvue de tout élément de rugosité, le milieu est relativement instable. La perte de tous les sticks implantés confirme bien ce constat (remobilisation fréquente des matériaux).

❖ *Caches/postes*

Aucune cache n'est présente à l'étiage sur cette placette. Les seules caches possibles demeurent les interstices des enrochements présents en pied de digue. Les quelques postes retrouvés ici proviennent de la dégradation de ces enrochements de protections.

❖ *Frayères*

Le milieu est impropre au frai des espèces piscicoles présentes (biotype B6 altéré).

❖ *Colmatage/induration*

Le colmatage est certainement très important voire généralisé compte-tenu de la nature des sédiments déposés en lit.

En effet, le substrat est composé de sédiments fins (A^W , L^W et SF^W)¹ soit une fraction argilo-limono-sablonneuse. Ce substrat de type « support par la matrice » (cf. Figure 24), compte-tenu de la nature de ses espaces interstitiels très colmatés², limite voire empêche la circulation d'eau et donc l'Épaisseur Hyporhéique Efficace (EHE)

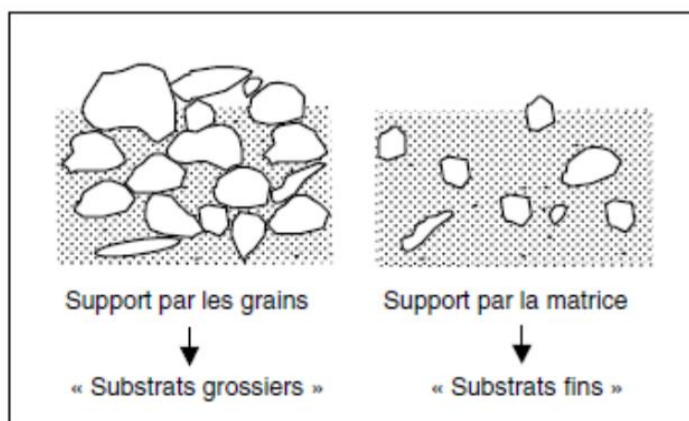


Figure 24 : substrat grossier *versus* substrat fin (Gayraud *et al*, 2012).

❖ *Oxygénation des habitats : sticks*

5 sticks ont été posés en lit et laissés pour incubation. Aucun des 5 sticks n'a été retrouvé. En effet, le milieu est mouvant et ne permet pas de laisser incuber des sticks.

On peut toutefois penser que le l'EHE est inexistante, les sédiments présentant peu ou pas d'espaces interstitiels essentiels à la circulation des eaux et du dioxygène en lit.

❖ *Synthèse confluence*

La confluence Foron de Gaillard-Arve constitue une zone écotonale (pris ici dans le sens de zone de transition écologique entre deux hydrosystèmes) caractérisée par des dépôts sédimentaires de matériaux fins, saturant le lit et qui se produisent notamment lors des crues de l'Arve par remontée et/ou débordement dans le lit du Foron de Gaillard.

¹ Les lettres affectées d'un exposant en W font référence à la classification de Wentworth : A^W = argile, L^W = limon etc...

² la porosité est de 0% pour les argiles, 3% pour les limons et varie entre 5 et 25% pour les sables fins, leur conductivité hydraulique s'étage entre $5 \cdot 10^{-10}$ m/s pour les argiles $2 \cdot 10^{-5}$ m/s pour les sables fins (d'après Datry *et al*, 2008).

Du fait du colmatage, les réseaux trophiques sont fortement impactés par la quasi absence d'habitats que ce soit pour les biofilms épilithiques bases de ces réseaux ou encore la vie piscicole...

Les abris en berge et en lit vif sont quasi inexistantes et se cantonnent aux interstices entre les enrochements de protection de berge. Par ailleurs, la renouée du Japon a envahie une bonne partie des berges et la rive droite semble être constituée par un remblai dans lequel de nombreux détritiques sont insérés.

Toutefois, la mouille présente sur l'extrémité amont de cette placette, est favorable pour les espèces piscicoles (zones de lent, refuge et température) et permet la décantation des fines. Cette zone a peu d'intérêt d'un point de vue écologique *stricto sensu*.

1.3. PEUPLEMENT PISCICOLE ATTENDU ET OBSERVE

Les données utilisées dans ce paragraphe sont issues de l'étude piscicole 2012 du Foron de Gaillard, de la Fédération de Pêche de Haute Savoie, C. Chasseriaux, juin 2013. Cette étude fait état de l'évolution du peuplement par rapport à l'état initial réalisé en 2000 avant l'établissement du contrat de rivière.

6 stations ont été prospectées en 2000 et 2012 par des pêches d'inventaire sur l'ensemble du Foron, 5 étant positionnées en aval du lac de Machilly.

La station ARV15 se situe au sein de notre zone d'étude.

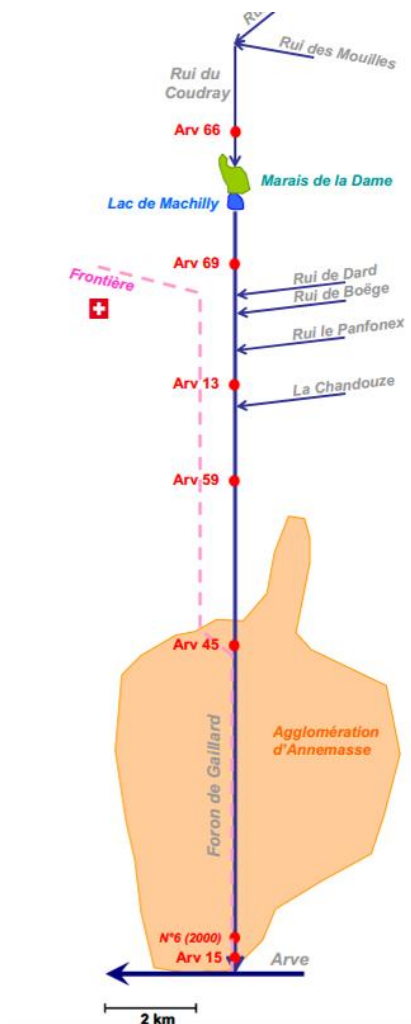


Figure 25 : Schéma du Foron de Gaillard, localisant les stations d'inventaires piscicoles - Source : Fédération d: C. Chasseriau, juin 213

1.3.1. Niveaux typologiques théoriques

Les Niveaux Typologiques Théoriques (NTT* (cf. lexique)) pour le Foron de Gaillard sont compris entre :

- B4 (petite rivière froide),
- et B6 (rivière de prémontagne ou de plaine à nappe fraîche / ruisseau chaud et lent).

Ces NTT s'expliquent principalement par une température moyenne des 30 jours les plus chauds élevée peu caractéristique d'un petit cours d'eau de moyenne altitude comme le Foron de Gaillard caractérisé par un ordre de Strahler de 3.

Selon les NTT et suivant la position sur le cours d'eau, le peuplement piscicole correspond donc à celui d'une zone à truite ou d'une zone à ombre. Cela signifie pour le premier cas que la truite est l'espèce dominante accompagnée de quelques petites espèces (vairon, loche franche) et dans le deuxième cas que les petites espèces (loche franche) et les cyprinidés d'eaux vives (goujon, chevenne, spirin, blageon) composent l'essentiel du peuplement.

Certaines espèces inscrites théoriquement dans des peuplements B4 à B6 ne sont pas considérées dans le cas du peuplement piscicole du Foron de Gaillard, à savoir :

- la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*) le barbeau méridional (*Barbus meridionalis*), l'apron du Rhône (Zingel asper L.), le hotu (*Chondrostoma nasus*), le toxostome (*Parachanna toxostoma*), la vandoise (*Leusciscus sp.*), l'épinochette (*Pungitius laevis*) et la bouvière (*Rhodeus amarus*) qui sont identifiés comme non autochtones,
- l'ombre commun (*Thymallus thymallus*) cité historiquement comme présent sur l'aval du Foron de Gaillard (Annexe 3). Cependant cette espèce effectue des migrations de l'Arve vers les affluents lors de sa période de reproduction entre février et avril : sa présence dans le Foron de Gaillard ne serait donc que temporaire.
- le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), la lotte (*Lota lota*) et la blennie fluviatile (*Salvia fluviatilis*) qui sont plutôt inféodés aux lacs alpins et peuvent être observés aux confluences lac-rivière.

1.3.2. Composition et état du peuplement observé sur le Foron

Les pêches réalisées montrent une différence de peuplement entre l'amont et l'aval du lac de Machilly (lié à l'impact du lac sur la thermie du cours d'eau qui confère des conditions inhospitalières pour les salmonidés (VIGIER & CAUDRON, 2007 ; VIGIER, 2013)).

Seul l'amont du lac de Machilly, le ruisseau de Coudray héberge un peuplement piscicole salmonicole.

La population de truite en place y est fonctionnelle avec des densités et biomasses environ conformes à celles attendues et définies par le Niveau Typologique Théorique (NTT) de cette portion de cours d'eau.

A l'aval du lac de Machilly, les peuplements piscicoles se composent essentiellement d'espèces cyprinicoles (BAF, BLN, CHE, SPI, VAI, GAR(2000)). La truite fario est présente de manière très ponctuelle, les populations apparaissent déséquilibrées avec un déficit important en juvéniles et ce malgré les déversements opérés chaque année. Les conditions thermiques, hydrobiologiques, bactériologiques... sont défavorables pour le développement de cette espèce (VIGIER & CAUDRON, 2007 ; LECURET et al., 2012).

Par ailleurs, et ce pour l'ensemble du linéaire situé en aval du lac :

- le chabot et l'ombre commun sont toujours absents sur l'ensemble du linéaire du Foron,
- l'écrevisse du pacifique, espèce invasive, est recensée sur toute la partie en aval du lac de Machilly.

1.3.3. Comparaison des peuplements attendus et observés sur le secteur d'étude

Les éléments dont nous disposons (Chasseriau, 2013) permettent de caractériser la population piscicole en 2013.

Les graphiques ci-dessous (Chasseriau, 2013) mettent en relation trois éléments :

- Le Niveau Typologique Théorique (NTT),
- Les classes d'abondance par espèce réalisées en 2000,
- Les classes d'abondance par espèce réalisées en 2012.

Ces graphiques correspondent à la confluence (Arv 15) et à environ 7 km plus en amont (Arv 45) (localisation sur Figure 25 en page 53). Ces deux stations étudiées en 2000 et 2012 étant les plus pertinentes pour notre zone d'étude (la première étant située au sein de la zone et la seconde en amont).

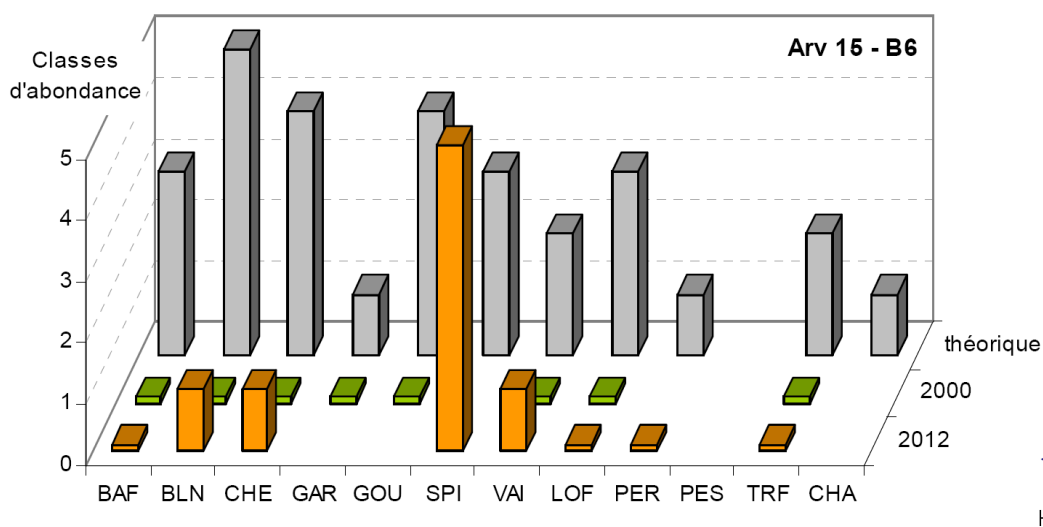


Figure 26 : Classes d'abondance Arv 15 ; Source : Chasseriau, 2013

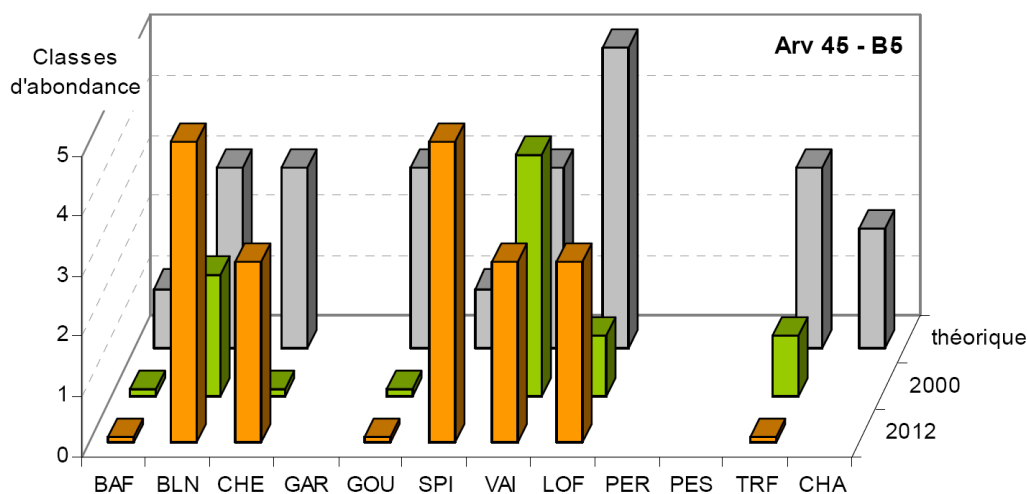


Figure 27 : Classes d'abondance Arv 45 ; Source : Chasseriau, 2013

Le peuplement piscicole rencontré en fermeture de bassin est représenté majoritairement par le Spirlin, le Blageon, le Chevine et le Vairon. Les autres espèces présentes sont le barbeau fluviatile, la loche franche, la perche et la truite fario. En 2000, le gardon et le goujon étaient également comptabilisés.

Par rapport à la composition théorique attendue, il faut noter l'absence du Chabot quelque soit l'année de pêche.

En termes de classe d'abondance, toutes les espèces sont sous représentées par rapport à ce qui est attendu sauf pour SPI et BLN, en revanche elles se sont bien améliorées en 2012 par rapport aux inventaires réalisés en 2000.

La truite fario présente des résultats de densité similaires à l'ensemble du linéaire situé en aval du lac de Machilly avec un seul individu contacté.

1.4. SYNTHÈSE : ÉVALUATION DU POTENTIEL PISCICOLE DU SECTEUR DE LA CONFLUENCE ARVE - FORON DU CHABLAIS GÉNEVOIS

1.4.1. Qualité des eaux

Les suivis physico-chimiques effectués jusqu'en 2014 ne montrent pas de problématiques majeurs, en mettant en évidence des eaux de bonne qualité physico-chimique. Les eaux sont bien oxygénées, assez basiques et présentent parfois des teneurs en éléments azotés et phosphorés conduisant à l'abaissement de la classe de qualité vers l'état "bon". Des teneurs élevées en matières en suspensions sont régulièrement mesurées. D'un point de vue organoleptique, aucune odeur ou couleur significative d'une contamination des eaux n'a été aperçue, mais de nombreux déchets souillent les berges et le lit. Un rejet type "déversoir d'orage" (PK 460) peut cependant être à l'origine de dégradation ponctuelle, en tout cas visuelle de façon certaine par des macro-déchets. Par ailleurs sur le linéaire 8 autres sorties (buses) ont été mises en évidence, certaines ponctuellement en activité d'autres non active durant toute la période de terrain.

En ce qui concerne la qualité biologique, celle-ci est moyenne et est portée par l'indice IBGN plutôt que par l'indice IBD qui lui présente une qualité "bonne".

Depuis l'amont, aucune variation nette de la qualité physico-chimique n'est mise en évidence, au contraire des paramètres biologiques qui s'améliorent vers l'aval pour l'IBGN mais qui se dégrade pour l'IBD.

En ce qui concerne la température, un échauffement régulier des eaux est constaté. Les températures moyennes maximales sont fortes et de fortes amplitudes thermiques ont été mesurées. Par ailleurs les seuils d'inconfort (extérieurs au préférundum thermique) pour la truite sont souvent dépassés, et le cours d'eau affiche de longues périodes où la température de l'eau est élevée ce qui représente un risque de développement de la maladie PKD. De plus, durant la période embryo-larvaire, les températures atteignent des valeurs incompatibles pour le développement des oeufs et des embryons de truite.

1.4.2. Qualité des habitats aquatiques

D'une façon générale, les habitats aquatiques sont contraints par des berges hautes, raides et parfois protégées par enrochements ou gabions.

Mis à part quelques tronçons localisés, les faciès d'écoulement sont dominés par les radeurs et les plats lenticulaires. Directement lié au faciès d'écoulement, les habitats piscicoles apparaissent alors dans le même sens assez peu diversifiés et pauvres.

En certains endroits, le lit mouillé s'est adapté notamment au niveau des zones de coude propices à la diversification des écoulements, où les processus érosion/dépôts présents, sont à l'origine de profils asymétriques, de resserrement des écoulements et de création de mouilles de concavité qui élèvent alors la qualité et la diversité des habitats.

Le plus souvent la ligne d'eau s'étale sur le lit mineur, conduisant à une lame d'eau faible et à une homogénéisation des profils en travers et rend difficile la progression pour les peuplements piscicoles.

Concernant le substrat superficiel, il est relativement pauvre en éléments formant l'ossature, et donc en éléments de rugosité pourtant propice à la diversité des écoulements.

La granulométrie observée varie peu sur le cours d'eau elle est dominée par les pierres fines et les pierres grossières. Les éléments les plus gros, proviennent souvent de la dégradation des protections en berge. La granulométrie rencontrée est favorable au frai.

En pied de berge, la végétation rivulaire relativement déconnectée n'offre que peu voire pas de possibilités de diversification. Seuls quelques tronçons (notamment entre les PK 270-350 et 580-670), présentent des chevelus racinaires en pied de berge ; substrat biogène il permet de diversifier les habitats (abris à la fois piscicole, source de nourriture et habitats pour macroinvertébrés). Les zones de refuge et d'abris en berge sont alors peu présents, ou alors constitués du sapement des pieds de berge (sous cavage de tronc d'arbre, sous cavage d'enrochements de protection, interstices entre enrochement de protection de berge). A l'étiage, le Foron n'offre quasiment pas d'abris du fait de la faiblesse de la lame d'eau et de la déconnexion rivulaire.

De plus, le tronçon souffre de colmatage qui varie fortement d'une placette à l'autre et au sein même des placettes, en parallèle de dépôts limoneux conséquents sur les substrats diminuant ainsi leur habitabilité. Ce colmatage peut être mis en relation avec les fortes

teneurs en matières en suspension qui sont régulièrement détectées dans le cours d'eau. Le colmatage observé peut être l'une des causes de la dégradation des paramètres biologiques (invertébrés).

Les zones de profond, mouilles de concavité et plat/chenal lentique semblent jouer un rôle majeur dans la décantation des dépôts et matières en suspension. Les faciès aux écoulements rapides situés à leur aval présentent des eaux limpides, des substrats sans dépôt et un colmatage moindre.

Les mouilles sont également très favorables pour les peuplements piscicoles en tant que zones de refuge et d'abris thermique.

Les sticks hypoxiques mis en oeuvre ont mis en évidence une épaisseur hyporhéique efficace assez importante (de l'ordre de 17cm), mais très variable et non optimale.

Malgré les travaux de protection et de rectification réalisés probablement dans les années 80-90 sur le Foron de Gaillard et ayant conduit à sa dégradation physique, le cours d'eau affiche malgré tout sur ce secteur des signes de diversité témoignant de sa capacité de réajustement et de régénération.

La carte suivante synthétise les observations faites à l'échelle du secteur d'étude en présentant la qualité des habitats des différents linéaires. Il s'agit d'une qualité relative au secteur d'étude et non absolue, ainsi l'échelle employée varie du linéaire présentant les meilleurs habitats vers le linéaire présentant les moins bons habitats.



1.4.3. Peuplement piscicole

Le NTT est compris entre les niveaux B4 (petites rivières froides) et B6 (rivières fraîches). Il est peu caractéristique d'un petit cours d'eau de moyenne altitude comme le Foron de Gaillard et est induit par les températures observées pouvant être très élevées.

Le peuplement piscicole rencontré en fermeture de bassin est représenté majoritairement par le Spirlin, le Blageon, le Chevaîne et le Vairon. Les autres espèces présentes sont le barbeau fluviatile, la loche franche, la perche et la truite fario. En 2000, le gardon et le goujon étaient également comptabilisés.

En termes de classe d'abondance, toutes les espèces sont sous représentées par rapport à ce qui est attendu sauf pour SPI et BLN, en revanche elles se sont bien améliorées en 2012 par rapport aux inventaires réalisés en 2000. Par ailleurs, et ce pour l'ensemble du Foron de Gaillard depuis l'aval du lac de Machilly à la confluence :

- le chabot (espèce attendue) est toujours absent sur l'ensemble du linéaire du Foron.
- l'écrevisse du pacifique, espèce invasive, est régulièrement contactée
- la truite fario est présente de manière très ponctuelle et les populations apparaissent déséquilibrées avec un déficit important en juvéniles et ce malgré les déversements opérés chaque année. Les conditions (thermiques, hydrobiologiques, bactériologiques...) (VIGIER & CAUDRON, 2007 ; LECURET et al., 2012) sont défavorables pour le développement de cette espèce.
- l'Ombre commun n'a pas été détectée durant les pêches, toutefois, cette espèce présente dans l'Arve, effectue des migrations de l'Arve vers les affluents lors de sa période de reproduction entre février et avril : sa présence dans le Foron de Gaillard ne serait donc que temporaire.

Deux facteurs (en plus de la dégradation physique) apparaissent limitant pour le peuplement piscicole :

- la température
 - les valeurs d'inconforts de la truite (>19°C) sont atteintes régulièrement sur de longue durée,
 - le risque de développement de la maladie PKD est présent
 - les valeurs atteintes durant la période embryo-larvaire peuvent être trop fraîches et/ou trop élevées conduisant à augmenter le risque de mortalité des oeufs et des larves,
- le rejet de la STEP Ocybèle
 - qui malgré un fonctionnement optimal mais de part son positionnement très proche de la confluence, agirait comme répulsif chimique notamment pour l'Ombre commun qui est une espèce très sensible vis-à-vis de la qualité des eaux et ne serait alors pas attiré par cette confluence (Chasseriau.C. Septembre 2016).

Ainsi, si les zones de confluences de l'Arve sont généralement favorables au refuge et à la reproduction de certaines espèces, comme par exemple, celle de la Menoge qui est at-

tractive pour les Cyprinidés et l'Ombre, ou celle du Borne jouant un rôle de zone de frayères pour les truites (Source : INTERREG ESPACE Arve et Rhône), le secteur étudié, de part son altération morphologique et physico-chimique, semble en l'état peu enclin à ces fonctionnalités notamment pour les espèces salmonicoles.

De ce fait et vu les tendances du réchauffement climatique qui pourrait induire des températures encore plus élevées du Foron de Gaillard dans les décennies à venir, il semblerait que l'intérêt de cette confluence réside davantage dans l'accueil, le développement et la reproduction des espèces cyprinicoles présentes (BAF, CHE, GOU, BLN, SPI, LOF) et dans le refuge de toutes les espèces (même salmonicoles). Cet intérêt pourrait être optimisé par un déplacement du rejet de la STEP Ocybèle.

2. LA RIPISYLVE

2.1. MÉTHODE DE DESCRIPTION DE LA RIPISYLVE

2.1.1. Définition

La ripisylve désigne communément les forêts riveraines des cours d'eau. Sa composition floristique et la morphologie des unités forestières qui la composent sont liées aux inondations plus ou moins fréquentes et/ou à la présence d'une nappe peu profonde.

Pour les écologues, la ripisylve désigne la forêt à bois tendres, c'est-à-dire les communautés pionnières et post-pionnières de la forêt riveraine, dont les caractères physiologiques et spécifiques sont étroitement inféodés à la proximité de la nappe phréatique et à la fréquence et la durée des inondations (Piégay et al, 2003).

2.1.2. Prospection et relevés terrains

La description de la ripisylve et de ses fonctionnalités s'est opérée sur l'ensemble du linéaire d'étude avec une attention particulière sur les 4 placettes de 50 m déterminées ci-avant (cf Figure 8 page11).

Les phases de terrain se sont déroulées à l'étiage :

- 14/06/2016 : reconnaissance à pieds de l'ensemble du site depuis les berges (phase commune à l'inventaire floristique et à la détermination des habitats naturels),
- 31/08/2016 : parcours à pieds de l'ensemble du linéaire depuis le lit mineur du cours d'eau avec observations plus détaillées pour chacune des placettes.

La première reconnaissance a permis d'avoir une idée globale de l'ensemble des espèces présentes et de réaliser une première cartographie des enjeux (habitats, espèces protégées, espèces invasives...).

La seconde reconnaissance avait pour objectif de qualifier la ripisylve et son état fonctionnel. Pour ce faire, différents paramètres ont été mesurés et observés pour chaque placette. L'analyse précise de ces paramètres permet d'avoir une idée globale du fonctionnement de la ripisylve et de son évolution tout au long du tronçon étudié.

Les fiches complétées sont disponibles en annexe.

2.2. RÉSULTATS PAR PLACETTE

2.2.1. Placette 1

La végétation rivulaire de cette placette est dominée par l'Erable sycomore, le Frêne, le Lierre et la Renouée du Japon.

Concernant les espèces invasives, la renouée est peu présente sur cette placette. Cependant, le Robinier faux acacia est présent de façon continue en rive droite.

La ripisylve a peu de structure et n'est pas/peu entretenue. Son pourcentage de boisement est important avec un taux estimé à 80%. Toutefois, le peuplement arborescent en bordure du lit mineur présente des arbres très régulièrement sous cavés (surtout en rive droite). De plus, la présence de la Clématite, une liane qui envahit la canopée, empêche la croissance des arbres et les affaiblit par leur poids conséquents. Les arbres sont alors plus vulnérables et peuvent se casser plus facilement.

La végétation est beaucoup plus vieillissante sur la rive droite qui présente de très vieux arbres à cavité. En rive gauche, la ripisylve est composée majoritairement par des érables assez jeunes (10-30 ans). Etant un peu plus éloignés du lit mineur, leur stabilité est moins remise en cause.

La strate végétative est également très limitée avec un recouvrement quasi-total par du lierre qui se développe en tapis.



*Figure 28 : Vue depuis l'amont sur l'aval du tronçon de la placette 1
(HYDRETTUES, 31/08/2016)*

La ripisylve offre un habitat intéressant pour la faune et notamment avec la forte présence du lierre qui, contrairement à la pensée générale, n'est pas un parasite. En effet, il s'agit d'une espèce mutualiste qui apporte au milieu une contribution multiple (enrichis-

sement de la biomasse, régulateur thermique, habitat et action inhibitrice contre les parasites).

Des traces anciennes d'entretien de cette végétation sont perçues sur les vieux individus de la rive droite.

2.2.2. Placette 2

La végétation rivulaire de cette placette est composée essentiellement de noisetiers (majoritaires), d'aulnes, de frênes et d'érables en ce qui concerne la strate arborée. Au sein de la strate arbustive on recense de l'Aubépine monogyne et du Cornouiller sanguin. Dans cette strate, on peut différencier les espèces grimpantes et les lianes qui sont fortement présentes : on note ainsi les Ronces, le Lierre et la Clématite vigne-blanche. La strate herbacée, bien que peu présente, est occupée par des Prêles, des Orties et de la Laïche pendante.

Le Robinier faux-acacia, espèce envahissante, est présent, en nombre très réduit sur la rive droite. De plus, de nombreux petits plans de Laurier-cerise sont observables au sein de la ripisylve. Cette situation s'explique par l'emplacement de cette placette qui est juste à côté de la Pépinière et juste en aval des plantations horticoles.

De part son emplacement, la ripisylve est plus étroite sur ce tronçon (surtout concernant la rive gauche). Cette caractéristique explique un taux de boisement inférieur aux précédentes placettes (environ 50% pour cette station).

Comme sur le tronçon précédent, on retrouve la même répartition entre une rive droite moins stable présentant des arbres penchés sur le lit mineur (sapement du pied de digue) et en rive gauche, une ripisylve plus stable avec des arbres plus jeunes et un grand nombre d'arbrisseaux (Noisetier, Cornouiller, Aubépine...). Il est à noter que des gabions sont apparents en rive droite sur plusieurs mètres.



*Figure 29 : Gabions en rive droite et ripisylve "ouverte" en RG
(HYDRETTUES, 31/08/2016)*

Peu d'individu présentent un gros intérêt. On note toutefois un gros frêne recouvert de Lierre en amont sur la rive droite.

Du fait de la plus forte présence d'arbrisseaux (surtout en amont), le ruisseau est un peu moins ombragé sur cette partie. Par ailleurs, la strate herbacée est plus importante sur ce tronçon, surtout en amont, là où les berges sont plus connectées au lit mineur.

2.2.3. Placette 3

La végétation rivulaire de cette placette est dominée par le Noisetier auquel s'ajoute notamment le Frêne commun, le Cornouiller sanguin et le Chêne pédonculé.

Tout comme précédemment, les plantes grimpantes sont fortement présentes avec les Ronces, le Lierre et la Clématite vigne-blanc qui recouvre régulièrement le corps de digue (rive gauche), le sol (rive droite) et les troncs des arbres les plus importants.

Des Robiniers faux-acacia sont observables en rive droite (côté plantation), et des plants de Laurier-cerise sont également recensés. L'influence des plantations horticoles est encore une fois notable.

La ripisylve est de nouveau étroite : entre 3 et 5 mètres de large pour chacune des rives. Des traces d'entretien de la végétation en haut de berge (coupe des vieux arbres) ont été mises en évidence sur la rive droite.

La stabilité est plus importante sur ce tronçon. En effet, le cours d'eau est plus large et il y a moins de gros individus en bordure de berge. Les peuplements sont plus jeunes et les

arbrisseaux sont plus présents. On note que la végétation est plus vieillissante sur la rive droite.

La strate végétale est toujours composée de Lierre mais d'autres espèces viennent en mélange (Laïches, Benoîte...).

L'organisation au sein des deux rives est inversée :

- En rive droite à l'amont, des enrochements et des berges assez raides limitent la connexion avec le lit mineur. En aval, les berges sont plus douces et des bancs de galets améliorent la connexion.
- En rive gauche en amont, les berges ont des pentes plus douces mais la connexion au lit mineur est toujours limitée. En aval, l'érosion est plus marquée avec des berges affouillées et des enrochements visibles.

Le couvert végétal est assez dense compte tenu de la plus grande largeur du cours d'eau mais l'ensemble du lit mineur n'est pas complètement ombragé.

La végétation présente ici une certaine stabilité, les troncs sont dressés et les traces d'affouillement étant moins prononcés que sur les autres placettes.



Figure 30 : Vue sur l'amont de la placette 3 (HYDRETTUES, 31/08/2016)

2.2.4. Confluence

La confluence est très largement envahie par la Renouée du Japon sur l'ensemble du corps de digue. La berge rive droite présente une contamination beaucoup plus marquée que la rive gauche. Des Robiniers faux-acacias sont également présents.

Les autres essences rencontrées ici sont des Erables, frênes, chênes, cornouillers et noisetiers. Comme sur l'ensemble des placettes étudiées, les ronces, lierre et clématite sont également fortement présents.

Sur ce secteur, la ripisylve présente une largeur intéressante (entre 7 et 10m) et un taux de boisement important de l'ordre de 70%. Quelques individus sont notés comme potentiellement malade ("verrues" sur les feuilles).

Les peuplements sont assez jeunes (10-30 ans) dans l'ensemble mais quelques beaux et vieux spécimens sont présents : le potentiel d'habitats est important.

Les deux rives souffrent d'érosion avec des berges affouillées et déconnectées par rapport au lit mineur. Des enrochements sont visibles sur les deux rives.



Figure 31 : Affouillement et Renouée du Japon observable au sein de la placette "confluence" (HYDRETTUES, 31/08/2016)

2.2.5. Synthèse et enjeux de la végétation rivulaire

La ripisylve du Foron présente dans l'ensemble de nombreux facteurs de dégradation. On observe une évolution entre l'amont et l'aval avec un élargissement de la ripisylve et une augmentation du nombre (et de l'abondance) d'espèces d'invasives.

Sur l'amont, le Foron est coincée entre les infrastructures (route, pépinière, plantation horticole). Sa position influence la végétation rivulaire avec une ripisylve étroite et un peuplement plus jeune. Les berges sont cependant moins affouillées sur la partie amont, ce qui influence sur la connexion du milieu et sa stabilité.

Des espèces invasives sont présentes mais de façon plus discontinue.

Il est important de noter la présence potentielle de *Isopyrum thalictroides* ("Isopyre faux pigamon", espèce hygrophile protégée en Suisse et classer "en danger" par l'UICN pour la Suisse. Cette dernière est commune en Haute-Savoie et n'est pas protégée en France. Cette espèce n'a pas été inventoriée lors de nos différents passages (inadéquation avec sa période de floraison) mais est noté dans le projet MAP Foron.



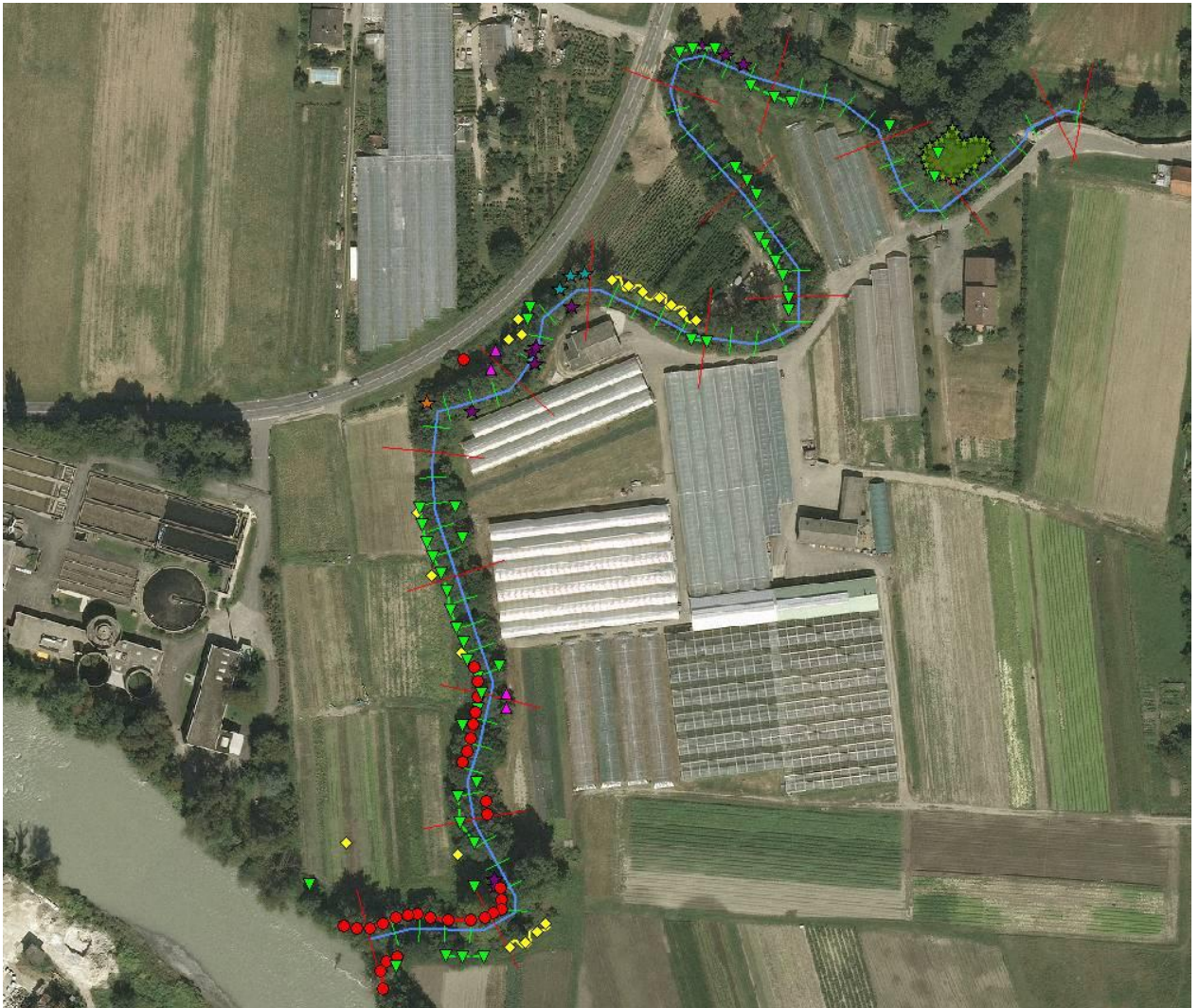
Figure 32 : *Isopyrum thalictroides* (Tela botanica)

Sur la partie aval, le Foron présente une ripisylve plus large (entre 7 et 10 m pour chacune des rives). L'importance de l'érosion sur ce secteur influence sur la stabilité des peuplements. On note une différence entre des peuplements plus jeune en rive gauche (10 à 30 ans) et des peuplements plus vieillissant en rive droite. Les invasives sont fortement présentes avec notamment la Renouée du Japon qui colonise plusieurs tronçons du Foron.

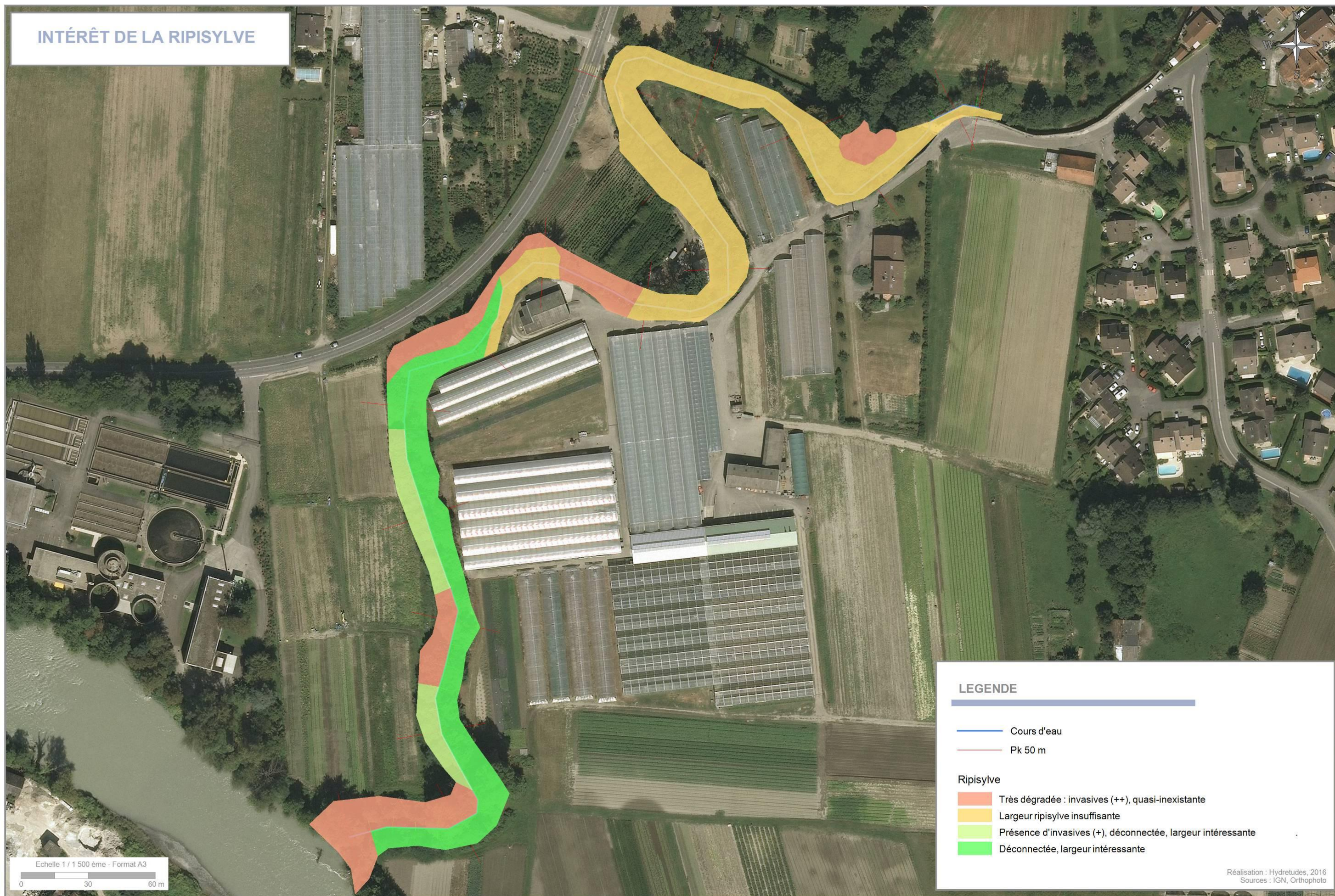
Les enjeux concernant la végétation rivulaire concernent donc :

- le maintien du corridor écologique actuellement présent (bien que parfois limité) ;
- le maintien d'un couvert végétal assurant de l'ombrage et régulant ainsi les températures du Foron ;
- le contrôle des espèces invasives et notamment la Renouée du Japon.

Les cartes en page suivante localisent les espèces invasives et les enjeux sur l'ensemble de la ripisylve comprise dans le périmètre d'étude.



INTÉRÊT DE LA RIPISYLVE



3. POTENTIEL FAUNISTIQUE ET FLORISTIQUE

3.1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1.1. Recueil d'information

3.1.1.1. Protections réglementaires

Pour chaque périmètre réglementaire, des fiches et des listes d'espèces dites déterminantes, qui ont justifié le classement de la zone, ont été réalisées. Ces listes d'espèces constituent une première approche sur la sensibilité patrimoniale du site, au niveau floristique et faunistique.

3.1.1.2. Bases de données communales

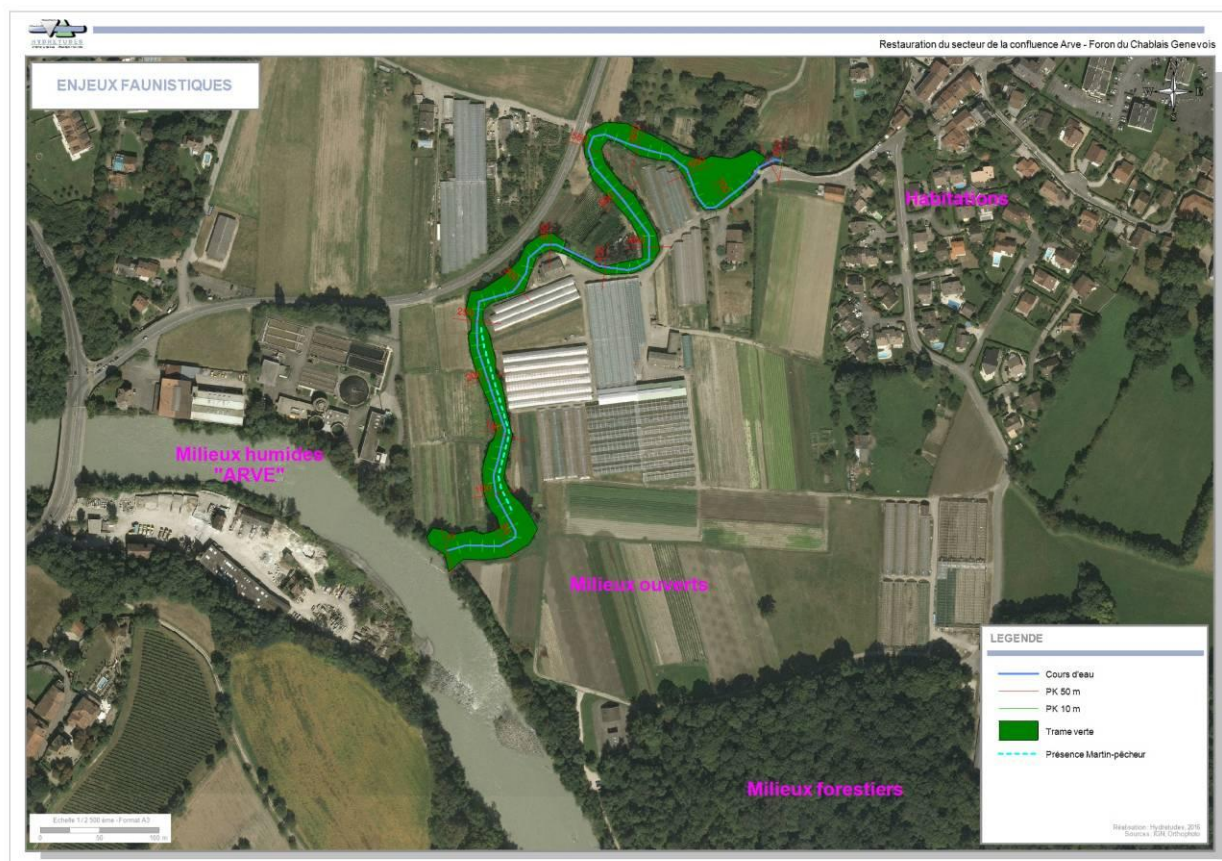
❖ *Au niveau faunistique*

Des données faunistiques sont disponibles sur le site de la LPO (Ligue de protection des Oiseaux) à l'échelle communale. Ces données concernent les taxons suivants :

- avifaune,
- chiroptères,
- mammifères,
- reptiles,
- amphibiens,
- odonates,
- lépidoptères.

Les dates d'observations des espèces sont récentes et nous avons décidé de prendre en compte les dates qui s'étalent de 2010 à 2015.

Ces données permettent d'avoir une connaissance plus ou moins exhaustive de la faune présente sur la commune. Cela constitue une bonne base de démarrage pour l'étude naturaliste.



❖ *Au niveau floristique*

Dans la même optique, des données floristiques à l'échelle communale sont disponibles sur le site du Conservatoire Botanique National Alpin ainsi que sur le Pôle d'Information Flore-Habitats. L'ensemble des espèces floristiques de la commune sont recensées. Les observations ont été mises à jour en 2012 mais peuvent être largement plus anciennes.

De plus, la protection active des espèces concernées est précisée. Cette base de données permet de mieux se familiariser avec la flore locale susceptible d'être rencontrée.

3.1.1.3. Etudes existantes

A ce stade de l'étude, aucune autre étude environnementale n'a été consultée.

3.1.2. **Résultats**

3.1.2.1. Au niveau faunistique

En croisant les relevés faunistiques de l'ensemble des données collectées dans le cadre de la recherche bibliographique, 96 espèces d'oiseaux ont été identifiées comme potentiellement présentes sur la zone d'étude, 23 espèces de mammifères, 9 espèces d'amphibiens/reptiles et 32 espèces d'insectes (odonates et lépidoptères).

Ce croisement s'est effectué à différentes échelles :

- Ensemble naturel : ZNIEFF de type I et II
- Communale : LPO

Les espèces qui sont définies avec un enjeu de conservation* fort et très fort sont au nombre de 30. Il s'agit de :

Taxon	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Convention de Berne	Convention de Washington	Directive Habitats / Oiseaux	Protection nationale	Liste Rouge Nationale	Liste Rouge Régionale (RA)
AVI	<i>Acrocephalus palustris</i>	Rousserolle verderolle	An II			Art 3	LC	VU
AVI	<i>Actitis hypoleucos</i>	Chevalier guigrette	An II + III			Art 3	LC	EN
AVI	<i>Alcedo atthis</i>	Martin-pêcheur d'Europe	An II		An I	Art 3	LC	VU
AVI	<i>Anas crecca</i>	Sarcelle d'hiver	An III	An C	An II/1 - III/2		VU	CR
AVI	<i>Aquila chrysaetos</i>	Aigle royal	An II + III	An A+B		Art 3	VU	VU
AVI	<i>Ardea purpurea</i>	Héron pourpré	An II + III		An I	Art 3	LC	EN
AVI	<i>Ardea alba</i>	Grande Aigrette	An II-III	An A	An I	Art 3	NT	NA
AVI	<i>Columba livia f. domestica</i>	Pigeon biset		An A	An II/1		EN	RE
AVI	<i>Coturnix coturnix</i>	Caille des blés	An III		An II/2	Art 4	LC	VU
AVI	<i>Delichon urbicum</i>	Hirondelle de fenêtre	An II			Art 3	LC	VU
AVI	<i>Emberiza schoeniclus</i>	Bruant des roseaux	An II + III			Art 3	LC	VU
AVI	<i>Falco subbuteo</i>	Faucon hobereau	An II + III	An A + B		Art 3	LC	VU
AVI	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Gobemouche noir	An II			Art 3	LC	VU
AVI	<i>Gallinago gallinago</i>	Bécassine des marais	An III		An II/1 - III/2		EN	CR
AVI	<i>Grus grus</i>	Grue cendrée	An II	An A	An I	Art 3	CR	NA
AVI	<i>Hirundo rustica</i>	Hirondelle rustique	An II			Art 3	LC	EN
AVI	<i>Ixobrychus minutus</i>	Blongios nain	An II + III		An I	Art 3	NT	CR
AVI	<i>Milvus milvus</i>	Milan royal	An II	An A	An I	Art 3	VU	CR
AVI	<i>Muscicapa striata</i>	Gobemouche gris	An II			Art 3	VU	NT
AVI	<i>Netta rufina</i>	Nette rousse	An III		An II/2		LC	VU
AVI	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Bihoreau gris	An II + III		An I	Art 3	LC	VU
AVI	<i>Passer montanus</i>	Moineau friquet	An III			Art 3	NT	VU
AVI	<i>Phylloscopus trochilus</i>	Pouillot fitis	An II			Art 3	NT	NT
CHI	<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastelle commune	An II		An II - IV	Art 2	LC	EN
CHI	<i>Myotis brandtii</i>	Murin de Brandt	An II		An IV	Art 2	LC	EN
CHI	<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échan-crées	An II		An II - IV	Art 2	LC	VU
MAM	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Lapin de garenne					NT	VU
CHI	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Petit Rhinolophe	An II		An II - IV	Art 2	LC	EN
AMP	<i>Bombina variegata</i>	Sonneur à ventre jaune	An II		An II + IV	Art 2	VU	EN
REP	<i>Lacerta agilis</i>	Lézard des souches	An II + III		An IV	Art 2	LC	VU

*L'enjeu de conservation est défini par un classement expliqué dans la partie Evaluation du potentiel écologique.

La signification des différentes cotations des listes rouges sont également exprimées dans cette partie.

3.1.2.2. Au niveau floristique

En croisant les relevés floristiques de l'ensemble des données collectées dans le cadre de la recherche bibliographique, environ 300 espèces floristiques ont été identifiées comme potentiellement présentes sur la zone d'étude.

Ce croisement s'est effectué à l'échelle communale via : le CBNA, le PIFH et l'ouvrage "La Flore rare ou menacée de Haute-Savoie (D. JORDAN, ASTERS, CBNA eds, 2015).

Les espèces qui sont récurrentes et à enjeux de protections sont au nombre de 5. Il s'agit de :

Nom latin du taxon	Nom Français du taxon	Protections Actives
<i>Allium scorodoprasum</i>	Ail rocambole	Protection Rhône-Alpes (art 1)
<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>	Calamagrostide faux-phragmite	Classé EN à la LR de la flore vasculaire de Rhône-Alpes
<i>Leonurus cardiaca</i>	Agripaume cardiaque	Protection Rhône-Alpes (art 1), Classé EN à la LR de la flore vasculaire de Rhône-Alpes
<i>Sparganium emersum</i>	Rubanier émergé	Protection Rhône-Alpes (art 1)
<i>Typha minima</i>	Petite massette	Convention de Berne (ann 1), Protection nationale (art 1), Protection Rhône-Alpes (art 1), Classé EN à la LR de la flore vasculaire de Rhône-Alpes

Tableau 17 : Liste des espèces végétales patrimoniales potentiellement présentes

3.2. PROSPECTION NATURALISTE

3.2.1. Dates de prospection

L'évaluation du potentiel écologique s'effectue à partir de plusieurs passages ciblés sur site. Les caractéristiques des différentes campagnes naturalistes sont présentées dans le tableau ci-après :

Date	Tranche horaire	Conditions météorologiques	Taxon ciblé
14/06/2016	Journée	-	Botanique
2/08/2016	1/2 journée	Bonnes (25% nuages, absence de précipitations, absence de vent, t° : 25°C)	Avifaune, Mammifères, Odonates, Lépidoptères, Reptiles.
31/08/2016	1/2 journée	-	Botanique

3.2.2. Faune présente

Les différentes espèces recensées lors de la campagne de terrain sont présentée ci-après. Pour chaque espèce, son nom et son statut de protection est précisé.

De plus, chaque espèce est évaluée en fonction de son statut réglementaire et de sa cotation sur les listes rouges nationales et régionales. Les règles de hiérarchisation sont décrites dans la partie Evaluation du potentiel écologique.

Les espèces faunistiques recensées sont, pour l'avifaune, des espèces dites des milieux forestiers et petits boisements comme la Fauvette à tête noire, les Mésanges, le Pigeon ramier, le Roug gorge familier, la Sittelle torchepot, le Troglodyte mignon,... mais aussi des espèces inféodées aux cours d'eau comme la Bergeronnette des ruisseaux, le Canard colvert et le Martin-pêcheur.

Chez les quelques mammifères et insectes recensés, les espèces sont des espèces communes non inféodées aux types d'habitats présents à l'exception du Hérisson qui lui est présent dans les petits boisements et jardins.

Taxon	Nom scientifique	Nom français	Statuts de protection						Enjeu de conservation
			Convention de Berne	Convention de Washington	Directive Habitats / Oiseaux	Protection nationale	Liste Rouge Nationale	Liste Rouge Régionale (RA)	
AVI	<i>Motacilla cinerea</i>	Bergeronnette des ruisseaux	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Buteo buteo</i>	Buse variable	An II	An A		Art 3	LC	NT	ASSEZ FORT
AVI	<i>Anas platyrhynchos</i>	Canard colvert	An III		An II/1 - III/1		LC	LC	FAIBLE
AVI	<i>Corvus corone</i>	Corneille noire	An III		An II/2		LC	LC	FAIBLE
AVI	<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Alcedo atthis</i>	Martin-pêcheur d'Europe	An II		An I	Art 3	LC	VU	FORT
AVI	<i>Turdus merula</i>	Merle noir	An III		An II/2		LC	LC	FAIBLE
AVI	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Mésange bleue	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	An II + III			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Milvus migrans</i>	Milan noir	An II	An A	An I	Art 3	LC	LC	FORT
AVI	<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier			An II/1 - III/1		LC	LC	FAIBLE
AVI	<i>Phylloscopus collybita</i>	Pouillot véloce	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Erithacus rubecula</i>	Rougegorge familier	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Sitta europaea</i>	Sittelle torchepot	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
AVI	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Troglodyte mignon	An II			Art 3	LC	LC	MOYEN
MAM	<i>Erinaceus europaeus</i>	Hérisson européen	An III			Art 2	LC	NT	ASSEZ FORT
CHI	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	An III		An IV	Art 2	LC	LC	ASSEZ FORT
INS	<i>Calopteryx virgo</i>	Caloptéryx vierge					LC		FAIBLE
INS	<i>Maniola jurtina</i>	Myrtil					LC		FAIBLE
INS	<i>Pieris rapae</i>	Piéride de la Rave					LC		FAIBLE
INS	<i>Polygonia c-album</i>	Robert-le-Diable					LC		FAIBLE
INS	<i>Pararge aegeria</i>	Tircis					LC		FAIBLE

3.2.3. Flore présente

Les relevés floristiques sont disponibles en annexe. Pour chaque espèce ; le statut réglementaire ainsi que sa cotation sur la liste rouge régionale est indiqué. Au total, une soixantaine d'espèces végétales a été recensée dont aucune ne présente un enjeu de conservation.

3.2.4. Les habitats de la zone d'étude

Le linéaire du Foron sur le secteur d'étude est fortement contraint de par sa situation en contexte urbain.

Ainsi, la totalité de sa rive gauche est occupé par une pépinière et des terrains agricoles. Des petites surfaces délaissées sont toutefois observables en rive gauche sur lesquelles des dépôts de déchets verts sont parfois présents. Ces secteurs sont propices au développement d'espèces invasives. Au sein du secteur d'étude, la ripisylve du Foron abrite les 4 invasives suivantes : *Reynoutria japonica* (Renouée du Japon), *Buddleia davidii* (Arbre aux papillons), *Robinia pseudoacacia* (Robinier pseudo-accacia) et *Solidago gigantea* (Solidage géant).

Des espèces ornementales, exogènes au milieu naturel initial, fréquentent également le site. On observe notamment *Thuja pliccata* (Thuja), *Bambusa vulgaris* (Bambou) et *Prunus laurocerasus* (Laurier-cerise). Ces dernières sont présentes en rive droite du Foron, en bordure de route et à proximité des plantations.

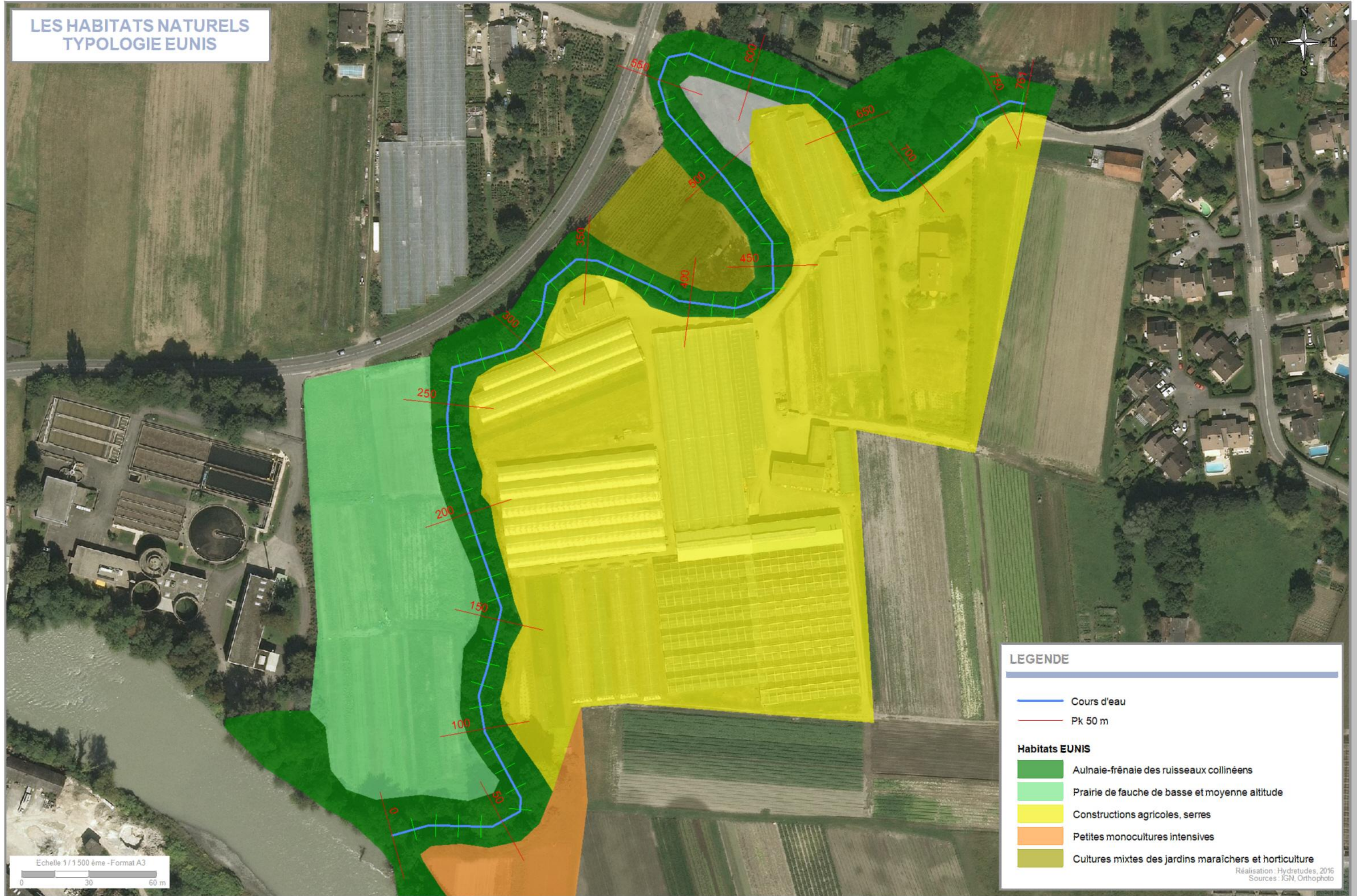
Sur le secteur d'étude, la ripisylve du Foron est caractérisée par une fine galerie boisée composée d'un mélange d'essences assez diversifié. Sur les tronçons où la ripisylve n'est pas envahi par des espèces invasives, *Fraxinus excelsior* (Frêne) domine le cortège. Les genres *Acer* (Erables), *Quercus* (Chênes), *Alnus* (Aulnes) et *Ulmus* (Ormes) sont également présents. Ces espèces sont mésophiles, elles apprécient les sols frais à humides mais peuvent évoluer dans des conditions hydriques larges. On note également la forte présence de *Hedera helix* en tapis sur le sol et grimpant sur les troncs et les branches des essences arborescentes.

La strate herbacée comprends notamment *Allium ursinum* (Ail des ours) et *Geum urbanum* (Benoîte commune). Ces derniers sont hygroclines et se développent sur des sols à pH basique à légèrement acide. On dit qu'elles sont neutroclines.

La ripisylve peut donc être caractérisée comme une aulnaie-frênaie des ruisseaux collinéens (Code EUNIS G1.2121 et Code Corine 44.32).

La prairie présente en rive droite au niveau de la confluence correspond à une "Prairie de fauche de basse et moyenne altitudes" (Code EUNIS E2.E et Code Corine 38.2). Les espèces présentes sont mésophiles à mésohygrophiles. Elles se développent sur des sols neutres à alcalins et sont héliophiles. On observe notamment *Lolium multiflorum* (Ray-grass d'Italie), *Medicago sativa* (Luzerne cultivée), *Dactylis glomerata* (Dactyle aggloméré) et *Cirsium vulgare* (Cirse commun) qui sont caractéristiques de ces milieux.

LES HABITATS NATURELS TYPOLOGIE EUNIS



LEGENDE

- Cours d'eau
- Pk 50 m

Habitats EUNIS

- Aulnaie-frênaie des ruisseaux collinéens
- Prairie de fauche de basse et moyenne altitude
- Constructions agricoles, serres
- Petites monocultures intensives
- Cultures mixtes des jardins maraîchers et horticulture

3.3. EVALUATION DU POTENTIEL ÉCOLOGIQUE

3.3.1. Les habitats naturels

Les deux habitats naturels recensés correspondent à des habitats classés comme habitat naturel d'intérêt communautaire au cahier d'habitats Natura 2000.

Habitat naturel du site	Correspondance avec habitat naturel d'intérêt communautaire
Prairie de fauche de basse et moyenne altitudes (Code EUNIS E2.E et Code Corine 38.2)	Pelouses maigres de fauche de basse altitude (6510)
Aulnaie-frênaie des ruisseaux collinéens (Code EUNIS G1.2121 et Code Corine 44.32)	Frênaie-érablaies des rivières à eaux vives sur calcaires (91E0*-5)

La ripisylve correspond donc à un habitat d'intérêt communautaire prioritaire d'après la Directive Habitat n°92/43/CEE. N'étant pas dans un site Natura 2000, cet habitat ne constitue pas un enjeu réglementaire mais dispose quand même d'une valeur patrimoniale. Les modes de gestion préconisés dans les Cahiers d'Habitats Natura 2000 pourront être repris et adaptés à notre cas d'étude.

3.3.2. Evaluation patrimoniale : méthodologie

Se reporter à l'annexe h.

3.3.3. Enjeux faunistiques

Au regard des espèces mises en évidence dans la synthèse bibliographique et des espèces observées lors des campagnes de terrain, les enjeux faunistiques sont modérés.

Les espèces qui fréquentent la zone d'étude sont des espèces relativement communes de ces milieux naturels.

Les espèces faunistiques recensées sur le territoire communal via la synthèse bibliographique ne fréquentent pas toutes les habitats naturels de la zone d'étude. C'est le cas du Chevalier guignette, de la Sarcelle d'hiver, du Blongios nain, de la Caille des blés,

En revanche, le milieu s'avère attractif pour les petits mammifères et les chiroptères de part la présence de boisements même si peu épais et d'eau, il joue un rôle de refuge par rapport aux milieux environnants fortement anthropisé.

3.3.4. Enjeux floristiques

Aucune espèce floristique à enjeu n'a été recensé sur le site d'étude.

Par ailleurs, d'après l'étude de la MAP Foron réalisée par les bureaux OXALIS et Avis-Vert, *Isopyrum thalictroides* fréquente le secteur aval du site (Pk 600 à 750). Sa période de floraison étant relativement précoce (avril à mai), cette dernière n'a pas été observée lors de notre inventaire botanique.

Isopyrum thalictroides présente un enjeu de conservation important vis-à-vis de la flore de suisse. En effet, cette espèce est protégée à l'échelle régionale (canton de Genève notamment) et est classée "EN" (en danger) d'après la classification UICN pour la Suisse. En France, elle n'est pas protégée et est commune dans le département de la Haute-Savoie.

Isopyrum thalictroides est une espèce hygrophile de forêts de feuillus qui réagit de manière sensible aux modifications de son environnement : c'est alors une des premières espèces à disparaître. En Suisse, cette dernière a toujours été cantonnée au canton de Genève et aux régions de Nyon et Bex. Dans ces secteurs, l'espèce a régressé du fait de l'évolution de l'économie forestières et est fortement menacée. Il ne reste aujourd'hui qu'une poignée de population naturelle et subsponsannée qu'il conviendra d'essayer de conserver sur le site d'étude.

3.3.5. Synthèse du potentiel écologique

Des espèces faunistiques protégées et à enjeu de conservation fréquentent les habitats de la zone d'étude. Les fréquentations des différentes espèces vont de la simple zone de chasse et/ou de nourrissage à la zone de repos.

Si l'on se réfère aux espèces cibles en faveur de la biodiversité dictée par le maître d'ouvrage, qui sont : Le Castor d'Europe, le Cincle plongeur, le Martin-pêcheur et des Saprophylophages, toutes n'ont pas été observées et ne fréquentent pas la zone d'étude. La plus présente est le Martin-pêcheur qui a été observé à plusieurs reprises.

En fonction des mesures de gestion proposées sur la zone d'étude, l'impact sur le milieu naturel et donc les habitats d'espèces pourra être faible à très fort. A ce stade de l'étude, il est impossible à évaluer. Des interventions ponctuelles dans le lit du cours d'eau visant à améliorer la diversification des écoulements ainsi qu'à favoriser la présence de frayères sont très peu impactantes sur la faune terrestre recensées et potentiellement présentes.

En revanche, la réalisation de travaux sur berge et de destruction de ripisylve aura un impact très fort sur les habitats d'espèces. De plus, la destruction de ripisylve risque de détruire *Isopyrum thalictroides*, la seule espèce floristique potentiellement présente et ayant un enjeu fort de conservation sur le territoire Suisse.

Des investigations naturalistes supplémentaires devront alors être menées pour disposer d'un état initial complet et évaluer l'impact résiduel des aménagements sur le milieu naturel. Ces éléments alimenteront l'étude d'impact et constitueront le dossier relatif aux espèces protégées.



PARTIE 3 : DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE

L'objectif de cette analyse hydraulique est de comprendre le fonctionnement hydraulique de la confluence Arve / Foron (influence de l'Arve sur le Foron et inversement). Ce diagnostic doit ensuite permettre de dimensionner les travaux à mettre en place pour améliorer le site et de vérifier que les préconisations écologiques, floristiques, géotechniques sont en adéquation avec la problématique hydraulique afin de ne pas augmenter le risque inondation.

1. ANALYSE DIACHRONIQUE

Une analyse diachronique sommaire a été réalisée. Les données cartographiques les plus anciennes retrouvées datent du 18^{ème} siècle. La carte ci-dessous représente les différents tracés du lit du Foron.

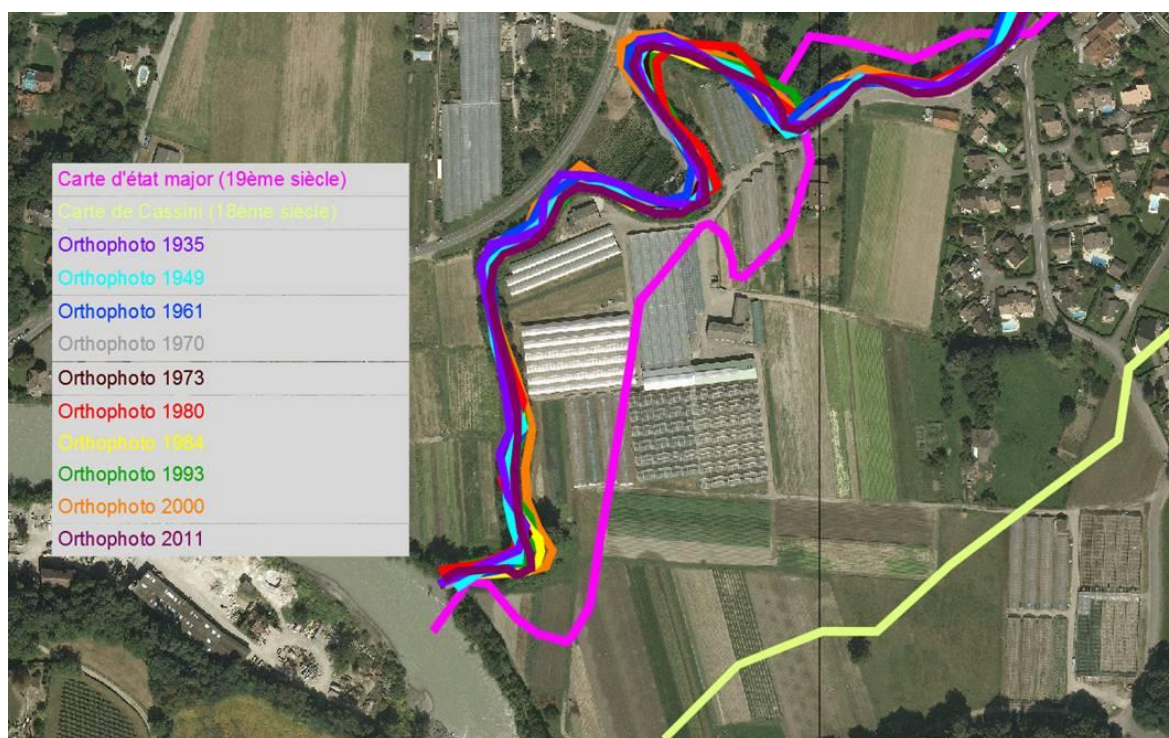


Figure 33. Analyse diachronique du Foron à la confluence avec l'Arve.

La fiabilité des cartographies anciennes et du recalage de leur géo-référencement ne nous permettent pas de conclure à une modification tangible de la localisation du Foron, ni à une forte évolution de son gabarit (hors levées de terre sur berge non identifiable sur les cartes).

On observe néanmoins avec certitude que le lit du Foron ne s'est pas ou très peu déplacé depuis 1935.

2. HYDROLOGIE

2.1. LE FORON

Les débits de pointe retenus dans le cadre de cette étude sont les suivants (repris des études existantes) :

Crue	Débit hors ruisselle- ment pluvial (m3/s)	Débit avec ruisselle- ment pluvial (m3/s)
Etiage	0.025	0.025
Q10	27.1	32.1
Q30	29.4	34.4
Q100	35.8	40.8
Q1000	62.3	67.3

Pour les crues Q10 à Q1000 un apport pluvial des réseaux urbains a été pris en compte à hauteur de 5 m3/s de manière constante (cas d'un réseau urbain en charge).

Nb : Les bassins de rétention de Juvigny et de Marsaz ont été pris en compte jusqu'à la crue centennale. Pour les occurrences plus rares, les bassins écrêteurs sont considérés comme transparents.

2.2. L'ARVE

Les débits retenus pour l'Arve proviennent de plusieurs sources de données différentes. Pour les crues, les débits de pointe proviennent de l'étude ISL et la forme des hydrogrammes provient de l'étude EGIS. Les débits de pointe sont résumés ci-dessous :

Crue	Débit (m3/s)
Etiage	20
Q10	675
Q20	760
Q100 "Genève"	851
Q100 "ISL"	1175

2.2.1. Synthèse

Il a été décidé avec le SIFOR de modéliser les deux cours d'eau avec des pics concomitants. Le graphique ci-dessous présente la synthèse des débits de crue avec un centrage des débits de pointe concomitants.

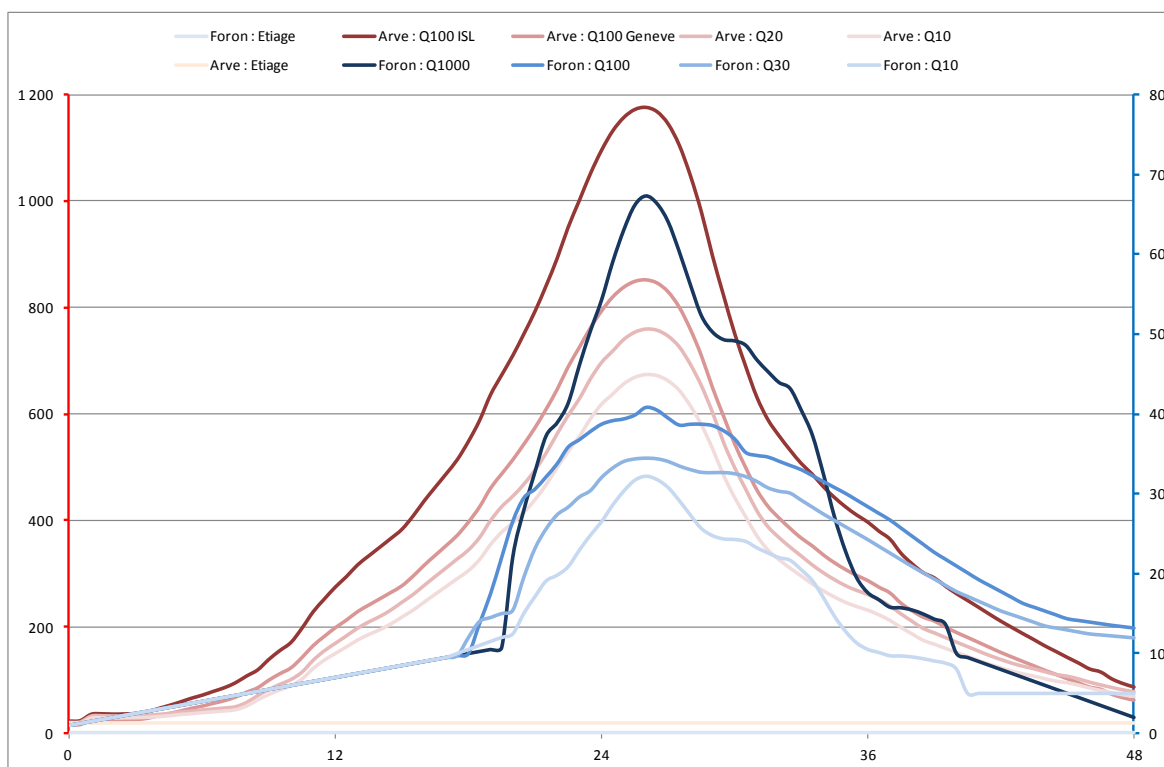


Figure 34. Hydrogrammes modélisés centrés sur le débit de pointe.

3. MODÉLISATION HYDRAULIQUE

3.1. CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

3.1.1. Logiciel utilisé

Le logiciel utilisé est **INFOWORKS ICM**, développé par la société Innovyze.

Le calcul repose sur les données suivantes :

- Une représentation géométrique du lit mineur par des profils en travers et les caractéristiques des différents ouvrages hydrauliques,
- Une représentation des paramètres hydrauliques du lit mineur : coefficient de Strickler de manière à représenter les frottements, coefficient de perte de charge de manière à représenter les perturbations induites par les obstacles aux écoulements.

Dans le cas de débordements en lit majeur, les écoulements sont modélisés grâce au module 2D du logiciel. La topographie disponible a été utilisée pour construire un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur lequel le logiciel applique la méthode des éléments finis et les équations de Barré de Saint Venant pour calculer les hauteurs d'eau et les vitesses.

Le calcul est basé sur un écoulement liquide (charriage faible, corps flottants de petites dimensions...) sans évolution du lit. Les discontinuités d'écoulement sont intégrées dans la valeur du coefficient de Strickler. Les pertes de charge par élargissement, ressaut et chute sont prises en compte dans le calcul. Les conséquences de la présence des ponts sur l'écoulement sont également intégrées dans le calcul.

Les simulations sont menées en régime transitoire afin de bien identifier l'impact des débordements sur la pointe de débit de crue.

Rappels sur les limites d'un modèle :

Il convient de rappeler qu'un modèle est une représentation limitée de la réalité. Les résultats sont conditionnés par la quantité et la précision des données d'entrée (topographie du lit mineur, MNT, hydrologie, informations de calage etc.).

Par ailleurs, les variations locales de la ligne d'eau ne sont pas prises en compte dans le processus de transfert de l'onde de crue (obstacles, embâcles, charriage des matériaux important, ...).

3.1.2. Topographie utilisée

Les données topographiques suivantes ont été utilisées :

- LiDAR Suisse. Fichier LAS (traitement pour enlever les arbres + recalage altimétrique fait en interne) : NUAGE_DE_POINTS_MNs.las
- Levé LiDAR - Grand Genève, juin 2015. Fichiers ASC nommés : 11555_Grand-Genève_MNT_XXXX.asc
- Bathymétrie de l'Arve pour les sections en aval de la confluence. Fichier autocad : 12700_Gaillard_21PT_Partie en eau_L93-IGN69.dwg
- Topographie terrestre, HYDRETUDES, Aout 2016. Fichier autocad : topo-HYD_ARI16-035.dwg

La carte suivante représente la localisation des profils en travers modélisés :

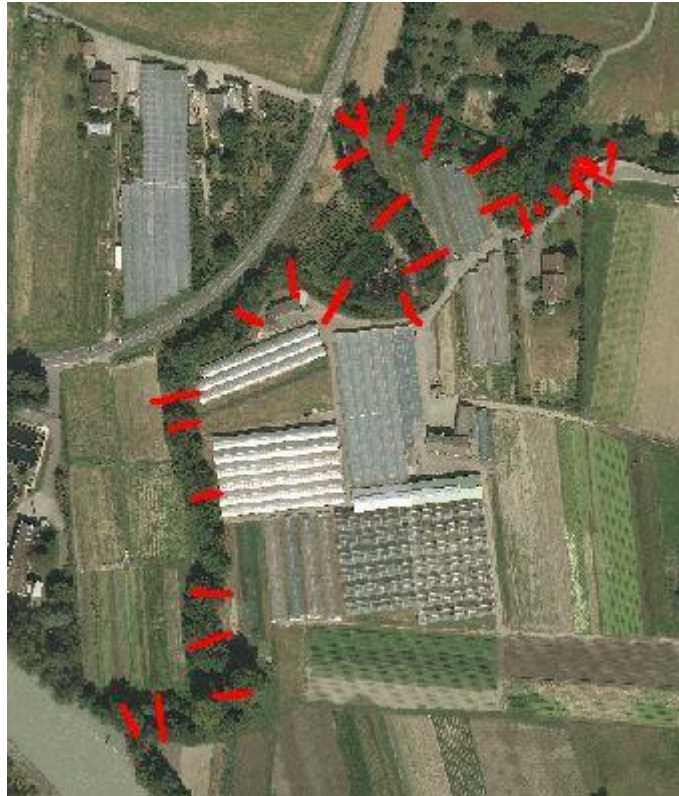


Figure 35. Carte de localisation des profils en travers.

1.1.1. Conditions aux limites

Conditions aux limites amont :

En amont du modèle, nous prendrons l'hypothèse d'une hauteur normale, ce qui paraît adapté au vu de l'homogénéité de la pente et de section du cours d'eau.

Les hydrogrammes des crues mentionnés en hydrologie sont injectés.

Condition à la limite aval :

A l'aval du modèle, nous avons créé des conditions de niveau en fonction du temps au niveau du profil 21 (bathymétrie de 2016) pour optimiser le calage. Le graphique ci-dessous synthétise les conditions limites aval (pour l'étiage, une condition normale a été prise) :

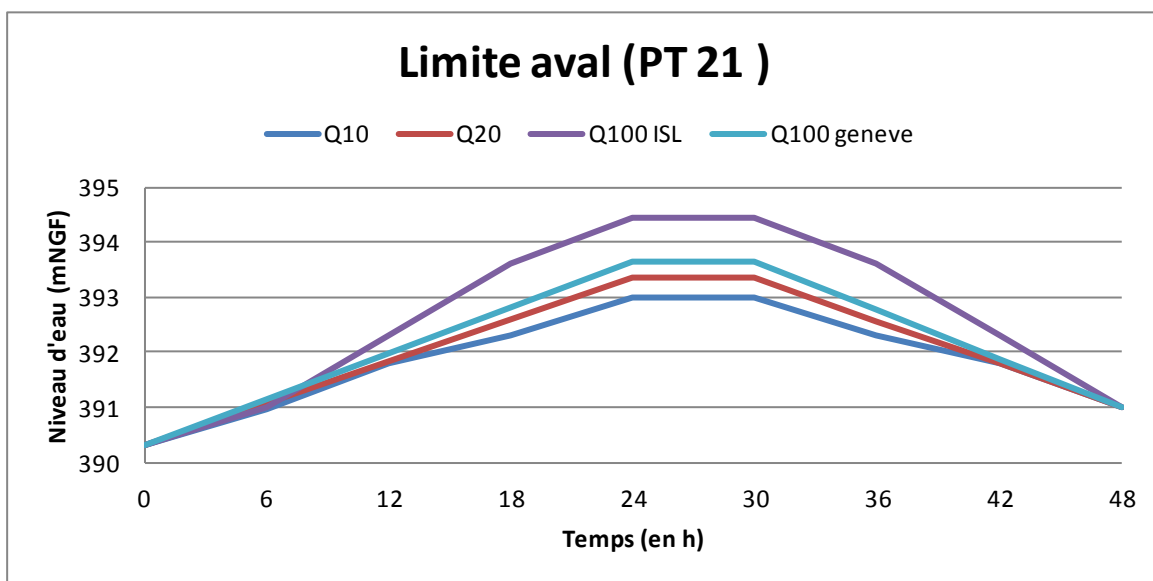


Figure 36. Conditions aval.

1.1.2. Scénarios modélisés

Afin de comprendre au mieux les phénomènes hydrauliques du secteur, il a été décidé de réaliser 25 scénarios hydrologiques.

Les scénarios 1 à 5 correspondent à un étiage du Foron pour un débit de l'Arve variant de l'étiage (S1) à la Q100 "Genève" (S5).

Les scénarios 6 à 10 correspondent à crue décennale du Foron pour un débit de l'Arve variant de l'étiage (S6) à la Q100 "Genève" (S10).

Les scénarios 11 à 15 correspondent à crue trentennale du Foron pour un débit de l'Arve variant de l'étiage (S11) à la Q100 "Genève" (S15).

Les scénarios 16 à 20 correspondent à crue centennale du Foron pour un débit de l'Arve variant de l'étiage (S16) à la Q100 "Genève" (S20).

Les scénarios 21 à 25 correspondent à crue millénale du Foron pour un débit de l'Arve variant de l'étiage (S21) à la Q100 "Genève" (S25).

Le tableau ci-dessous résume les différents scénarios étudiés, les débits du FORON sont donnés SANS les 5 m³/s d'apport pluvial qu'il faut ensuite ajouter dès Q10.

Numéro du scénario	Foron		Arve	
	Temps de retour	Débit de pointe (m3/s)	Temps de retour	Débit de pointe (m3/s)
S1	Etiage	0,025	Etiage	20
S2			Q10	675
S3			Q20	760
S4			Q100 Geneve	851
S5			Q100 ISL	1175
S6	Q10	27,1	Etiage	20
S7			Q10	675
S8			Q20	760
S9			Q100 Geneve	851
S10			Q100 ISL	1175
S11	Q30	29,4	Etiage	20
S12			Q10	675
S13			Q20	760
S14			Q100 Geneve	851
S15			Q100 ISL	1175
S16	Q100	35,8	Etiage	20
S17			Q10	675
S18			Q20	760
S19			Q100 Geneve	851
S20			Q100 ISL	1175
S21	Q1000	62,3	Etiage	20
S22			Q10	675
S23			Q20	760
S24			Q100 Geneve	851
S25			Q100 ISL	1175

Tous les scénarios ont fait l'objet d'une vidéo des débordements fournie en annexe (sauf S1 car étiage du Foron et de l'Arve) et

1.1.3. Calage du modèle hydraulique

Pré-calage :

La rugosité du lit et des berges est traduite par le coefficient de Strickler. Pour le calage du modèle, nous avons adopté les valeurs utilisées traditionnellement dans la littérature :

- Fond du lit : $K_s=15$ à 20
- Berges végétalisées : $K_s=15$ à 25 ,
- Lit majeur naturel (forêt, champs) : $K_s=20$ à 25 ,

- Lit majeur aménagé (route, goudronnage ...) : $K_s = 50$ à 70 .

Le calage s'est fait sur l'Arve avec les données suivantes (étude ISL) :

simulation	Débit aval (m ³ /s)	Cote maximale (m NGF)						
		243	244	245	246	247	248	confluence
Q10	647	395.96	395.57	395.31	394.5	393.71	393.35	393.16
Q20	760	396.3	395.93	395.67	394.83	394.03	393.73	393.56
Q50	1000	396.96	396.57	396.32	395.39	394.78	394.55	394.32
Q100	1100	397.1	396.71	396.51	395.55	395	394.83	394.64

Après une batterie de test importante sur les modifications des coefficients, le calage définitif est résumé dans le tableau ci-dessous :

Calage de l'Arve en Q10 :

		S2		S7		S12		S17		S22	
Arve Q10	ISL	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta
243	395,96	395,97	0,01	395,98	0,02	395,98	0,02	395,98	0,02	395,98	0,02
244	395,57	395,68	0,11	395,69	0,12	395,69	0,12	395,69	0,12	395,69	0,12
245	395,31	395,19	-0,12	395,20	-0,11	395,20	-0,11	395,20	-0,11	395,20	-0,11
246	394,50	394,40	-0,10	394,41	-0,09	394,41	-0,09	394,41	-0,09	394,42	-0,08
247	393,71	393,62	-0,09	393,64	-0,07	393,64	-0,07	393,64	-0,07	393,66	-0,05
248	393,35	393,35	0,00	393,37	0,01	393,37	0,02	393,37	0,02	393,39	0,04
Confluence	393,16	393,25	0,09	393,27	0,11	393,27	0,11	393,28	0,12	393,31	0,14
	min		-0,12		-0,11		-0,11		-0,11		-0,11
	moyenne		-0,01		0,00		0,00		0,00		0,01
	max		0,11		0,12		0,12		0,12		0,14
	max-min		0,23		0,23		0,23		0,24		0,25

Calage de l'Arve en Q20 :

		S3		S8		S13		S18		S23	
Arve Q20	ISL	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta
243	396,30	396,23	-0,07	396,24	-0,06	396,24	-0,06	396,24	-0,06	396,24	-0,06
244	395,93	395,94	0,01	395,95	0,01	395,95	0,02	395,95	0,02	395,95	0,02
245	395,67	395,46	-0,21	395,47	-0,21	395,47	-0,21	395,47	-0,20	395,47	-0,20
246	394,83	394,66	-0,17	394,67	-0,16	394,67	-0,16	394,67	-0,16	394,68	-0,15
247	394,03	393,93	-0,10	393,94	-0,09	393,95	-0,08	393,96	-0,07	393,97	-0,06
248	393,73	393,69	-0,05	393,71	-0,02	393,71	-0,02	393,72	-0,01	393,74	0,01
Confluence	393,56	393,60	0,04	393,62	0,06	393,63	0,07	393,64	0,08	393,66	0,09
	min		-0,21		-0,21		-0,21		-0,20		-0,20
	moyenne		-0,08		-0,07		-0,06		-0,06		-0,05
	max		0,04		0,06		0,07		0,08		0,09
	max-min		0,24		0,27		0,27		0,28		0,29

Calage de l'Arve en Q100 "ISL" :

Arve Q100 ISL	ISL	S5		S10		S15		S20		S25	
		Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta	Niveau	Delta
243	397,1	397,16	0,06	397,17	0,06	397,16	0,06	397,17	0,06	397,16	0,06
244	396,71	396,82	0,11	396,82	0,11	396,82	0,11	396,82	0,11	396,82	0,11
245	396,51	396,36	-0,15	396,37	-0,14	396,37	-0,14	396,37	-0,14	396,37	-0,14
246	395,55	395,48	-0,07	395,49	-0,06	395,49	-0,06	395,49	-0,06	395,50	-0,05
247	395	395,04	0,04	395,06	0,06	395,07	0,07	395,07	0,07	395,08	0,08
248	394,83	394,88	0,05	394,91	0,08	394,91	0,08	394,92	0,09	394,93	0,10
Confluence	394,64	394,75	0,11	394,77	0,13	394,76	0,12	394,76	0,12	394,78	0,14
	min		-0,15		-0,14		-0,14		-0,14		-0,14
	moyenne		0,02		0,03		0,03		0,04		0,04
	max		0,11		0,13		0,12		0,12		0,14
	max-min		0,25		0,27		0,26		0,27		0,28

Pour ce niveau d'étude et vis-à-vis des objectifs de l'étude, le calage est jugé satisfaisant.

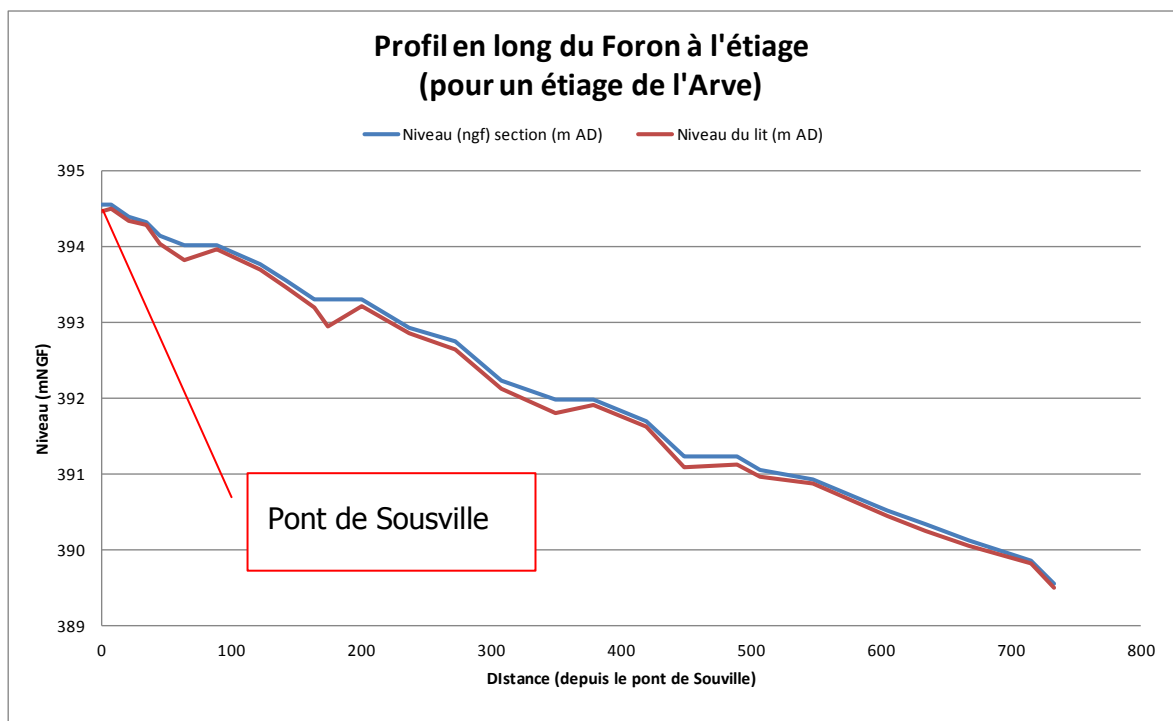
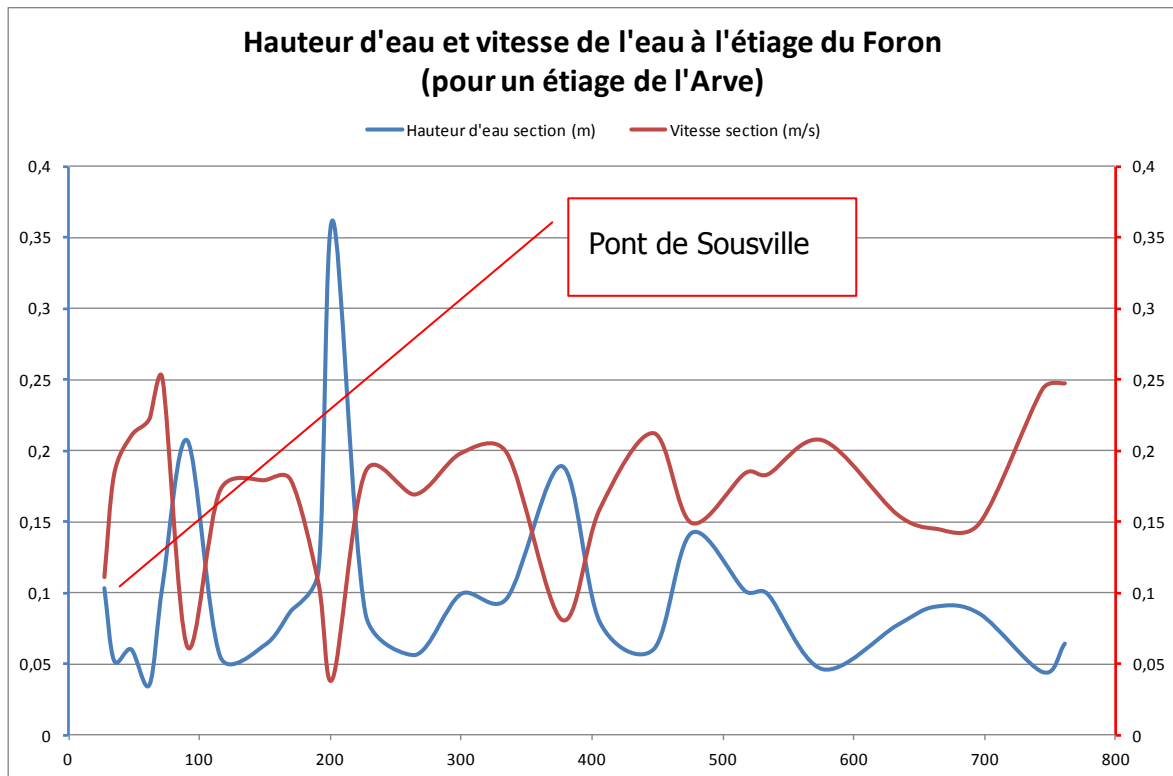
4. RÉSULTATS

4.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE FORON EN ETIAGE

4.1.1. Analyse d'étiages communs (scénario 1)

Sur le Foron, la modélisation de l'étiage montre que le niveau de l'Arve n'a pas d'influence sur le Foron. La hauteur d'eau est très faible dans le Foron, en variant entre 4 cm dans les rapides à forte pente et 36cm dans les fosses. La hauteur moyenne est d'environ 10 cm.

Evidemment, plus la hauteur d'eau est faible et plus les vitesses d'écoulements sont importantes (et inversement) ; les vitesses sont quasiment nulles dans les fosses et atteignent 0,25 m/s sur les rapides.



Ces résultats montrent clairement que le Foron à l'étiage est sensible au réchauffement des eaux avec des très faibles hauteurs d'eau et de très faibles vitesses.

4.1.1. Analyse des crues (scénarios 2 à 5)

S2 : Les premiers débordements sur le Foron se produisent par refoulement de l'Arve dans le Foron en rive droite au niveau de la STEP. Pour une crue décennale de l'Arve, on ne constate pas de débordement au dessus de la rive gauche du Foron. Cependant, des débordements dans le lit majeur gauche sont observés et proviennent de l'Arve (aval de la carrière ~ 3 m³/s) et touchent les serres, puis légèrement les bâtiments en aval des habitations. L'eau provenant de l'Arve est cloisonnée derrière les digues du Foron augmentant le temps de ressuyage du lit majeur (le ressuyage n'est possible que par le système de vannage en état moyen (non modélisé)).

Le volume total de débordement (hors rive gauche de l'Arve) est d'environ 25 000 m³.

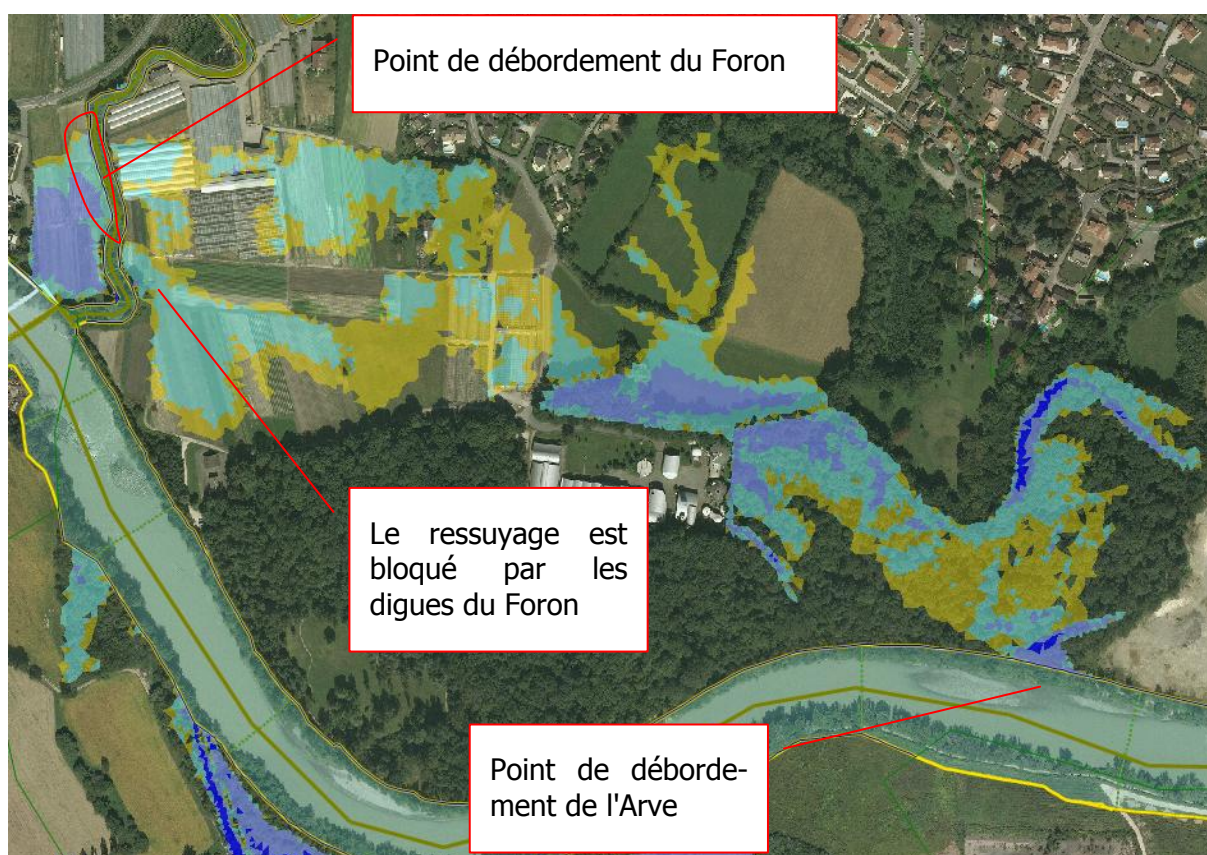


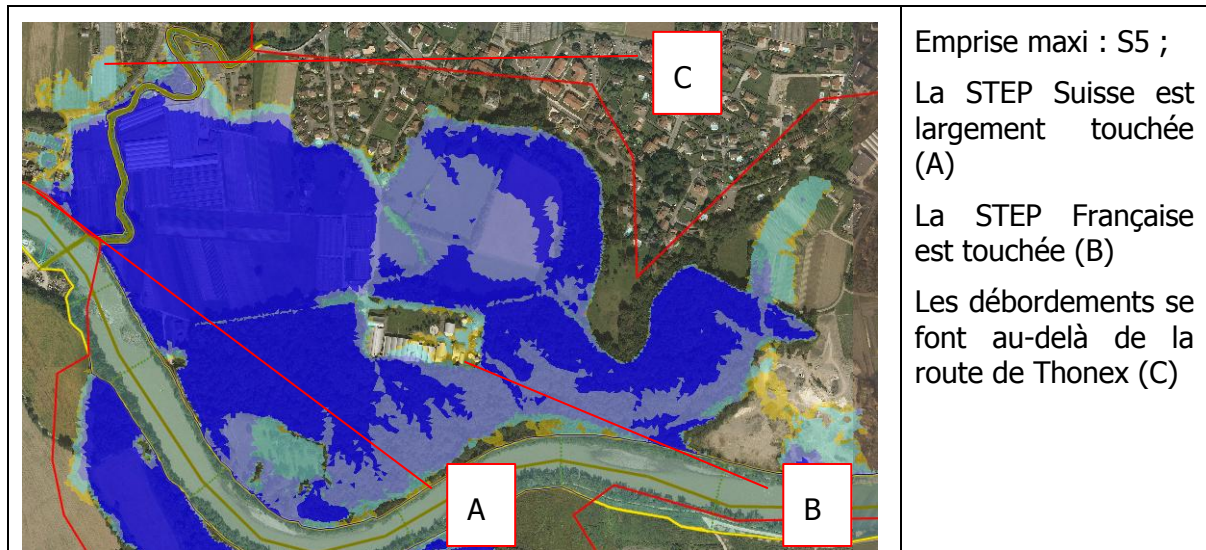
Figure 37. Analyse hydraulique S2.

S3, S4 et S5 : Les premiers débordements sur le Foron se produisent toujours par refoulement de l'Arve dans le Foron en rive droite au niveau de la STEP. A partir de la crue vingtennaire de l'Arve, on constate de légers débordements par refoulement de l'Arve au dessus de la rive / digue gauche du Foron au niveau du profil 20 (en aval de l'entrepôt principal). Les échanges entre le lit majeur et le lit mineur au niveau du profil 25 (lieu de la rupture de digue de 2015) se font très majoritairement du lit majeur vers le lit mineur du Foron pour les crues les moins rares avec un niveau d'eau dans le lit majeur en rive gauche du Foron environ 30 cm au dessus du niveau d'eau dans le Foron pour une Q20

puis de seulement 5 à 10 cm à partir de la crue centennale. En d'autres termes, plus la crue de l'Arve est rare et plus les niveaux entre le lit majeur et le Foron sont équilibrés (le Foron est de plus en plus noyé).

Le volume total de débordement (hors rive gauche de l'Arve) varie entre 200 000 m³ en Q₂₀ à 600 000 m³ en Q₁₀₀ "ISL".

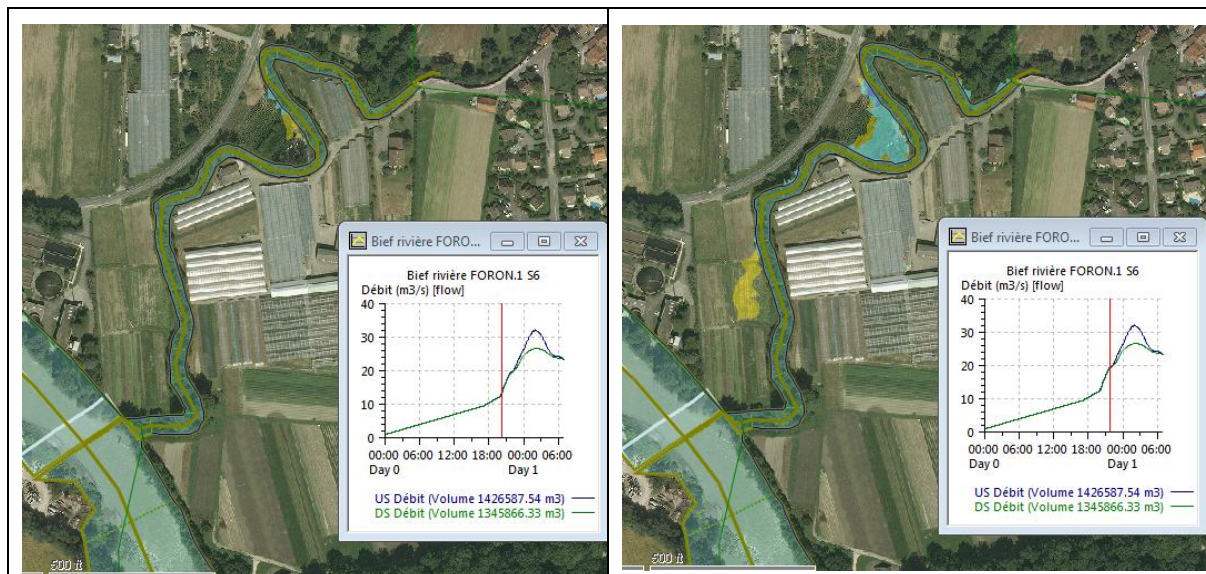
	<p>Emprise maxi : S3</p> <p>Les serres et les enjeux maraichers sont largement touchés (y compris bâtiments "en dur").</p>
	<p>Emprise maxi : S4</p> <p>La STEP Suisse est légèrement touchée (A)</p>



4.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE FORON EN CRUE DECENNALE

4.2.1. Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 6)

Pour un niveau bas de l'Arve (étiage) et une crue décennale du Foron, on observe les premiers débordements en rive droite du Foron en aval du chemin de La-Craz (secteur du pépiniériste) pour un débit d'environ 14 m³/s puis plus en aval (secteur de la STEP Suisse) à partir de 19 m³/s.



Ensuite, en rive gauche on constate des débordements depuis trois points principaux (en rouge sur la figure suivante). Ces débordements ne peuvent pas rejoindre le lit mineur du Foron et restent donc dans le lit majeur. Le merlon/digue du Foron joue donc pour ce scénario un effet de cantonnement des débordements dans les zones à enjeux et ne permet pas le ressuyage des débordements vers le lit mineur (zone de blocage où le merlon ne permet l'évacuation en noir sur les figures ci-dessous). Nous rappelons que l'ancien ouvrage de vannage n'est pas modélisé, mais vu sa taille, son rôle relève uniquement de la baisse du temps de ressuyage.

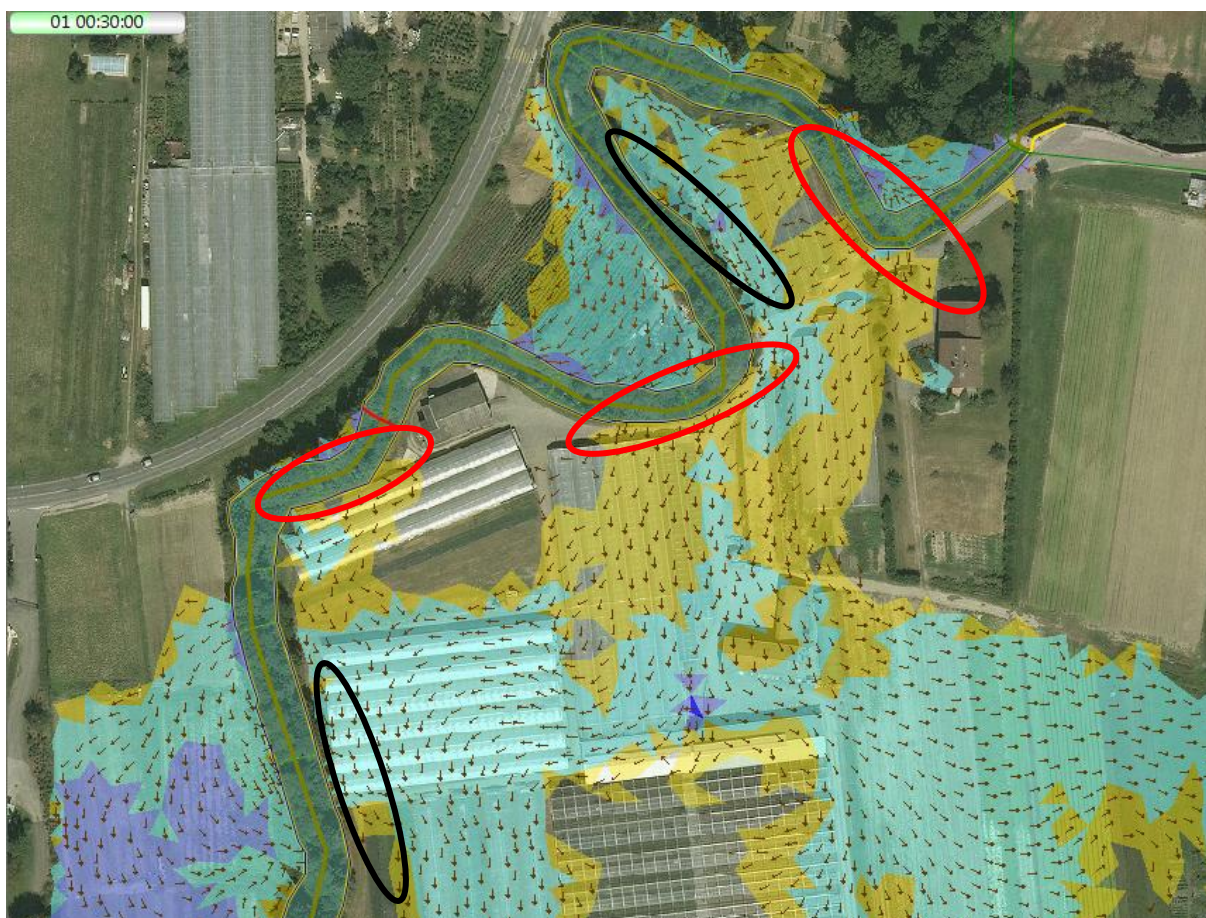


Figure 38. Localisation des principaux points de débordement et des zone ou la digue empêche le ressuyage (S6).

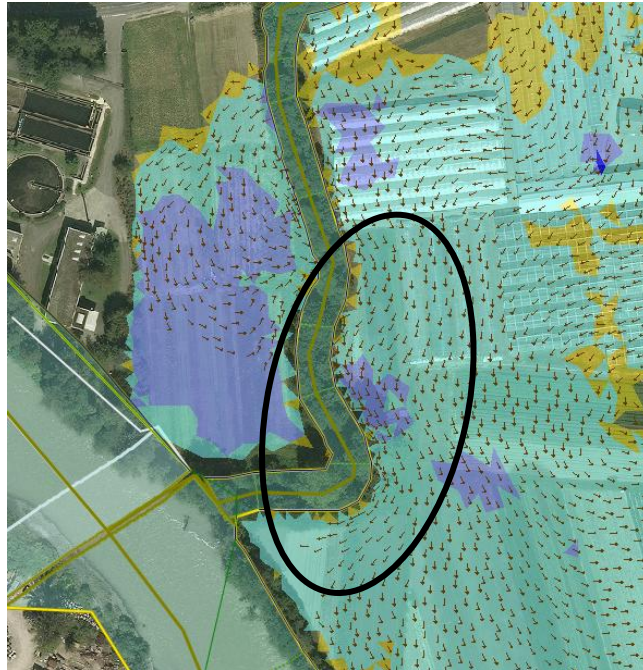


Figure 39. Localisation zone de gène aval (S6).

L'emprise maximale de la crue est donnée sur la figure ci-dessous. En rive droite, la station d'épuration Suisse n'est pas touchée (uniquement la pépinière) tandis qu'en rive gauche, les serres sont touchées, l'entrepôt principal et la cuve à fuel sont en limite d'inondation.

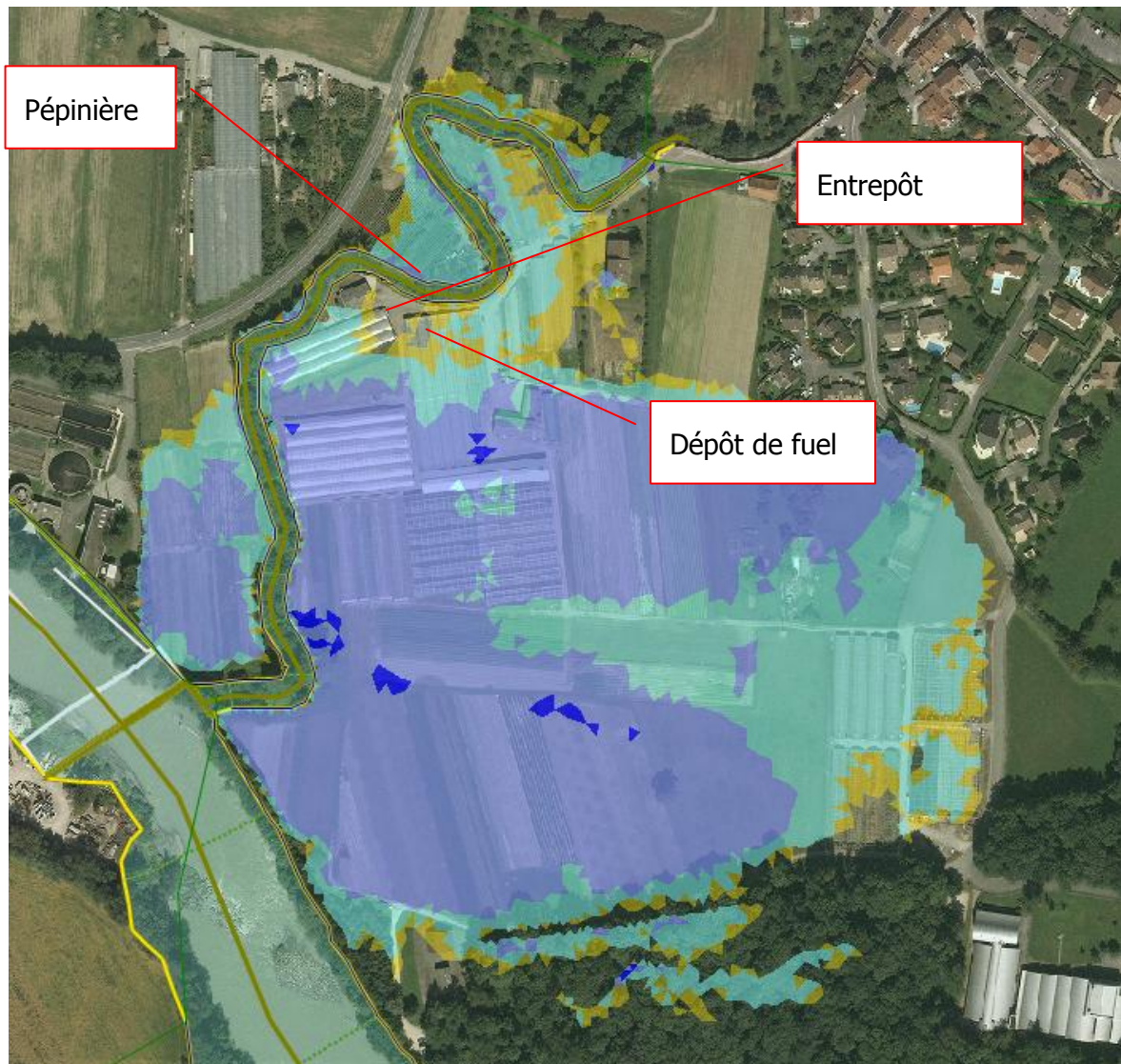


Figure 40. Enjeux touchés pour S6.

Au niveau du profil 25 (lieu environ de la rupture de 2015) le niveau d'eau dans le lit majeur en rive gauche du Foron est environ 1 mètre maximum au dessus du niveau d'eau dans le Foron.

Le volume total de débordement en rive gauche est d'environ 70 000 m³ pour 10 000 m³ en rive droite.


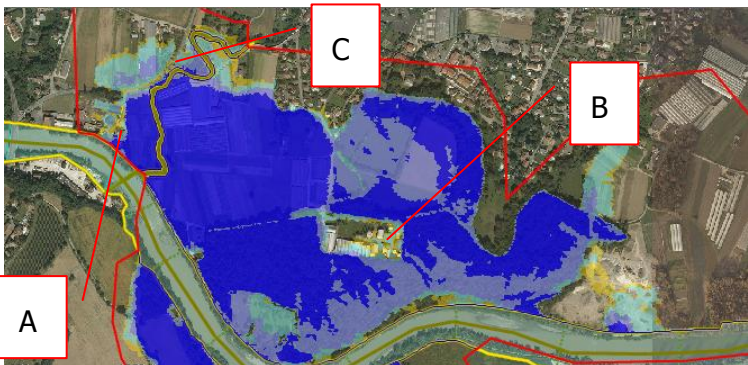
4.2.1. Analyse des crues (scénarios 7 à 10)

S7 à S10 : Lorsque l'Arve est en crue, son influence sur le Foron à lieu dès les premiers débordements. En effet, contrairement au scénario 6 (sans influence de l'Arve), les premiers débordements ne sont plus en amont (secteur rive droite pépinière) mais bien au droit de la STEP Suisse. Il se font également plus rapidement (pour un débit de 7 à 10 m³/s (pour S7 à S10) au pont de Sousville au lieu de 12 m³/s pour S6).

Le volume total de débordement (hors rive gauche de l'Arve) varie entre 125 000 m³ en Q10 à 650 000 m³ en Q100 "ISL".

Les emprises maximales des crues montrent une différence significative. Ci-dessous sont présentées les emprises maximales et des zooms sur le secteurs Foron (en rouge, les limites de modélisation).

	<p>Emprise maxi : S7</p> <p>Les serres et les enjeux maraichers sont largement touchés (y compris bâtiments "en dur").</p> <p>Le méandre en aval direct du pont de Sousville est touché (A)</p>
	<p>Emprise maxi : S8</p> <p>La STEP Suisse est légèrement touchée (A)</p>

	<p>Emprise maxi : S9 La STEP Suisse est légèrement touchée (A)</p>
	<p>Emprise maxi : S10 La STEP Suisse est largement touchée (A) La STEP Française est touchée (B) Les débordements se font au-delà de la route de Thonex (C)</p>

4.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE FORON EN CRUE TRENTENNALE (SCENARIOS 11 A 15)

La faible différence de débit entre la crue décennale et la crue trentennale du Foron amène aux mêmes conclusions que la précédente analyse à quelques nuances fines à peine tangibles.

Les vidéos pour cette crue sont néanmoins fournies.

4.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE FORON EN CRUE CENTENNALE

4.2.1. Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 16)

Les trois points de débordements importants du Foron sont identiques au scénario 6.

L'emprise maximale de la crue est donnée sur la figure ci-dessous. En rive droite, la station d'épuration n'est pas touchée (uniquement la pépinière) tandis qu'en rive gauche, les serres sont touchées, l'entrepôt principal, les maisons et la cuve à fuel sont également touchés.

Au niveau du profil 25 (lieu environ de la rupture de 2015) le niveau d'eau dans le lit majeur en rive gauche du Foron est environ 1 mètre maximum au dessus du niveau d'eau dans le Foron.

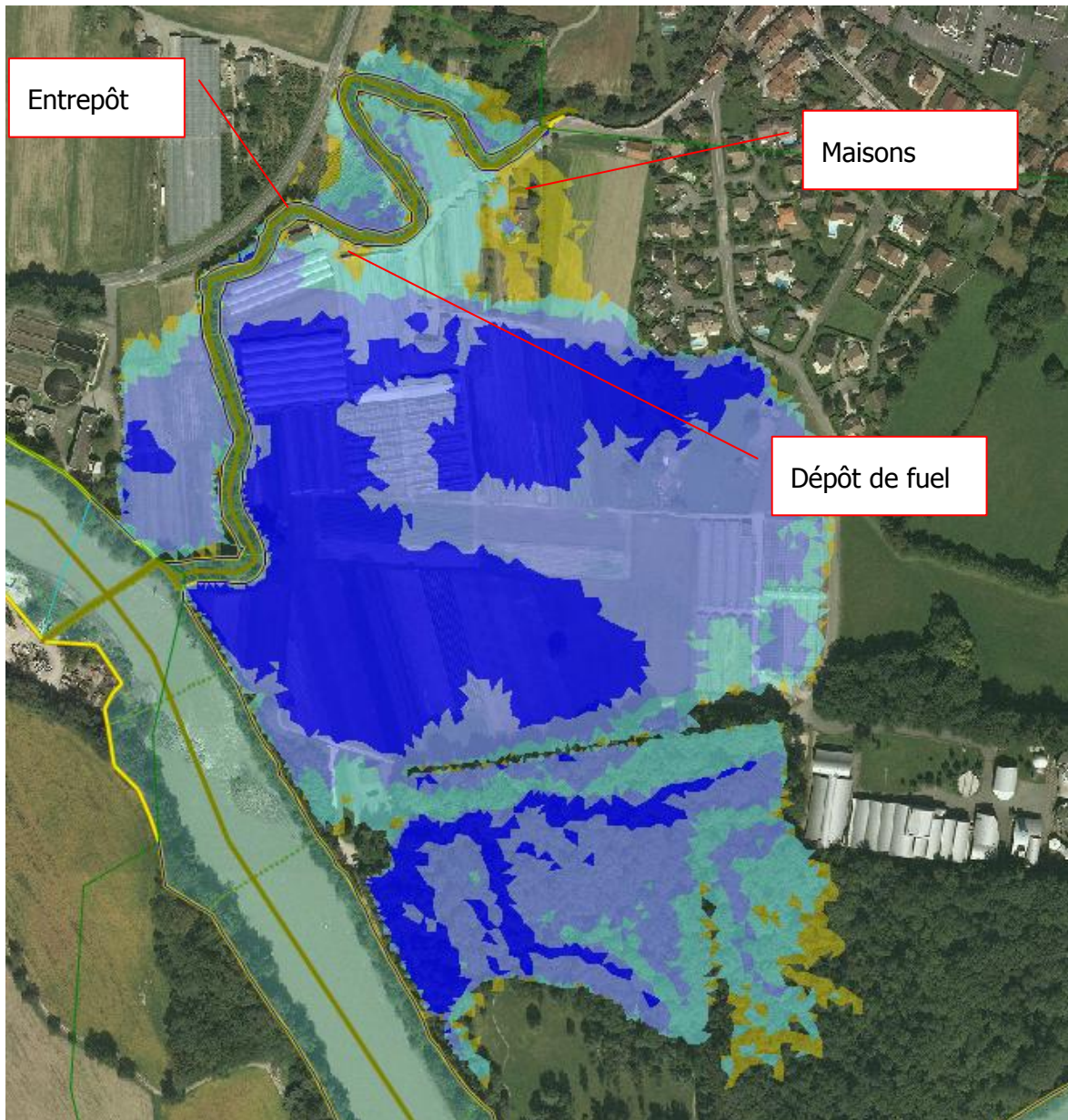


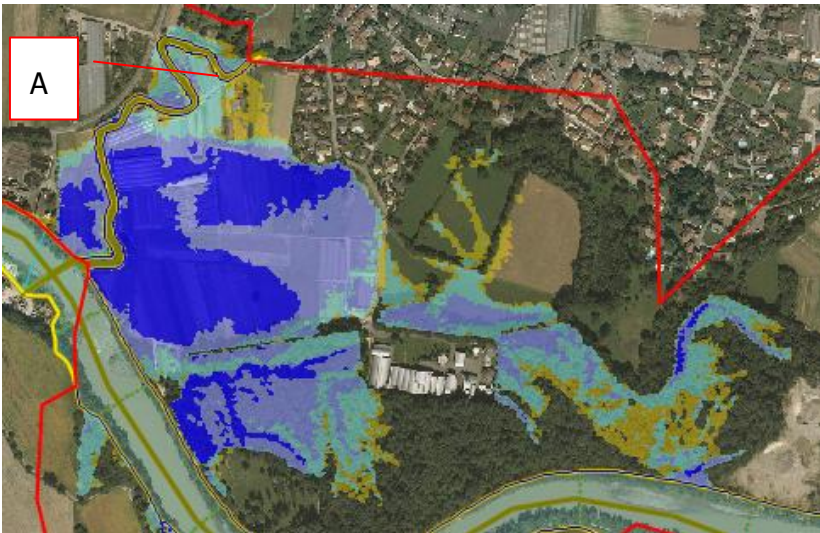
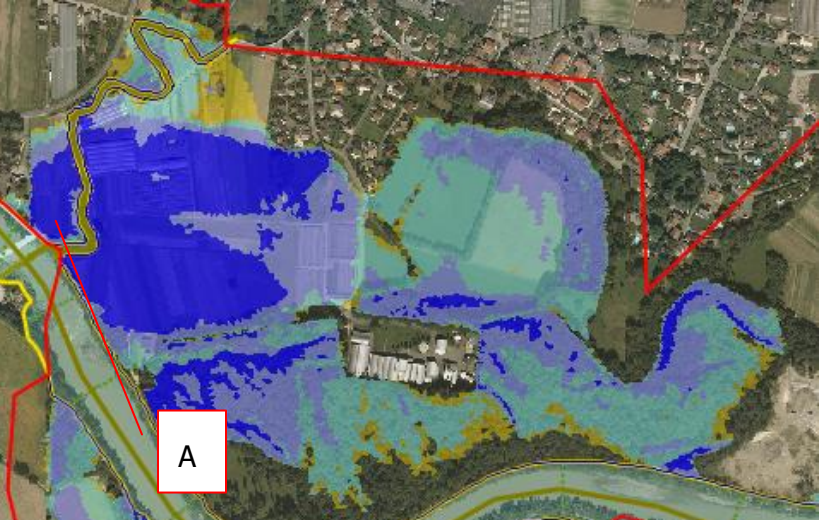
Figure 41. Emprise maximale du Foron en Q100 pour l'étiage de l'Arve (S16).

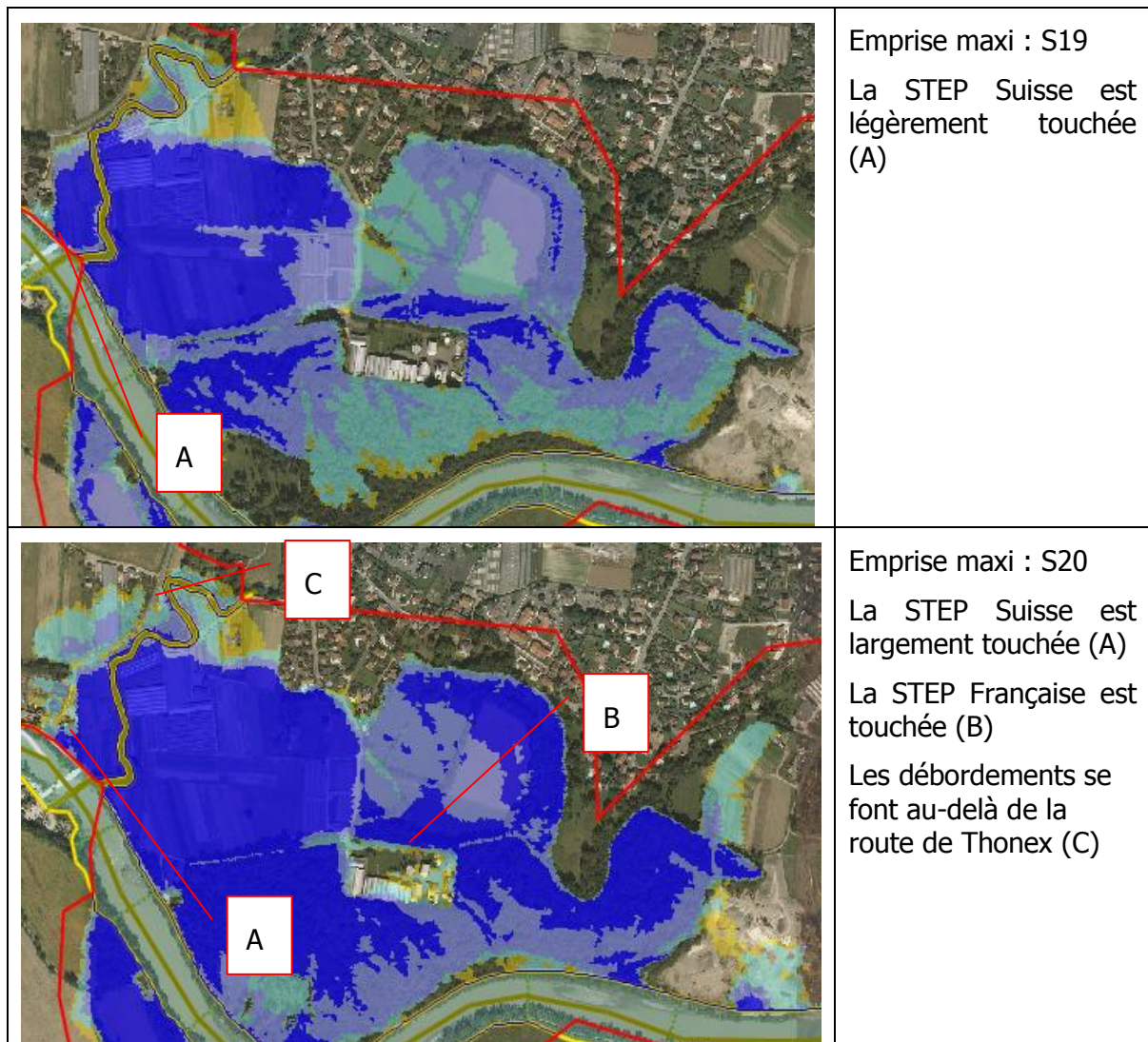
4.2.1. Analyse des crues (scénarios 17 à 20)

S17 à S20 : Lorsque l'Arve est en crue, son influence sur le Foron à lieu dès les premiers débordements. En effet, contrairement au scénario 16 (sans influence de l'Arve), les premiers débordements se font quasiment simultanément entre le secteur amont pépinière et le secteur de la STEP Suisse.

Le volume total de débordement (hors rive gauche de l'Arve) varie entre 190 000 m³ en Q10 à 650 000 m³ en Q100 "ISL".

Les emprises maximales des crues montrent une différence significative. Ci-dessous sont présentées les emprises maximales et des zooms sur le secteurs Foron (en rouge, les limites de modélisation).

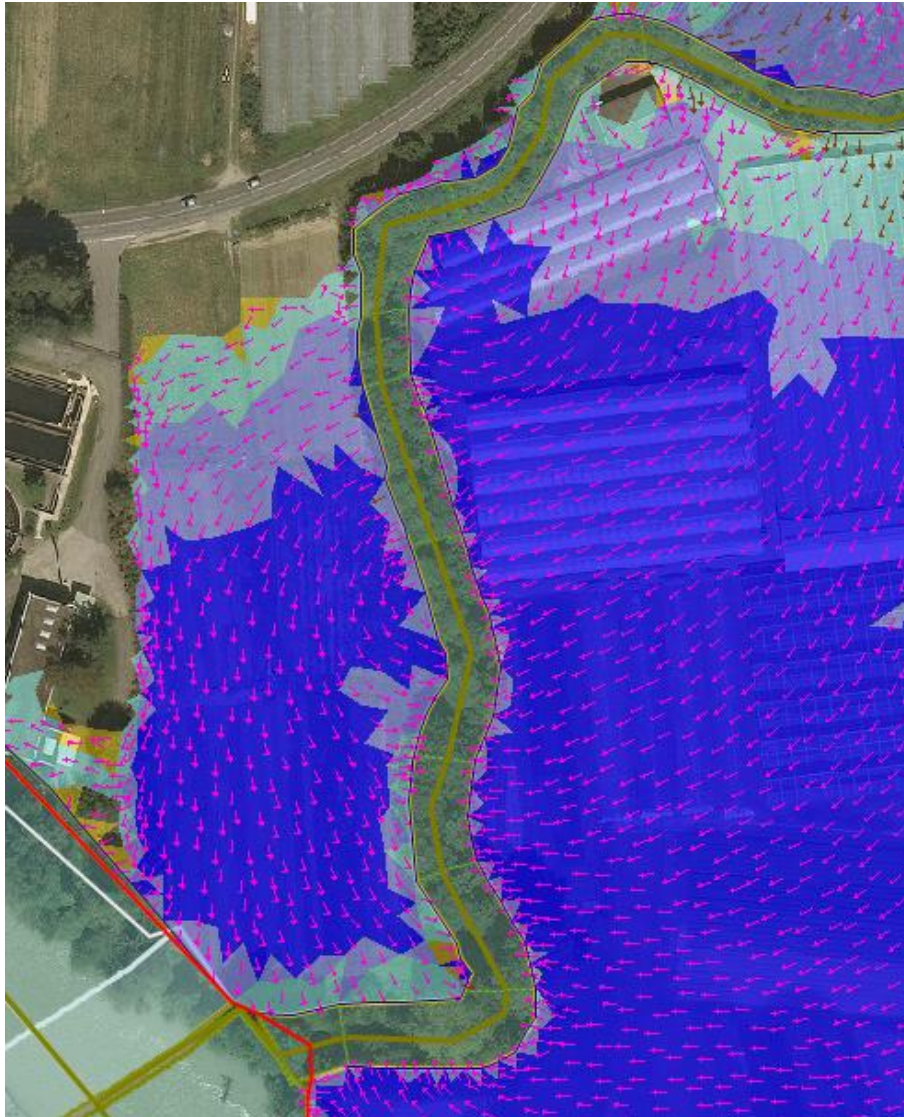
	<p>Emprise maxi : S17</p> <p>Les serres et les enjeux maraichers sont largement touchés (y compris bâtiments "en dur").</p> <p>Le méandre en aval direct du pont de Sousville est touché (A)</p>
	<p>Emprise maxi : S18</p> <p>La STEP Suisse est légèrement touchée (A)</p>



4.3. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE FORON EN CRUE MILLENALE

4.3.1. Analyse pour un étiage de l'Arve (Scénario 21)

Le constat pour la crue millénaire est sensiblement identique à la crue centennale du Foron pour l'étiage de l'Arve. Les débordements en rive gauche passent dans le Foron puis s'évacuent en rive droite.



L'emprise maximale de la crue est donnée sur la figure ci-dessous. En rive droite, la station d'épuration est désormais touchée tandis qu'en rive gauche, les serres sont touchées, l'entrepôt principal est touché ainsi que les maisons. La cuve à fuel est également touchée.

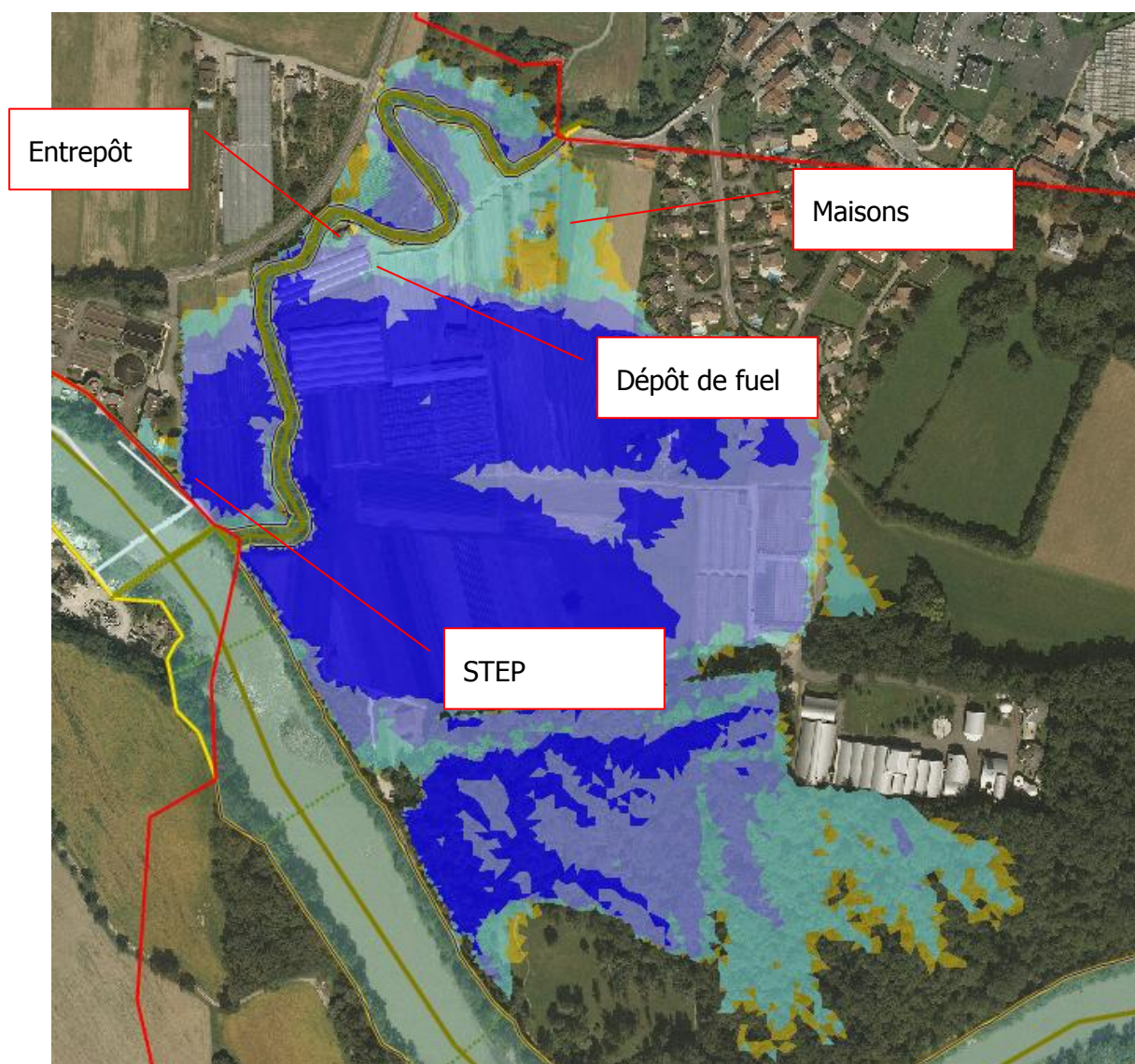


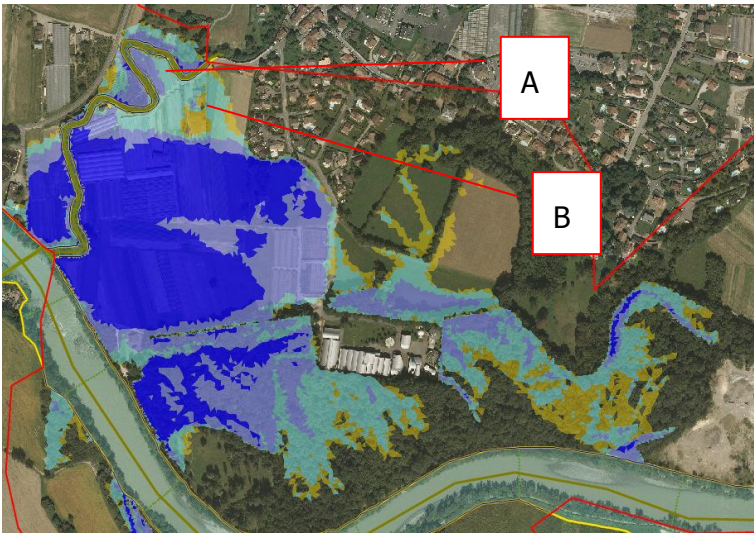
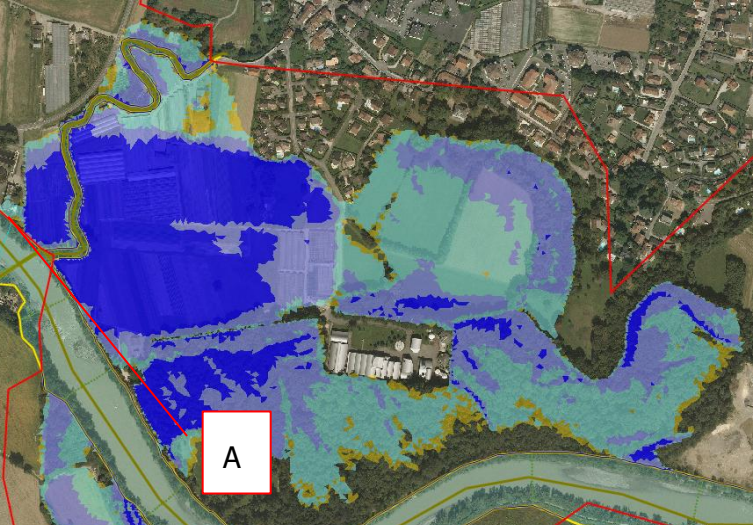
Figure 42. Emprise maximale du Foron en Q1000 pour l'étiage de l'Arve (S21).

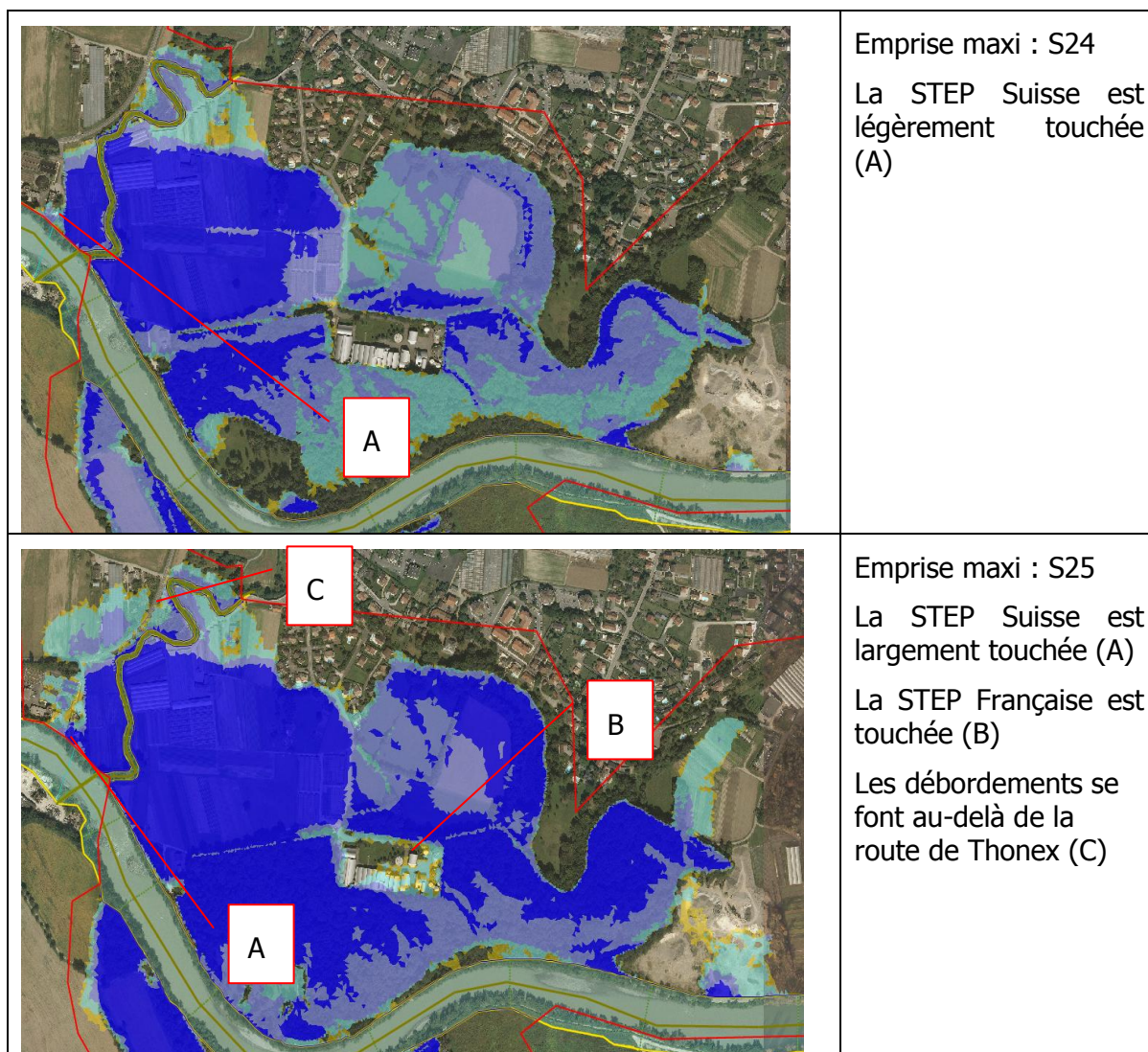
4.3.1. Analyse des crues (scénarios 22 à 25)

S22 à S25 : Lorsque l'Arve est en crue, son influence sur le Foron à lieu dès les premiers débordements. En effet, contrairement au scénario 21 (sans influence de l'Arve), les premiers débordements se font quasiment simultanément entre le secteur amont pépinière et le secteur de la STEP Suisse.

Le volume total de débordement (hors rive gauche de l'Arve) varie entre 225 000 m³ en Q10 à 650 000 m³ en Q100 "ISL".

Les emprises maximales des crues montrent une différence significative. Ci-dessous sont présentées les emprises maximales et des zooms sur le secteurs Foron (en rouge, les limites de modélisation).

	<p>Emprise maxi : S22</p> <p>Les serres et les enjeux maraichers sont largement touchés (y compris bâtiments "en dur").</p> <p>Le méandre en aval direct du pont de Sousville est touché (A)</p> <p>Les habitations sont touchées (B)</p>
	<p>Emprise maxi : S23</p> <p>La STEP Suisse est légèrement touchée (A)</p>



4.4. SYNTHÈSE

Sur les emprises maximales des inondations, lorsque l'Arve déborde, ce sont les débordements de l'Arve qui influencent l'emprise la zone inondable, le débit du Foron étant quasiment négligeable. La figure ci-dessous permet de comparer la crue Q100 ISL avec un étiage du Foron (à gauche) et une crue millénaire du Foron (à droite).

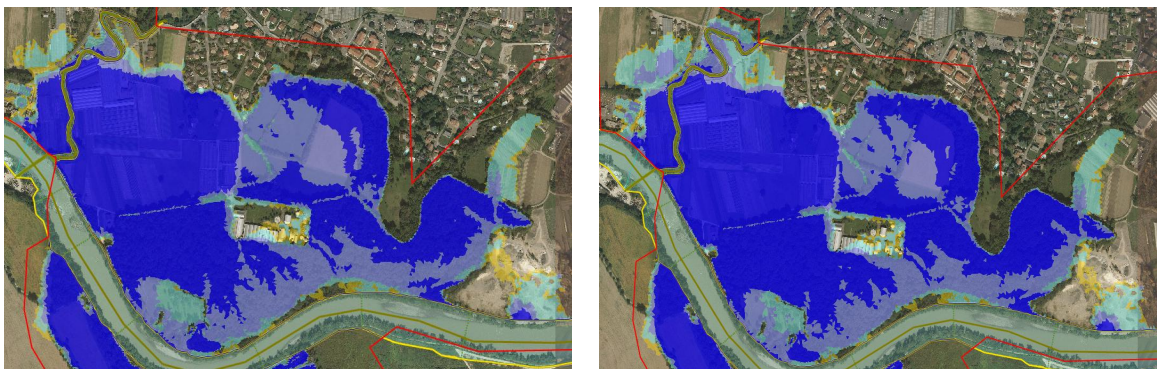


Figure 43. Comparaison S5 et S25

On observe très peu de différence sur l'emprise sauf au droit direct du Foron.

En revanche, on voit que lorsque l'Arve n'est pas en crue, le Foron déborde quand même et que les merlons de cantonnement ne permettent pas de protéger les enjeux de la rive gauche même pour une crue décennale du Foron (et donc étiage de l'Arve), on constate même l'effet inverse puisque le ressuyage des terrains ne peut se faire à cause de ces ouvrages (jusqu'à un mètre d'eau en plus en lit majeur qu'en lit mineur). La figure ci-dessous permet de comparer S6 et S21 (étiage de l'Arve pour une crue décennale du Foron (à gauche) et millénale du Foron (à droite)).

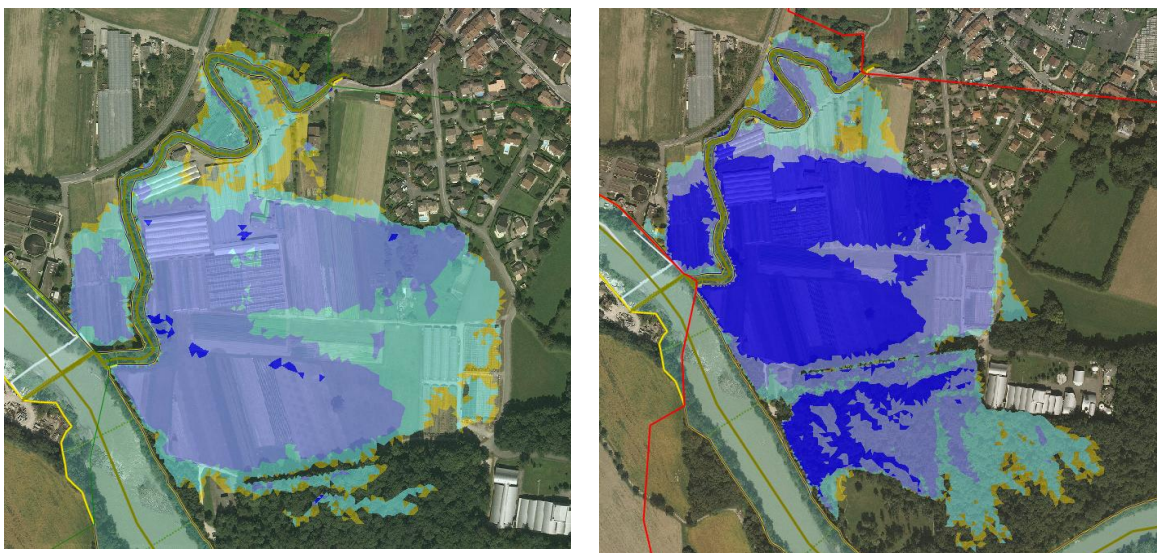


Figure 44. Comparaison S6 et S21

A noter qu'il existe une vanne en mauvais état sur la partie aval en rive gauche du Foron. Celle-ci n'a pas été modélisée, mais l'on peut considérer qu'elle permet d'améliorer le temps de ressuyage si elle est ouverte lors de la décrue mais elle n'influe pas sur les emprise des crues. Ainsi, ce type d'ouvrage, pourrait être mis en place avec un système de gestion adaptée (ouverture de la vanne si remplissage du lit majeur et lit mineur bas).

Le Foron à un faible impact sur l'inondabilité de la STEP suisse, en effet pour la crue millénaire du Foron (voir S21 ci-dessus) la STEP est légèrement inondée sans influence de l'Arve. En revanche, on constate que sans apport du Foron, La STEP suisse est légèrement touchée pour la crue Q100 "Genève" de l'Arve.

La STEP Française n'est pas touchée par le Foron lorsque l'Arve n'est pas en crue.

Pour les pistes de travaux possibles, il faut comprendre que l'élargissement du Foron par quelque moyen que ce soit va améliorer sensiblement les crues venant du Foron sans influence de l'Arve (S1, S6, S11, S16, et S21).

En revanche, dès lors que l'Arve est en crue, la protection du secteur ne peut passer que par la rehausse des digues de l'Arve sur les points actuels de débordements (notamment au niveau du profil 244, cf. figure ci-dessous).

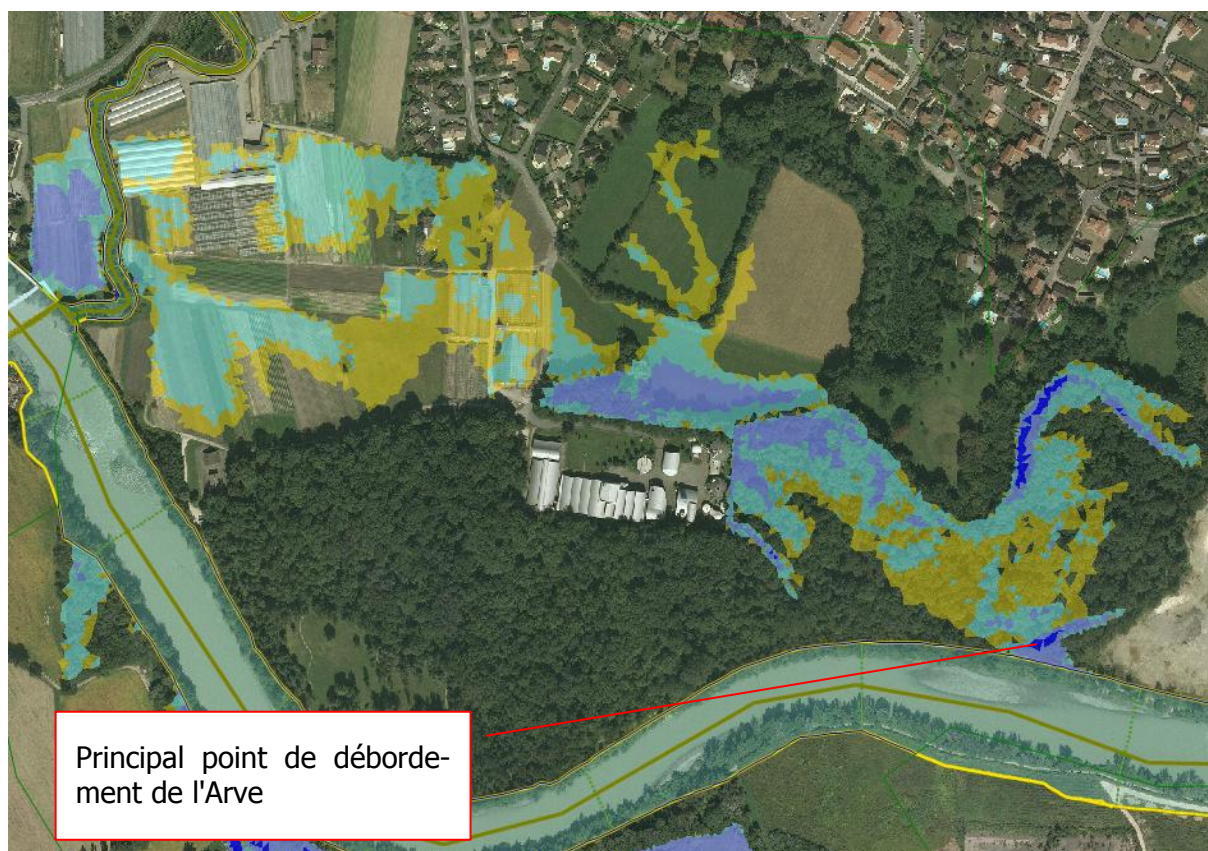


Figure 45. Principal point de débordement de l'Arve (cas de la Q10 de l'Arve pour un étiage du Foron (S2)).

Pour diminuer le temps de ressuyage, un clapet anti-retour serait efficace sur le point bas du lit majeur (au droit de la vanne actuelle).

PARTIE 4 : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE

Voir annexe

PARTIE 4 : USAGES ET PROJETS RIVERAINS

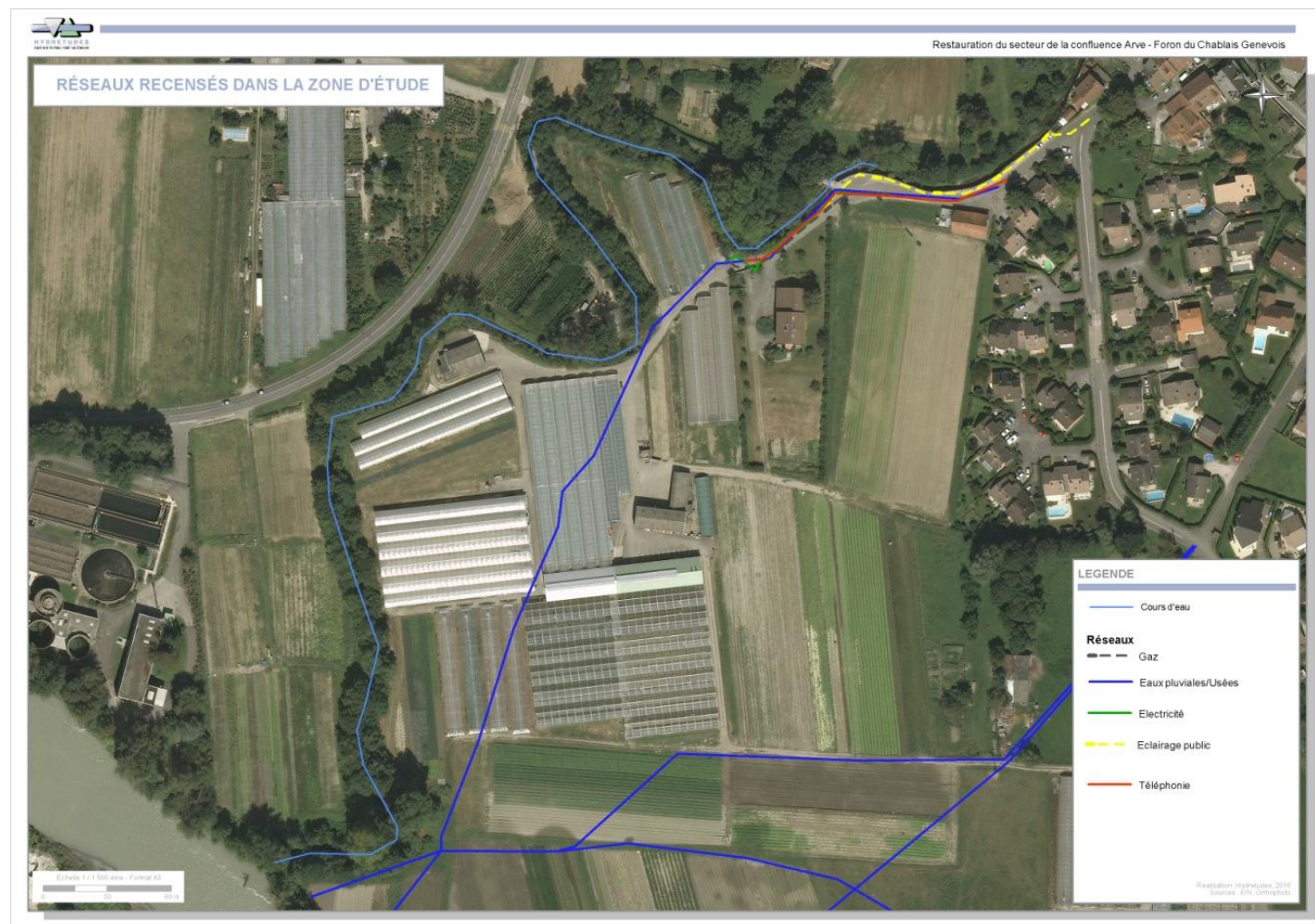
1. CONTRAINTES TECHNIQUES LIÉES AUX RÉSEAUX

En ce qui concerne les réseaux, les éléments recensés figurent sur la rive gauche (côté France) et sont principalement localisés sur la partie amont du secteur, le long de la voie d'accès menant aux serres.

Sont recensés :

- des réseaux d'eaux usées et pluviales (avec notamment le réseau de la STEP Ocybèle conduisant les effluents à l'Arve),
- un réseau de gaz,
- un réseau électrique,
- l'éclairage public,
- la téléphonie.

Ces projets et réseaux sont à prendre en considération dans le cadre des propositions d'actions de restauration du Foron (non aggravation des risques pour les projets futurs recensés).



2. LES PROJETS ALENTOURS

Au droit de la zone d'étude, 3 principaux projets sont recensés :

- le projet MAP Foron
- le projet d'extension de la STEP Vilette côté Suisse
- le projet de piste cyclable

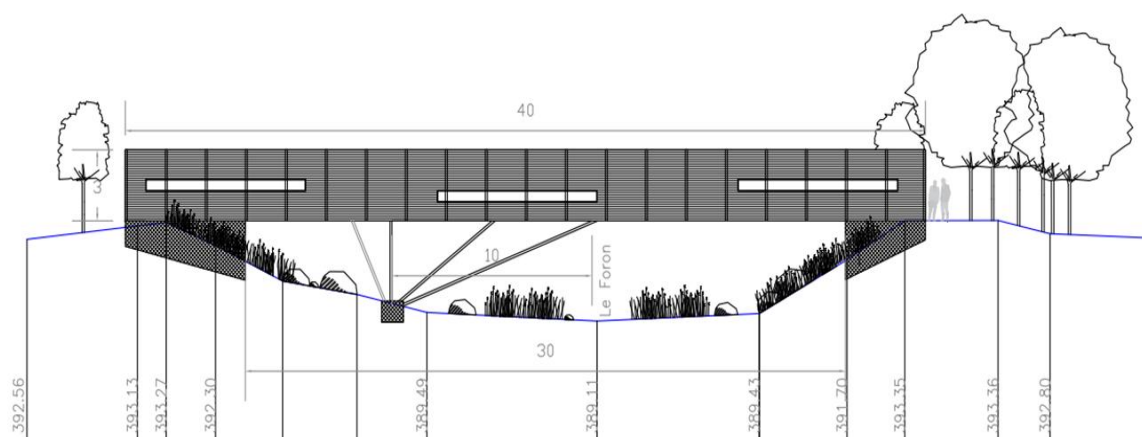
2.1. LE PROJET MAP FORON

Le projet MAP est une mesure d'accompagnement paysage du schéma d'agglomération franco-valdo-genevois, c'est l'un des outils qui permet de répondre aux enjeux du plan paysage de cette agglomération. Il prévoit, entre autres, un projet cheminement piéton "promenade de Thonex" et un projet "rivières". Au droit du secteur d'étude, le projet MAP prévoit alors :

- la réalisation d'un cheminement piéton en bordure de Foron, côtés suisse et français, dans le cadre de la mise en œuvre de la promenade de Thonex.
- la mise en œuvre d'actions locales de restauration du Foron de Gaillard dans le cadre de son projet "rivières". Les fiches de ces 3 actions sont disponibles en annexe.
- la mise en place d'une passerelle pour traverser le Foron au niveau de la confluence du Foron.



Figure 46. Localisation du cheminement prévisionnel et de la passerelle (OXALIS, 2013).



Coupe longitudinale

Figure 47. Projet de passerelle (OXALIS, 2013).

2.2. LE PROJET D'EXTENSION DE LA STEP VILLETTE CÔTÉ SUISSE

SURFACE D'OCCUPATION SUR LA ZONE PROTEGEE - VARIANTE A'

- - Surface occupée sur la zone protégée : 4'925 m² (-1'130 m²)
 - - Bâtit : 2'565 m²
 - ▨ - Aménagement extérieur : 2'360 m²
- Surface protégée + surface rendue à la nature : 12'500 m² (+2'950 m²)
 - ▨ - Surface protégée libre : 10'680 m²
 - - Surface rendue à la nature : 1'820 m²
- ▨ - Surface protégée totale : 15'605 m²
- Empiètement SDA : 4'010 m²

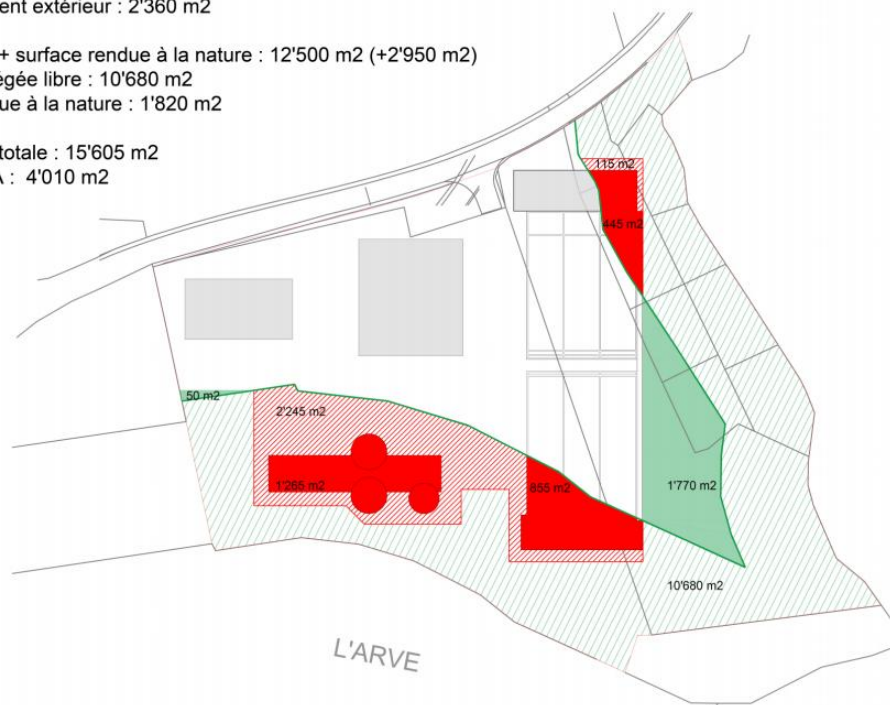


Figure 48. Projet de la STEP Suisse - variante A'.

Les contraintes réglementaires concernant le projet de l'agrandissement de la STEP sont les suivantes :

- Laisser un espace de 30 mètres en rive droite du Foron,
- Laisser un espace de 50 mètres en rive droite de l'Arve,

2.3. LE PROJET DE PISTE CYCLABLE

Le projet de piste cyclable est localisé le long de l'avenue de Thonex. La piste cyclable sera mise en place entre la voirie actuelle et le Foron. Sur notre secteur, l'impact le plus sensible se situe en aval du chemin de La-Craz.

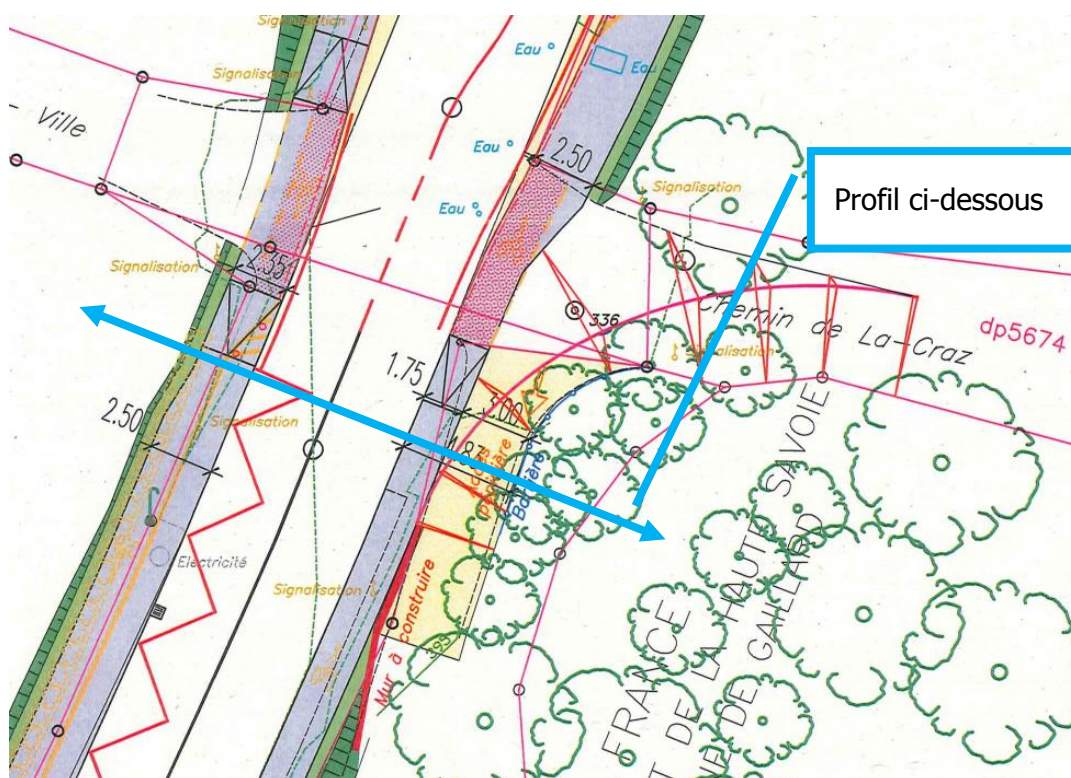


Figure 49. Localisation du projet de piste cyclable au niveau du chemin de La-Craz.

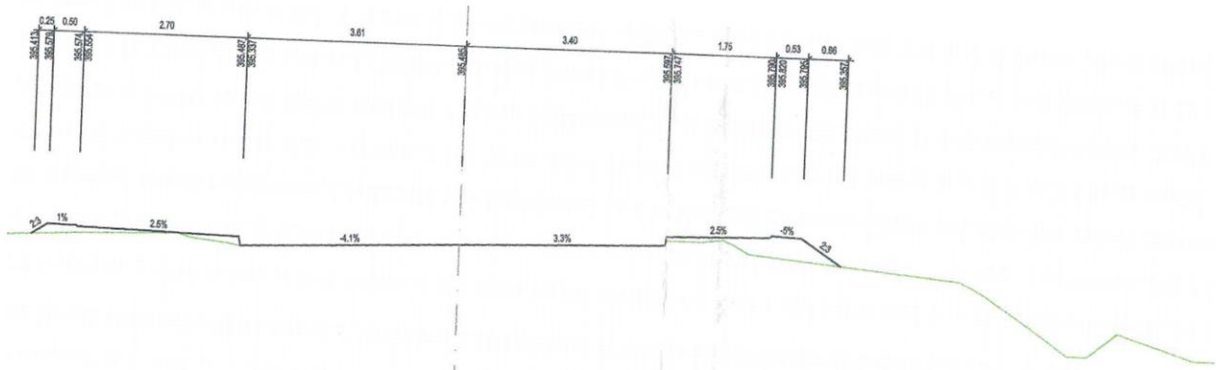


Figure 50. Profil en travers du projet de piste cyclable.

On observe donc un très faible impact sur la berge du Foron. Il faudra veiller lors des préconisations d'aménagements de maintenir une compatibilité des projets.

2.1. SYNTHÈSE

La carte suivante localise les projets recensés autour de la zone d'étude.

AUTRES PROJETS AUTOUR DU FORON DE GAILLARD



LEGENDE

step par Projet étape

30mforon

Projet Map Foron

- Emprises possibles à 30m du Foron
- Piste cyclable
- Chemin piéton côté suisse
- Passerelle
- Poursuite chemin piéton côté France
- Sites de projet "restauration" du Foron

Projet piste cyclable

- Piste cyclable

Projet STEP

- Emprises possibles à 30m du Foron

Réalisation: Hydretudes, 2016
Sources: IGN, Orthophoto

ANNEXES

Annexe 1 "Habitats aquatiques "

Annexe 1a : La classification de Wentworth (1922)

Lorsque l'on parle de taille de matériaux (en l'occurrence ici de taille de grains du lit d'un cours d'eau) il faut connaître le référentiel auquel on se rattache (classification granulométrique).

En effet, de nombreux textes parlent de sables, d'argiles etc... sans aucune référence de sorte que le lecteur ne peut avoir d'idée précise concernant la taille réelle des grains.

Dans la présente étude nous utiliserons la classification de référence dite « Wentworth sandrisée » (Wentworth, 1922 ; Malavoi & Souchon, 2002). Cette classification est largement utilisée et en particulier dans le protocole de suivi des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau CarHyCE (Hydromoce, 2008).

Cette classification est présentée dans le tableau suivant :

CLASSIFICATION DE WENTWORTH			
mm	ϕ	Wentworth sandrisé	
> 1024	< -10	R^W	<i>Rochers</i>
256 à 1024	-8 à -10	B^W	<i>Blocs</i>
128 à 256	-7.00 à -8.00	PG^W	<i>Pierres Grossières</i>
64 à 128	-6.00 à -7.00	PF^W	<i>Pierres Fines</i>
32 à 64	-5.00 à -6.00	CG^W	<i>Cailloux Grossiers</i>
16 à 32	-4.00 à -5.00	CF^W	<i>Cailloux Fins</i>
8 à 16	-3.00 à -4.00	GG^W	<i>Graviers Grossiers</i>
2 à 8	-1.00 à -3.00	GF^W	<i>Graviers Fins</i>
0.5 à 2	1.00 à -1.00	SG^W	<i>Sables Grossiers</i>
0.0625 à 0.5	4.00 à 1.00	SF^W	<i>Sables Fins</i>
0.0039 à 0.0625	8.00 à 4.00	L^W	<i>Limons</i>
< 0.0039	> 8.00	A^W	<i>Argiles</i>

NB : La correspondance entre mm et ϕ est :

$$\phi = -\log_2(D_{mm})$$

Tableau 18 : classification de Wentworth sandrisée

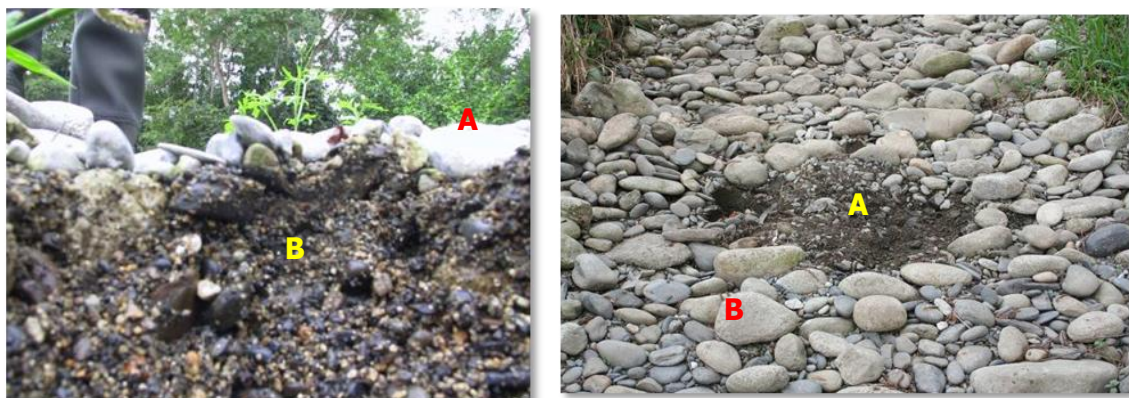
NB : lorsque nous utiliserons dans le texte les abréviations de cette classification, elles porteront en exposant un « W » exemple : A^W = argile, SF^W = sables fins...

Annexe 1b : Le substrat d'un lit fluvial

Un lit fluvial (dans les rivières à graviers et à lit mobile) se caractérise par une granulométrie étendue qui conduit à un tri granulométrique des grains du lit dans le sens de l'écoulement, verticalement et latéralement (Powell, 1998).

Ce tri initie une stratification verticale des alluvions constitué de deux couches bien identifiables : une couche de surface grossière recouvrant la subsurface plus fine (Kondolf, *et al.*, 2003).

La partie supérieure du lit fluvial, grossière est ainsi appelée de manière générique « substrat ». Son épaisseur est celle des plus grosses particules la constituant (Simon, 1986 ; Rollet, 2007). La partie inférieure est appelée couche interne ou encore sous-couche ou subsurface



Le substrat superficiel du lit comprend deux grands types d'éléments :

Figure 51 : à gauche vue en coupe et à droite de dessus. A = substrat ; B = couche interne

- Le **tapis** concerne des parties où les grains tapissent le fond du lit, le plus souvent sur des surfaces importantes. Ce tapis constitue la partie la plus mobile du lit. Il se développe en surface et son épaisseur est généralement faible (centimétrique à décimétrique) ;
- L'**ossature** formée par les éléments de rugosité, éléments les plus grossiers et les moins mobiles, qui peuvent prendre plusieurs formes (éléments isolés, clusters, alignements). Ces éléments de rugosité peuvent se déposer sur le tapis ou être ancrés en lit, c'est-à-dire imbriqués dans le tapis (ils s'enracinent ainsi dans la couche interne). C'est en ce sens qu'ils forment l'ossature du lit, leur ancrage et leur masse les rendant peu mobiles.

Le schéma ci-dessous illustre ces deux éléments constituant la partie superficielle du substrat d'un lit fluvial.

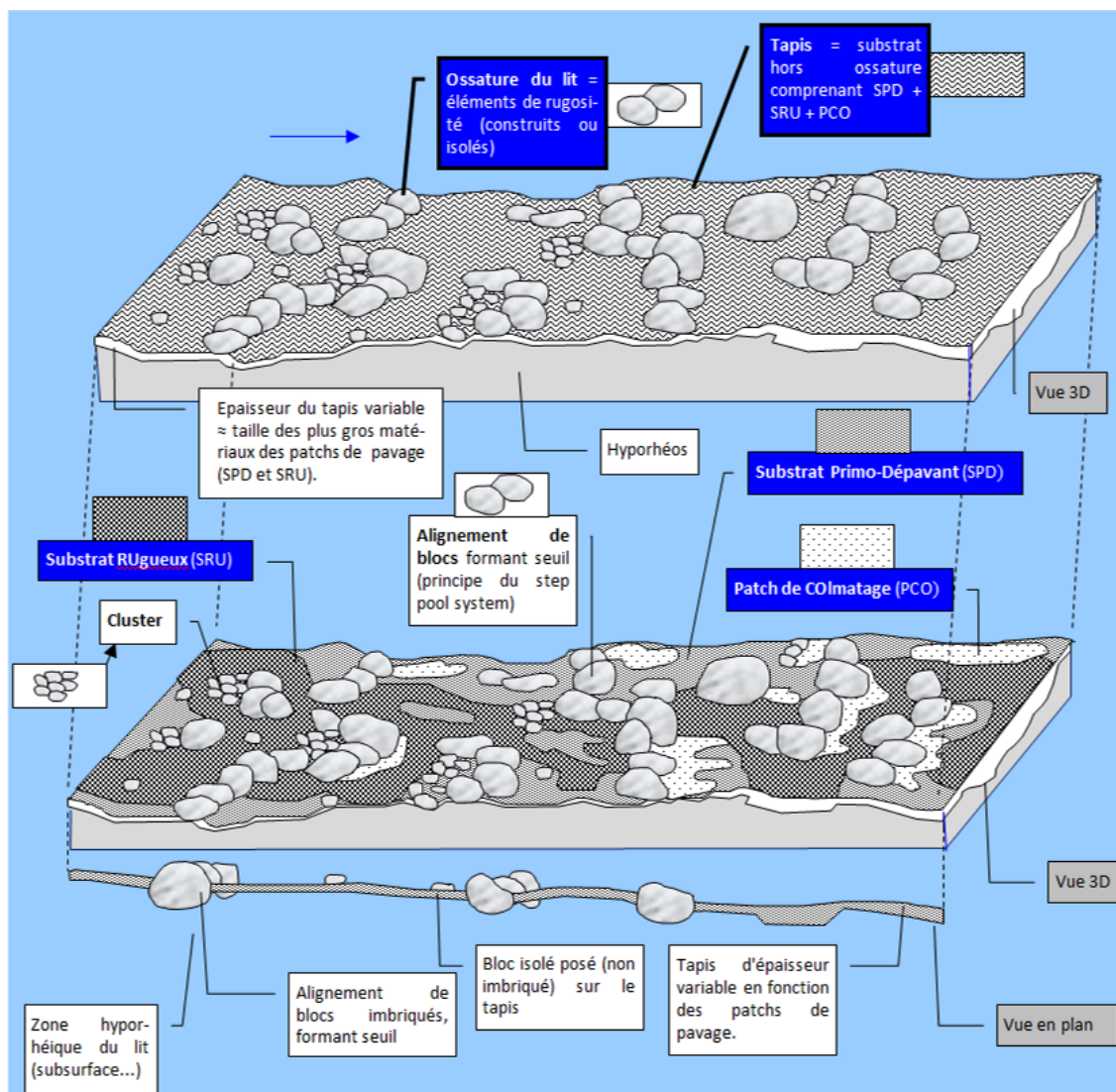


Figure 52 : Différents composants du substrat d'un lit fluvial (Hydrétudes)

Ces différents éléments – tapis et éléments de rugosité de l'ossature – diversifient les courants et génèrent par leur rugosité des faciès d'écoulements (au sens de Malavoi & Souchon, 2002) différenciés. Ces faciès d'écoulement constituent les composantes essentielles des habitats (de reproduction, de croissance, d'alimentation et de repos de la faune aquatique).

Ainsi, l'ossature favorise l'infiltration, l'écoulement horizontal et l'exfiltration (Vaux, 1968 ; Thibodeaux & Boyle, 1987 ; Harvey & Bencala, 1993 ; Elliot & Brooks, 1997 ; Vollmer, Träbing & Dittrich, 2000), et donc les circulations d'eau, de dioxygène, de micro-organismes et de nutriments dans la zone hyporhéique.

Ces circulations sont absolument essentielles notamment aux processus biogéochimiques et au maintien du lien entre l'écoulement superficiel et la nappe pour les échanges nappe/rivière.

Le schéma ci-dessous reprenant les éléments de la figure précédente illustre ce point :

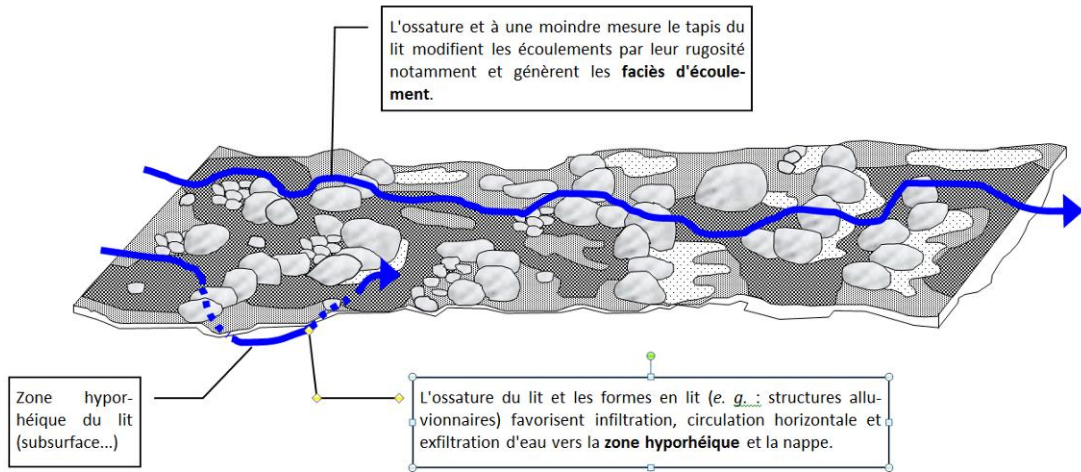


Figure 53 : Influence du substrat d'un lit sur les faciès d'écoulement et la circulation hyporhéique (Hydrétudes)

Annexe 1c : Armure et pavage

Dans la littérature scientifique, le substrat est souvent dénommé armure, voire pavage. Cette distinction armure/pavage est ainsi utilisée par de nombreux auteurs (*cf.* Malavoi *et al.*, 2011).



L'**armure** est liée à une ségrégation granulométrique des alluvions, lors des crues les éléments les plus fins sont mis en mouvement laissant alors les plus grossiers former une armure sur la surface du lit (Bray & Church, 1980). Elle a environ un diamètre moyen (D_{50}) 2,5 fois plus grossier que celui de la couche interne (Klingeman & Emmett, 1982), par contre les fractions grossières de ces deux strates sont très proches, les D_{90} sont pratiquement superposables Cette armure est remaniée régulièrement, généralement annuellement (Malavoi *et al.*, 2011).



Le **pavage** présente une granulométrie très nettement supérieure à celle de la couche interne avec une imbrication des matériaux sans tuilage (Bray & Church, 1980).

Le diamètre moyen des particules du pavage est au moins 5 fois supérieur à celui de sa sous-couche (Malavoi, *et al.*, 2011). Un pavage se forme lorsque la charge de fond est inexistante ou très faible (Kellerhals, 1967), par exemple lorsqu'elle est bloquée en amont par un barrage, supprimée par un reboisement intensif, etc... voire lorsque le cours d'eau s'est incisé pendant une longue période (Bray & Church, 1980). L'absence de fourniture sédimentaire conduit alors à un tri granulométrique des particules grossières : les fines sont transportées vers l'aval (Bunte & Abt, 2001), ce tri s'exerçant de manière permanente (à la différence des armures qui sont remaniées régulièrement). Le pavage est ainsi souvent très stable et constitue une protection semi-permanente (Bray & Church, 1980) ; (Parker & Klingeman, 1982) ; (Richards & Clifford, 1991). L'incision du lit se poursuivrait jusqu'à ce que l'affouillement fasse apparaître suffisamment de matériaux grossiers pour résister à l'écoulement (Karim & Kennedy, 1986).

La **couche interne** est masquée par le substrat. La granulométrie de cette sous-couche est proche de celle de la charge de fond transitant lors des crues morphogènes (Parker & Klingeman, 1982).

Annexe 1d : Le colmatage des lits fluviaux

Le colmatage est le phénomène d'infiltration et de dépôt de particules fines plus ou moins profondément dans les espaces interstitiels du lit d'un cours d'eau (armure et couche interne).

La profondeur d'infiltration est directement liée à la taille des particules de colmatage, (Beyer & Bansher, 1975) et la taille des espaces interstitiels (Frostick *et al.*, 1984). Les particules de colmatage ont ainsi tendance à migrer en profondeur dans la couche interne (Leichtfreid, 1988 ; Sear, 1993 ; Panek, 1994 ; Brunke, 1999), avec un tri granulométrique créant un gradient vertical : éléments grossiers → éléments fins, (Jobson & Carey, 1989).

Le colmatage a un impact important à plusieurs niveaux : il réduit les échanges d'eau, de nutriments, d'invertébrés et de micro-organismes entre la surface et le milieu interstitiel. Il banalise ainsi les habitats interstitiels (Datry, 2010) et appauvrit la faune hyporhéique (Gayraud *et al.*, 2002)

Le colmatage du substrat du lit limite également plus ou moins fortement :

- La circulation hyporhéique (*l'Hyporhéos* est l'épaisseur de substrat dans laquelle circule de l'eau et du dioxygène en quantité suffisante pour la vie aquatique) en limitant les échanges cours d'eau/nappe d'accompagnement et en réduisant ainsi la capacité épuratoire intrinsèque des cours d'eau (Vervier *et al.*, 1992 ; Datry *et al.*, 2008),

Les biofilms épilithiques naturels

Il s'agit d'un assemblage de micro-organismes vivants (bactéries, champignons, microphytes, protozoaires...) enchâssés dans une matrice (ou mucus) d'exopolymères (Costerton, Geesey & Cheng, 1978 ; Lock, Wallace, Costerton, Ventullo & Charlton, 1984 ; Costerton, 2000) et adhérent à la surface du substrat grossier, diminuant ainsi le fonctionnement biogéochimique des cours d'eau (Push *et al.*, 1998 ; Battin, Kaplan, Newbold & Hansen, 2003).

Encart 1 : les biofilms épilithiques

- Les biofilms épilithiques (*cf.* Encart 1) et contribue ainsi à diminuer le fonctionnement géophysique des cours d'eau (Push *et al.*, 1998 ; Battin *et al.*, 2003),
- La ressource trophique constituée par les macroinvertébrés (Hynes, 1970 ; Minshall, 1984) et notamment leur répartition (Cummins & Lauff, 1969) et la structuration des populations (Richard *et al.*, 1994), impactant ainsi les réseaux trophiques.
- Les chances de reproduction et donc de survie des espèces lithophiles (Chapman, 1988 ; Waters, 1995). Il impacte ainsi les effectifs piscicoles (Bjorn *et al.*, 1977 ; Alexander & Hansen, 1986), avec notamment une diminution du taux de survie des œufs (Chapman, 1988) mais aussi une surmortalité importante sur les juvéniles, en limitant les abris, les postes de chasse et les éléments visuels servant à repérer les limites territoriales (Kalleberg, 1958 ; Heland, 1971).

Le tableau suivant résume, suivant la taille des particules de colmatage l'impact principal généré (Gayraud *et al.*, 2002) :

TAILLE DES PARTICULES DE COLMATAGE ET IMPACT					
Taille des particules	Classes Wentworth ³				Type d'impact
	A ^w	L ^w	SF ^w	SG ^w	
< 2 mm					<i>Benthos</i>
< 0,8 mm					Frayères de lithophiles
< 0,063 mm					<i>Hyporhéos</i>

Tableau 19 : Impact des particules de colmatage selon leur taille

Les effets du colmatage (en particulier s'il génère une induration du substrat du lit) peuvent aller jusqu'à impacter les processus d'érosion en limitant la mobilisation des matériaux tapissant le lit lors des crues (Gayraud *et al.*, 2002).

La connaissance du colmatage du lit d'un cours est donc une donnée particulièrement importante pour connaître son potentiel écologique.

³ Wentworth, 1922 ; Malavoi & Souchon, 2002.

Annexe 1e : La zone hyporhéique

White (1993) définit la zone hyporhéique comme l'ensemble des sédiments saturés en eau contenant une certaine proportion d'eau de surface et situés au-dessous et de part et d'autre du cours d'eau.

Cette zone varie en fonction de la nature du substratum, Malard *et al.*, 2000 en a fait une typologie représentée dans le graphique ci-dessous :

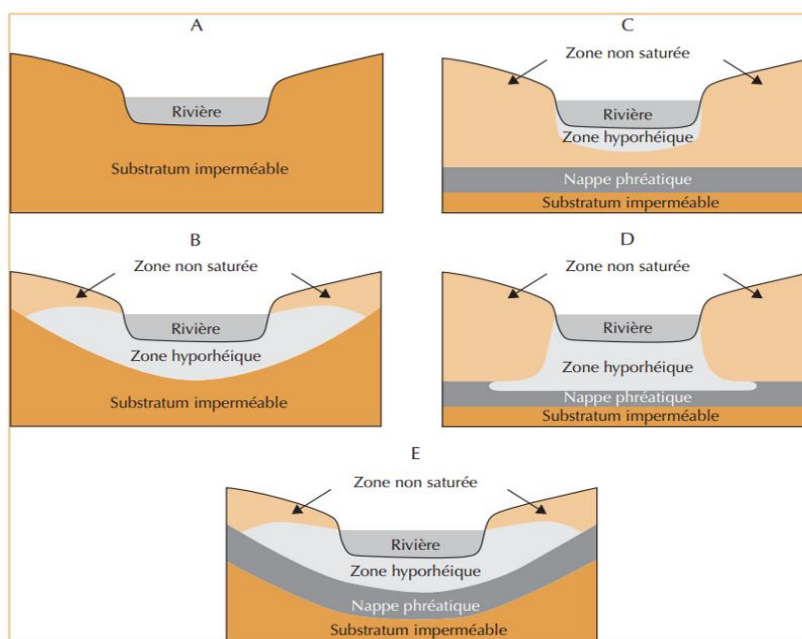


Figure 54 : zone hyporhéique d'après Malard *et al.*, 2000

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'épaisseur hyporhéique efficace pour la vie aquatique (EHE) qui est de l'ordre de quelques dizaines de centimètre en général. C'est en fait la partie de la zone hyporhéique dans laquelle s'écoule majoritairement des eaux de surface chargées en dioxygène.

Annexe 1f : Les frayères

Une frayère d'espèce lithophile est généralement constituée d'un dôme recouvrant la poche des œufs. Pour illustrer notre propos nous prendrons comme exemple celui de la truite commune (*Salmo trutta*), représentative des lithophiles.

La succession de schémas et de textes ci-dessous montre ainsi la construction d'une frayère de TRF.

❖ *Choix du lieu de frai*

En premier lieu la femelle choisit un lieu particulier comme une tête de radier, où la conformation du fond du lit (contre-pente, porosité du pavage) crée des courants descendant (*downwelling*) caractérisant une zone d'infiltration vers la fraction de la couche interne du lit (où il y a une circulation hyporhéique). De plus, la granulométrie de ces contre-pentes de liaison mouille/radier est généralement granoclassée avec plutôt des grains grossiers (Lisle, 1989) qui sont favorables au frai.

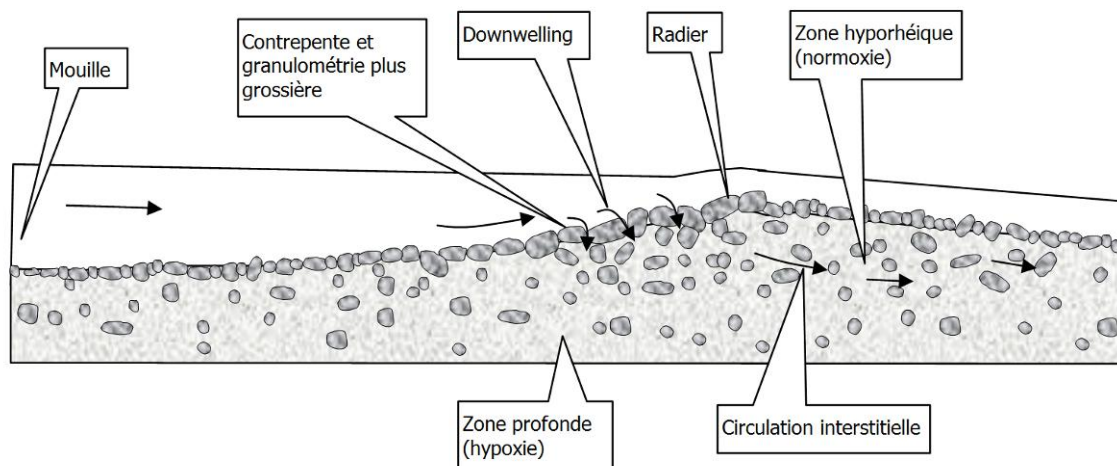


Figure 55 : choix du lieu de frai pour TRF (source Hydrétudes)

Il est probable que TRF utilise ses nageoires et sa ligne latérale pour apprécier les différences de pression, de vibration, les veines d'eaux et détecter ainsi les courants descendant et le zones qui lui paraissent favorable à la construction de la frayère.

Ces éléments et en particulier la vitesse du courant sont fonction de la taille de la génitrice. Une truite de 20 cm frayera dans une lame d'eau de courant variant entre 15 et 50 cm/s, une truite plus grande pourra accepter des vitesses plus élevées.

❖ *Grattage du substrat*

En premier lieu, la femelle gratte le substrat. On peut supposer que cette action de grattage a pour objectif de finaliser le choix du site de ponte « en sondant » le substrat. Elle cherche un substrat dont la cohésion est compatible avec ses capacités de creusement. Le grattage permet également de mettre en suspension une partie des matériaux de colmatage interstitiel, c'est-à-dire les matériaux fins (SF^W à A^W). Cette action favorise ainsi les espaces interstitiels qui sont fondamentaux pour la survie des œufs.

❖ *Creusement de la cuvette, construction du dôme*

Ensuite la femelle creuse une cuvette sur le substrat du lit. La cuvette de forme globalement ovale a une taille proportionnelle à celle de l'individu (une femelle d'un vingtaine de centimètres excave une cuvette de 20 à 30 cm). Elle utilise les mouvements de son corps, de sa nageoire caudale et la force du courant pour créer cette excavation dans le complexe substrat/couche interne du lit. Sa profondeur varie de 5 à 15 cm environ. La plupart du temps elle atteint (au moins partiellement) la couche interne du lit.

Cette action permet la séparation de la phase grossière (pavage) et de la fraction fine (matériaux de colmatage interstitiel et/ou couche interne) avec la mise en suspension des matériaux fins (Chapman, 1988) et la création d'un dôme allongé en aval par ségrégation granulométrique des matériaux issus essentiellement du tapis.

Ce dôme est essentiellement constitué de matériaux de la fraction grossière, il présente des espaces interstitiels conséquents (à l'échelle du substrat du lit). La construction de la frayère par la mise en place du complexe cuvette/dôme constitue donc une décompaction et un décolmatage des matériaux avec utilisation préférentielle de la fraction grossière du pavage du lit. En effet, lors de la création du dôme, les matériaux fins (MES) sont entraînés par le flux.

TRF aménagé à partir des grains du lit (pavage et grains grossiers de la couche interne) un substrat de ponte et d'incubation du type substrat support par les grains sans matrice c'est-à-dire avec beaucoup d'espaces interstitiels non colmatés).

❖ *Ponte*

Dans la cuvette creusée un courant inverse se produit qui sera favorable au frai. La femelle met en fond de cuvette 2 ou 3 éléments plus grossiers qui vont favoriser son calage au moment de la ponte.

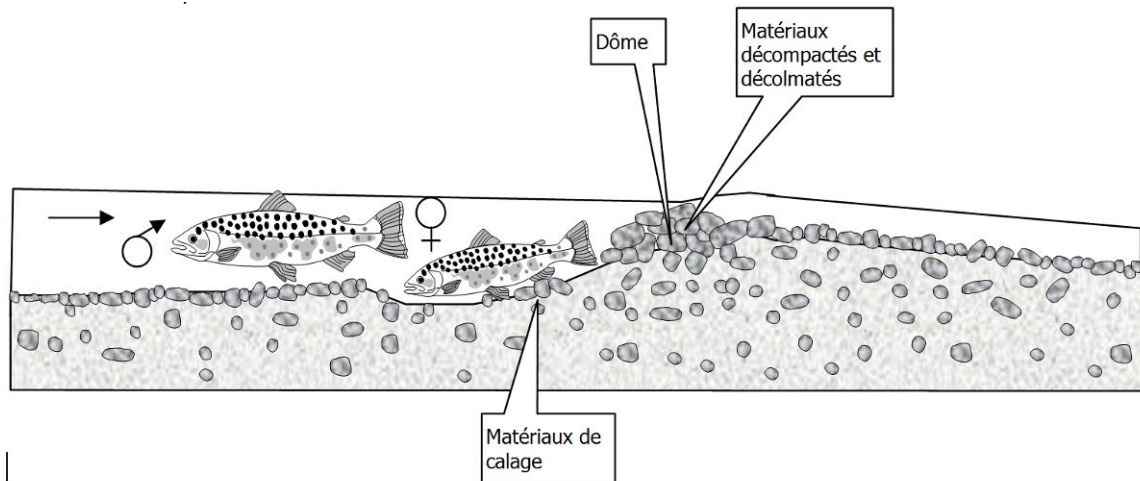


Figure 56 : confection du complexe dôme-cuvette par la femelle de TRF (source Hydrétudes)

Juste avant la libération des ovocytes dans la cuvette, la femelle se cale par sa nageoire anale dans les interstices du fond de cuvette et éventuellement avec les éléments plus grossiers qu'elle y a préalablement déposés.

Grâce à ses nageoires (ventrales, anale et caudale) elle a une perception des micro-courants dans la cuvette, élément essentiel pour le placement lors de la ponte. La femelle s'arc-boute en arc de cercle dans la cuvette et ouvre la gueule pour avertir le mâle qui la surveille du bord de cuvette de l'instant de la ponte. Il se précipite à ses côtés et libère simultanément à la ponte sa laitance, lui aussi a la gueule ouverte.

Le courant de cuvette mélange ponte et laitance, la fécondation intervenant dans les secondes suivant le mélange.

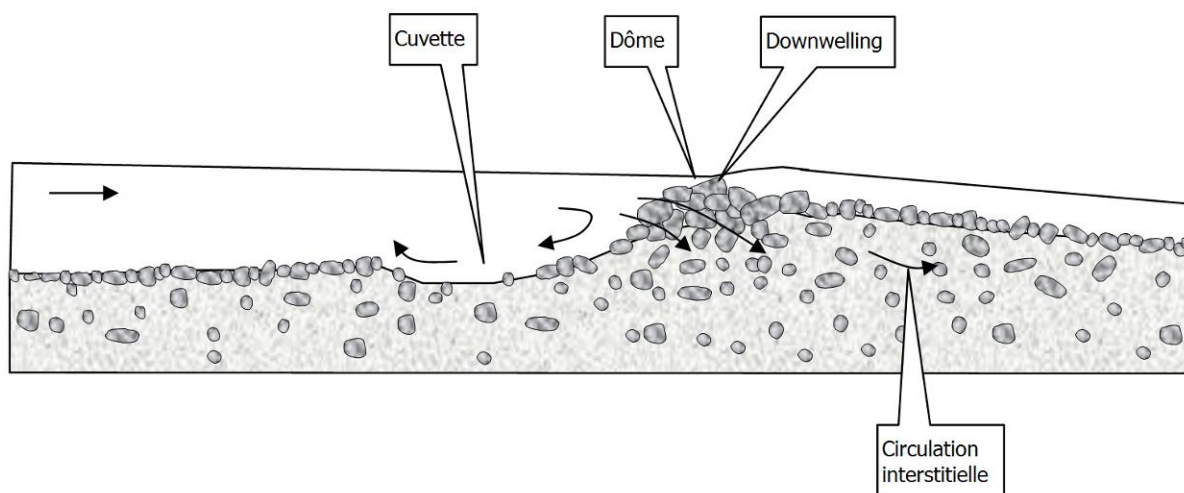


Figure 57 : courants dans le complexe cuvette-dôme (source : Hydrétudes)

Pendant la ponte des ovocytes par la femelle et leur fécondation par la laitance du mâle, les œufs sont entraînés dans les espaces interstitiels (pores) de la cuvette. Les œufs fécondés vont se coincer dans les espaces interstitiels des matériaux. Les corps des géniteurs placés au-dessus favorisent ce phénomène.

La taille des ovocytes est relativement importante (2 à 5 mm). Les ovocytes dès leur libération dans l'eau par la femelle commencent à s'indurer (tout gardant une certaine élasticité). En effet, la membrane vitelline permet l'absorption d'eau dans l'ovocyte (ou l'œuf s'il a été fécondé). Ce phénomène rend l'œuf plus dur et plus lourd, contractant et effaçant le micropyle (canal de pénétration dans l'ovocyte pour le spermatozoïde, lui permettant ainsi d'accéder au protoplasme et de féconder l'ovocyte). Cette induration et ce gonflement avec limitation de la flottabilité doit favoriser le coincement, voire l'amas des œufs embryonnés dans les espaces interstitiels.

La femelle va recouvrir après la ponte de matériaux grossiers la cuvette et donc les ovocytes et œufs fécondés. La profondeur d'enfouissement de la poche des œufs est de 10 à 15 cm en moyenne. Cette stratégie d'enfouissement (à la différence d'autres pondes sous graviers comme OBR et BAF dont les poches des œufs sont plus superficielles), montre que les embryons sont exposés au risque de déstabilisation du substrat (et donc de la frayère) par des crues (Parkinson, 1999).

En recouvrant sa ponte, la femelle va créer une nouvelle cuvette en aval et augmenter le dôme initial en longueur. Cette nouvelle cuvette pourra éventuellement servir de base pour une nouvelle phase de reproduction.

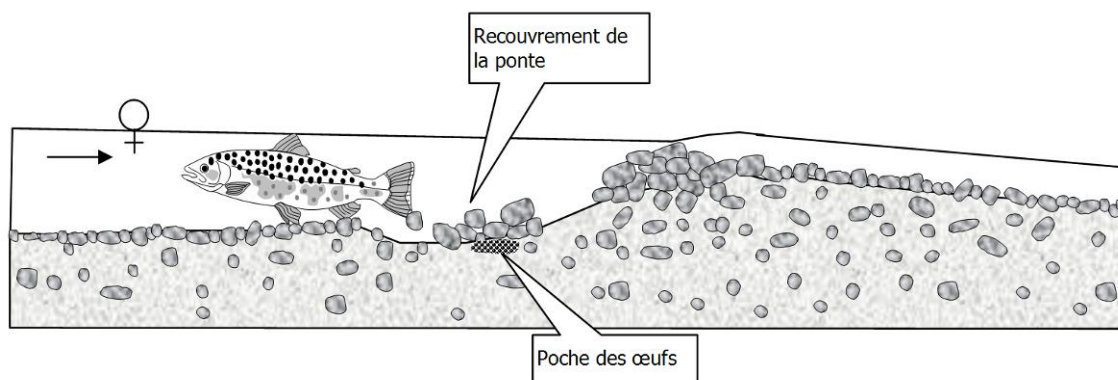


Figure 58 : création de la poche des œufs par la femelle (source Hydrétudes)

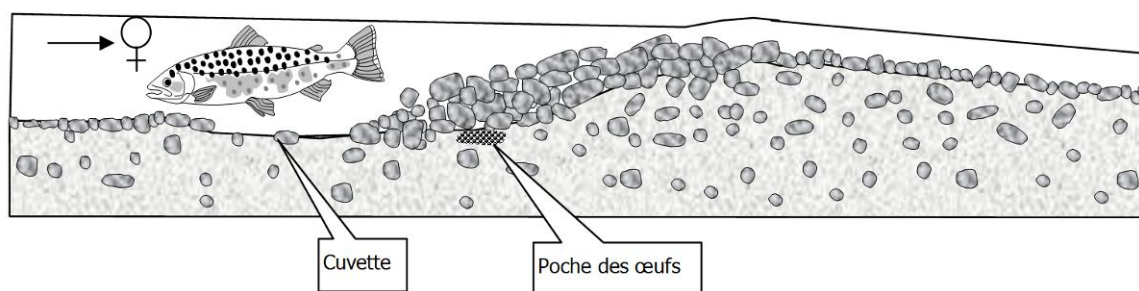


Figure 59 : frayère opérationnelle (en incubation) – source Hydrétudes

- D'évacuer les déchets métaboliques toxiques comme le dioxyde de carbone et l'ammoniac (Alderdice & Wickett, 1958 ; Alderdice *et al.*, 1958),
- De maintenir une température favorable à l'incubation des œufs embryonnés jusqu'à l'émergence des larves (420°/j),
- L'évitement passif des prédateurs (oiseaux aquatiques, amphibiens et poissons), la vie interstitielle des œufs dans le dôme constituant une sécurité (Mac Neil, 1964 ; Heckeis *et al.*, 1996),
- Le calage des œufs embryonnés évitant ainsi l'emportement par les flots jusqu'à l'émergence (Dill & Northcote, 1970 ; Phillips *et al.*, 1975)

❖ *Granulométrie du substrat et frayères de lithophiles*

Le substrat du lit est un élément essentiel pour le frai des espèces lithophiles. Ainsi chaque lithophile a besoin d'une granulométrie spécifique pour frayer.

Elle doit ainsi être adaptée à la taille des géniteurs et aux modes de construction des frayères propre à chaque espèce. Par exemple les lamproies (de Planer – *Lampetra planeri*, de rivière – *Lampetra fluviatilis* et marine – *Petromyzon marinus*) se ventousent (par-

fois à plusieurs individus) aux grains du substrat du lit pour les déplacer les grains et ainsi construire une place de frai commune, en faisant apparaître la granulométrie adéquate.

Chacune de ces trois espèces bien qu'elles aient la même technique de construction va déplacer des matériaux en rapport avec sa taille et sa puissance, laissant donc sur la place de frai la granulométrie adaptée au frai.

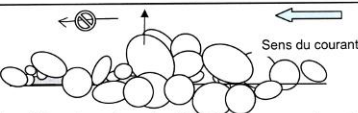
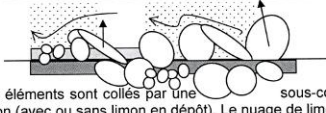
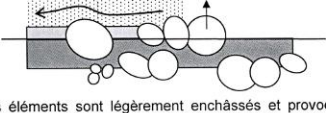
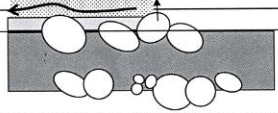
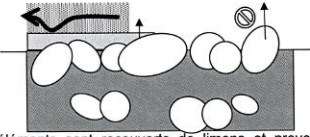
Pour les principaux lithophiles présents en France nous disposons de données issues notamment de l'arrêté du 23/04/2008 qui sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

CARACTERISTIQUES DES FRAYERES DES PRINCIPALES ESPECES LITHOPHILES				
Espèce		Fuseau granulométrique		Caractérisation (Wentworth)
Nom vernaculaire	Taxon	En mm	En ϕ	
Esturgeon européen	<i>Acipenser sturio</i>	2 à 200	-1 à -7,64	GF ^W à PG ^W
Lamproie marine	<i>Petromyzon marinus</i>	5 à 200	-2,32 à -7,64	GF ^W à PG ^W
Lamproie de rivière	<i>Lampetra fluviatilis</i>	2 à 60	-1 à -5,91	GF ^W à CG ^W
Lamproie de Planer	<i>Lampetra planeri</i>	1 à 50	0.5 à -5.64	SG ^W à CG ^W
Truites	<i>Salmo trutta spp.</i>	10 à 100	-3.32 à -6,64	GG ^W à PF ^W
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>	20 à 150	-4,32 à -7,23	CF ^W à PG ^W
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	5 à 60	-2,32 à -5,91	GF ^W à CG ^W
Barbeau méridional	<i>Barbus meridionalis</i>	5 à 30	-2,32 à -4,91	GF ^W à CF ^W
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	10 à 200	-3,32 à -7,64	GG ^W à PG ^W
Chabot périalpin ⁴	<i>Cottus gobio</i>	100 à 1000	-6,64 à -9,96	PF ^W à B ^W

Tableau 20 : granulométrie des principales espèces lithophiles présentes en France

⁴ (Freyhof, *et al.*, 2005) ont révisé la taxonomie des *Cottidae* et ils ont ainsi déterminé le chabot périalpin (*Cottus aturi*) comme espèce localisée dans le Nord des Alpes (*Cf.* également carte de répartition du *C. gobio* (Keith, *et al.*, 2011), p. 499).

Annexe 1g : classe de colmatage selon Archambaud et al.2005

Code	Classes de Colmatage	Représentation du degré de colmatage (lorsque l'on soulève un élément du fond)
1	] 0 - 25%]	 <p>Les éléments sont posés. On peut observer soit un dépôt fin de limons peu colmatant (cas de gauche) soit aucun dépôt (cas de droite)</p>
2	] 25 - 50%]	 <p>Les éléments sont collés par une sous-couche de limon (avec ou sans limon en dépôt). Le nuage de limon qui se soulève est peu dense.</p>
3	] 50 - 75%]	 <p>Les éléments sont légèrement enchâssés et provoquent un nuage de limon assez épais lorsqu'ils se désolidarisent de la sous-couche.</p>
4	] 75 - 90%]	 <p>Les éléments sont très enchâssés et provoquent un nuage épais de limons (accentué ou non par un dépôt de limons)</p>
5	] 90-100%]	 <p>Les éléments sont recouverts de limons et provoquent un nuage très épais (cas de gauche) ou bien sont entièrement cimentés dans la sous-couche et impossibles à soulever (cas de droite)</p>

Annexe 1h : Principe des sticks hypoxiques

Les sticks hypoxiques (Tremblay, 2006) sont constitués de tasseaux de pin 10 x 10, non traité, d'une longueur de 0.30 m, munis d'un fil de repérage, Cf. photo ci-dessous :

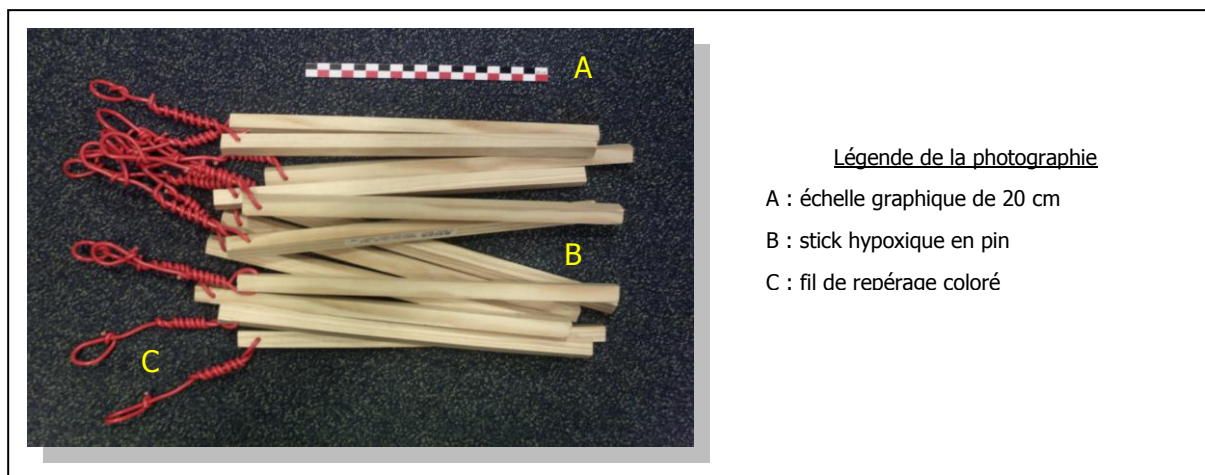


Figure 60 : stick hypoxique avant incubation

Les sticks sont placés en lit au moyen d'une barre à mine qui constitue ainsi un avant-trou dans le lit. Ils sont ensuite enfoncés jusqu'au fil de repérage au moyen d'une massette.

Les sticks sont laissés en lit un mois complet (incubation) puis retirés. Ils permettent de mesurer la profondeur d'oxygénation des espaces interstitiels de la couche interne, c'est-à-dire la zone hyporhéique. Ils mettent ainsi en valeur la partie normoxique (partie du lit où l'oxygène est suffisant pour la vie aquatique) de la partie hypoxique (épaisseur du lit où l'oxygénation n'est pas suffisante).

L'épaisseur de couche interne correctement oxygénée (normoxie) est mesurable en distinguant les deux parties du tasseau, l'une se colore en grisâtre, l'autre ne prend pas de teinte (Cf. photo ci-dessous) :



Figure 61 : stick hypoxique incubé, on remarque la partie grisée (hypoxie) délimitée par le trait noir en partie inférieure du tasseau.

La partie assombrie correspond à l'épaisseur en hypoxie (partie du lit pauvre en dioxygène) et la partie qui apparaît non modifiée est en normoxie (partie du lit présentant une oxygénation compatible avec la vie aquatique).

On considère alors que la zone hyporhéique est superposable stricto sensu à la partie de la couche interne normoxique.

On peut également traduire ces données en termes de colmatage des espaces interstitiels des grains constitutifs de la couche interne du lit :

- la zone normoxique correspond à la partie peu ou pas colmatée,
- la zone hypoxique correspond à la partie colmatée.

Le changement de couleur des intégrateurs est dû aux bactéries sulfato-réductrices qui vivent en milieu hypoxique.

Ces bactéries sont anaérobies, ce sont les sulfates qui remplacent le dioxygène pour la respiration cellulaire. La dégradation des sulfates en sulfures produit ce dépôt caractéristique (Marmonier *et al.*, 2004).

L'objectif de notre démarche est de mesurer les sous-écoulements interstitiels dans la partie interne du substrat du lit (couche interne en subsurface).

On pourra ainsi déterminer la présence d'une épaisseur hyporhéique efficace (EHE) dans l'épaisseur du lit, partie propice à la vie aquatique. Les sticks hypoxiques indiquent donc l'intérêt du substrat pour la vie aquatique.

Ces sticks permettent ensuite de réaliser un graphique de l'épaisseur hyporhéique.

Annexe 2 : Méthodologie employée pour la bioévaluation des enjeux faunistiques et floristiques

❖ Les textes législatifs de références

Au livre IV « faune et flore » du Code de l'Environnement, la protection stricte des espèces de faune et de flore sauvage est assurée par les articles L. 411-1 et L. 411-2 du Code de l'Environnement.

Ces dispositions sont complétées par les textes suivants :

- les sanctions pénales en cas de non-respect des dispositions (article L. 415-3) ;
- les modalités d'élaboration des arrêtés ministériels fixant les listes d'espèces protégées (articles R. 411-1 à R. 411-3) ; la liste de ces arrêtés ministériels figure en annexe des articles et définissent pour chaque espèce ou groupe d'espèces, les interdictions applicables ainsi que les parties du territoire national concerné ;
- les modalités d'octroi des dérogations (point 4 de l'article L. 411-2) ;
- les conditions de demande et d'instructions des dérogations définies au 4° de l'article L. 411-2 du code de l'environnement portant sur des espèces de faune et de flore sauvages protégées (arrêté du 19 février 2007) ;
- la liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département, pour lesquelles est prévu que les dérogations à certaines interdictions d'activités soient octroyées par le ministre chargé de la protection de la nature et non par les préfets (arrêté du 9 juillet 1999) ;
- des précisions quant à la constitution des demandes de dérogation et à leur instruction (circulaire du 21 janvier 2008 relative aux décisions administratives individuelles relevant du ministère chargé de la protection de la nature dans le domaine de la faune et de la flore sauvage). Cette circulaire complète les circulaires DNP N°98-1 du 3 février 1998 et DNP N°00-02 du 15 février 2000. Ces circulaires font en particulier état des modèles CERFA, nécessaires à la constitution d'une demande de dérogation en fonction des espèces et des activités.

❖ Les listes rouges

Il s'agit de documents généralement validés en comité d'experts, indiquant les statuts de conservation sur une aire géographique considérée : départementale, régionale, nationale, européenne ou mondiale. Tous les groupes ne disposant pas de telles listes au niveau régional ou même national, l'identification des espèces dites « patrimoniales » peut s'appuyer sur les listes d'espèces déterminantes ou remarquables pour la désignation des ZNIEFF, ou uniquement sur dires d'experts.

Les différentes cotations des listes rouges sont les suivantes :

LC	Faible risque
NT	Quasi menacé
VU	Vulnérable
EN	En danger
CR	En grave danger
RE	Disparition de la région
EX	Eteinte
NA/DD/NE	Non applicable/Insuffisamment documenté (au moins VU)/Non évalué

❖ *Classement*

L'enjeu global de conservation d'une espèce est analysé en trois étapes :

1. Vérification de la protection réglementaire nationale et régionale (cf. chapitre ci-avant sur les textes législatifs de référence) et de l'inscription de l'espèce à l'annexe IV de la Directive Habitat-Faune-Flore ou à l'annexe I de la Directive Oiseaux

Hiérarchisation de la protection selon la classification suivante :

ESPECES	Enjeu	Protection réglementaire
	TRES FORT	X
	FORT	Directive Oiseaux - Annexe I / Directive Habitat - Annexe II
	ASSEZ FORT	Directive Habitat - Annexe IV
	MOYEN	Protection nationale et/ou régionale
	FAIBLE	X

2. Vérification du statut de l'espèce aux Listes Rouges régionales et nationales

Hiérarchisation des enjeux de conservation selon la classification suivante :

ESPECES	Enjeu	Statut de conservation au niveau national	Statut de conservation au niveau régional
	TRES FORT	< EN	< VU
	FORT	< VU	< NT
	ASSEZ FORT	NT	X
	MOYEN	Espèce assez rare (déterminante ZNIEFF, ...)	
	FAIBLE	LC	LC

3. La dernière étape consiste à définir un enjeu global de conservation : l'enjeu retenu correspond **au plus fort enjeu** résultant des deux analyses précédentes, à l'exception :

- des espèces ayant un statut "LC" à la liste rouge nationale
 - ou n'étant pas protégées réglementairement
- l'enjeu sera alors automatiquement abaissé d'un niveau.

Exemple pour 2 espèces protégées (floristique et faunistique) :

Astragalus tragacantha (Astragale de Montpellier) :

- a. Protégée par l'article 1 des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire français. Non inscrite à la Directive Habitat : Enjeu **MOYEN**
- b. Classée VU à Liste Rouge de la flore vasculaire de France Métropolitaine. Non classée à la Liste Rouge de la flore vasculaire de Rhône-Alpes : Enjeu **FORT**
- c. Enjeu de conservation global :

FORT

Bufo bufo (Crapaud commun) :

- a. Protégé par l'article 3 des amphibiens et des reptiles protégés sur l'ensemble du territoire français. Non inscrit à l'Annexe IV de la Directive Habitat : Enjeu **MOYEN**
- b. Classé **LC** à Liste Rouge de la flore vasculaire de France Métropolitaine. Classé NT à la Liste Rouge de la flore vasculaire de Rhône-Alpes : Enjeu **FORT**
- c. Enjeu de conservation global :

ASSEZ FORT

Annexe 3 : Chronologie des crues

Scénario 2



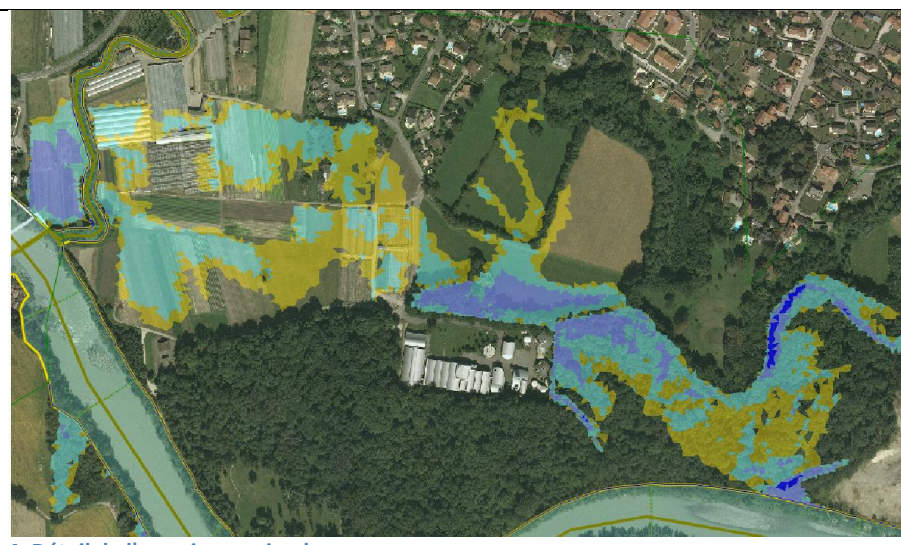
1. Premiers débordements du Foron.



2. Premiers débordements de l'Arve.



3. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent le Foron.

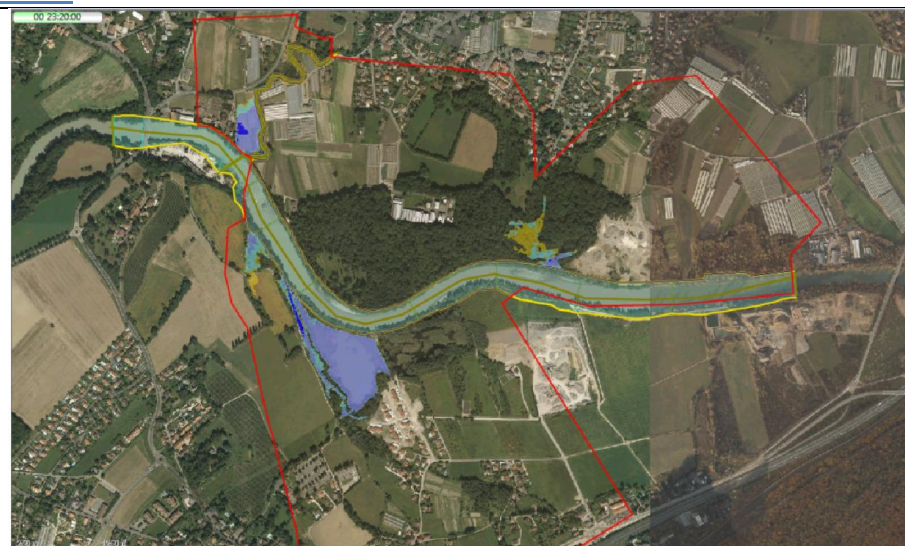


4. Détail de l'emprise maximale.

Scénario 3



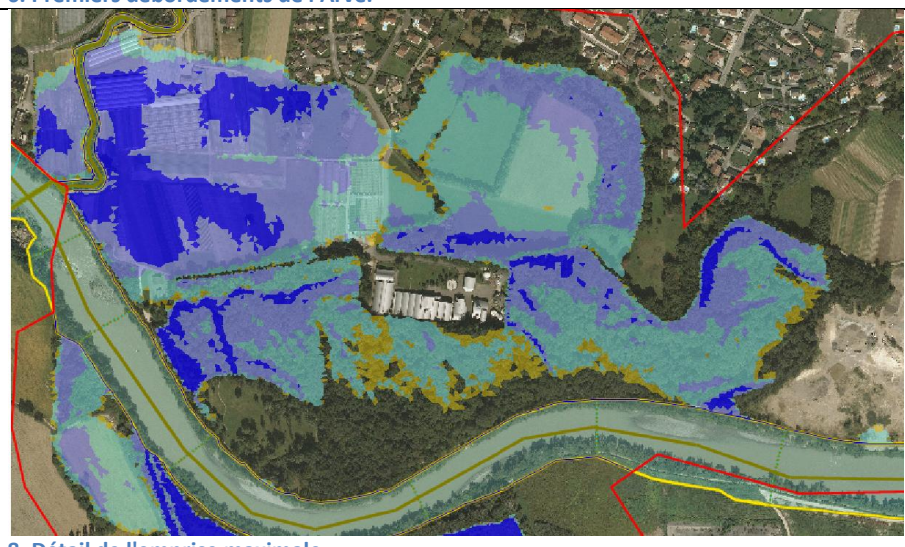
5. Premiers débordements du Foron.



6. Premiers débordements de l'Arve.



7. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent le Foron.



8. Détail de l'emprise maximale.

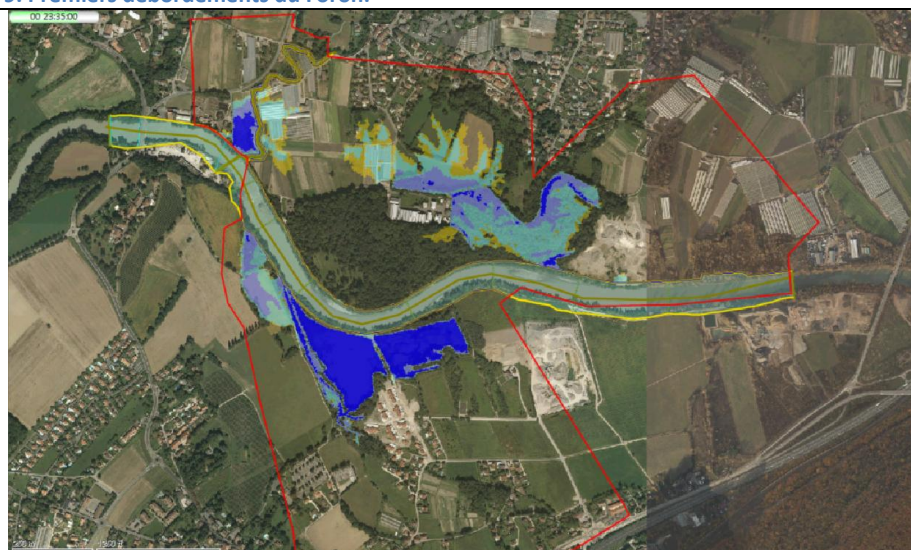
Scénario 4



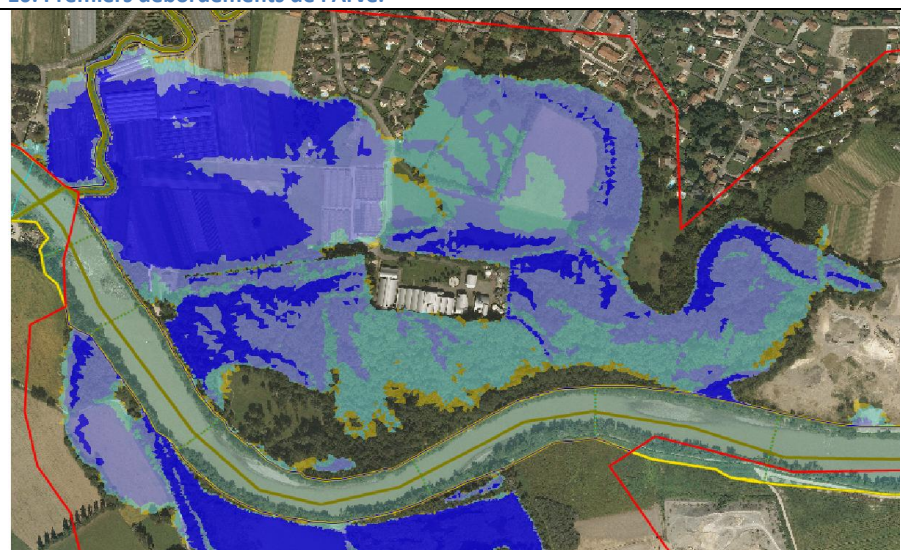
9. Premiers débordements du Foron.



10. Premiers débordements de l'Arve.

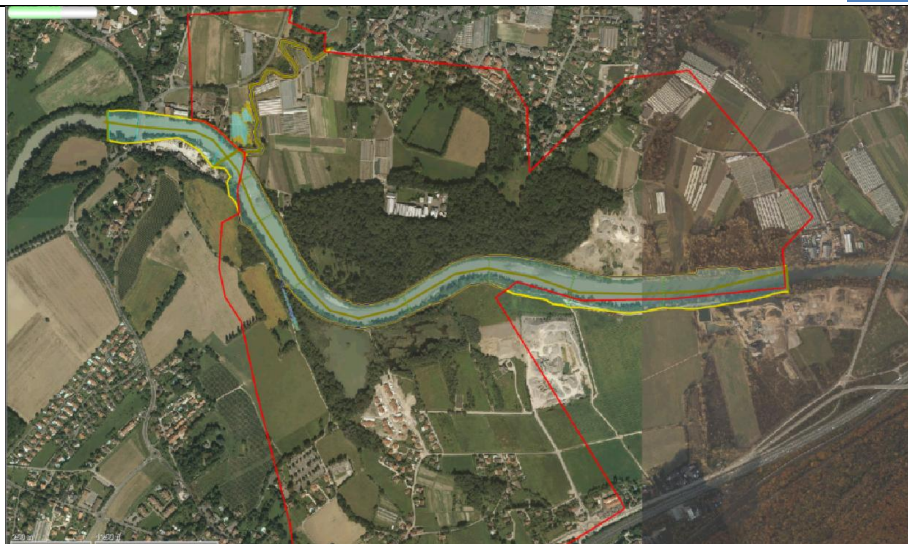


11. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent les débordements du Foron.

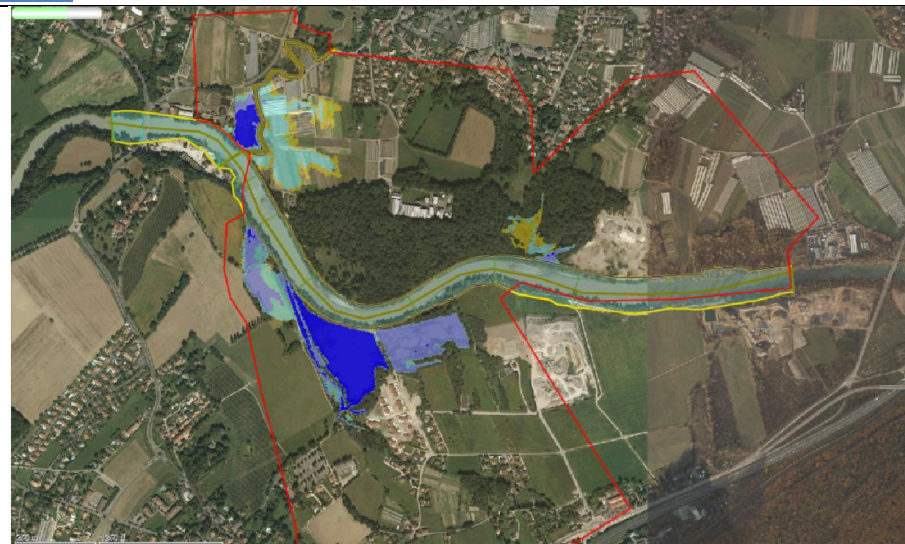


12. Détail de l'emprise maximale.

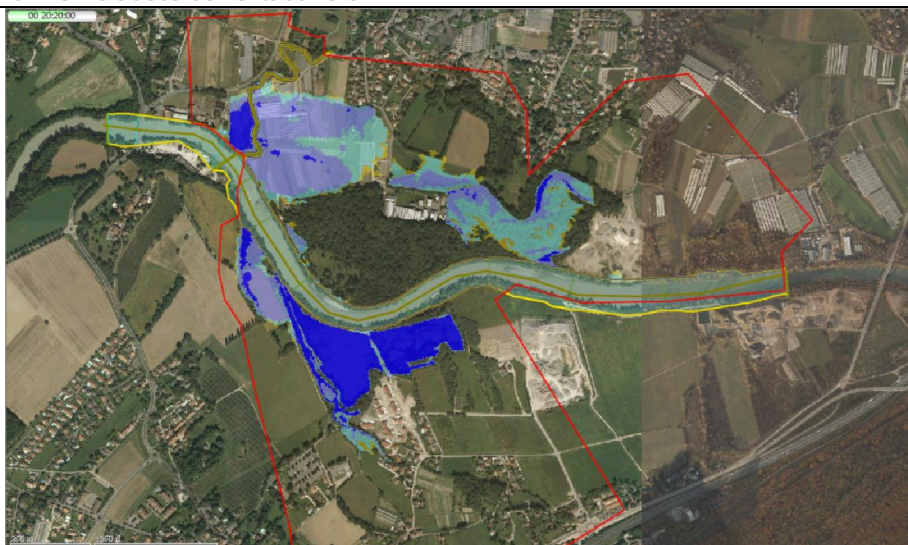
Scénario 5



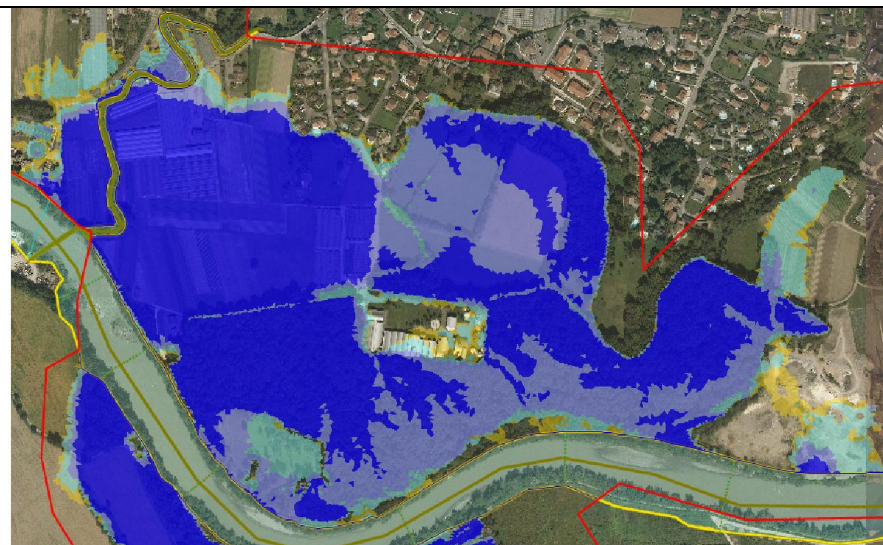
13. Premiers débordements du Foron.



14. Premiers débordements de l'Arve.

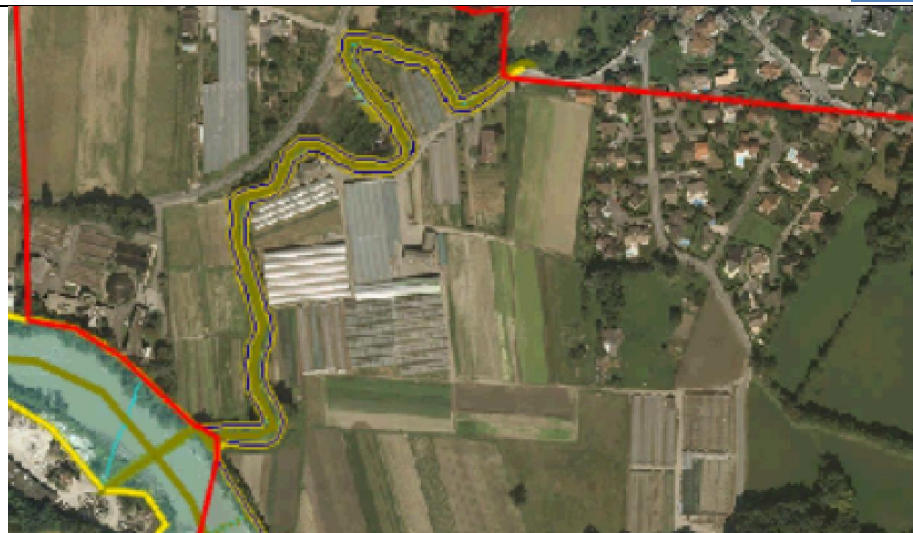


15. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent les débordements du Foron.

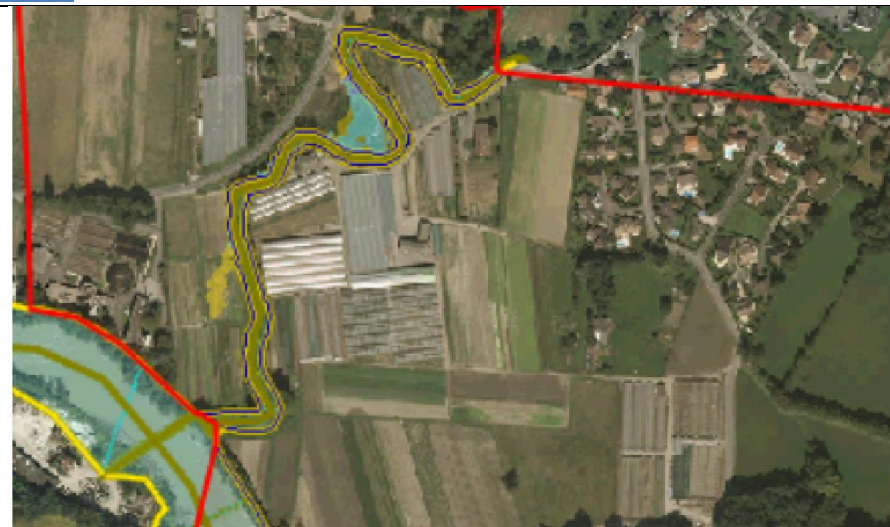


16. Détail de l'emprise maximale.

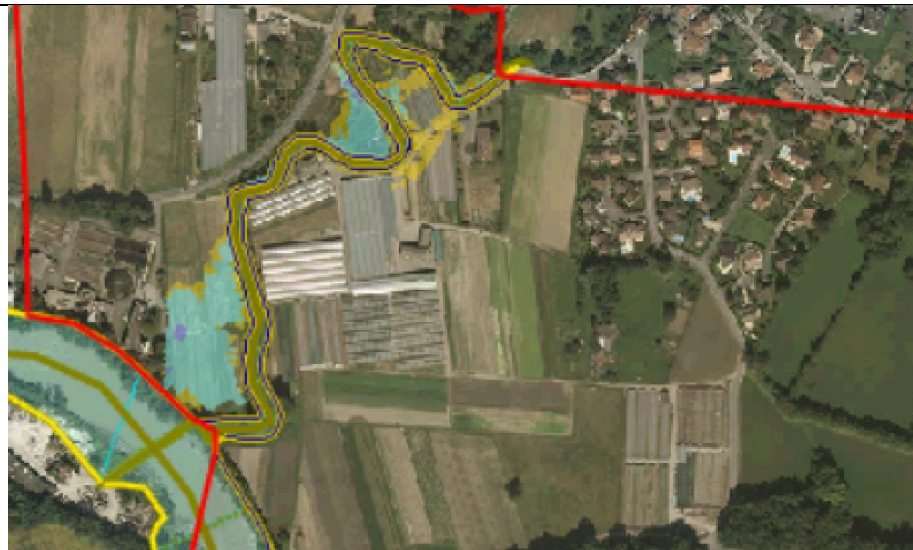
Scénario 6



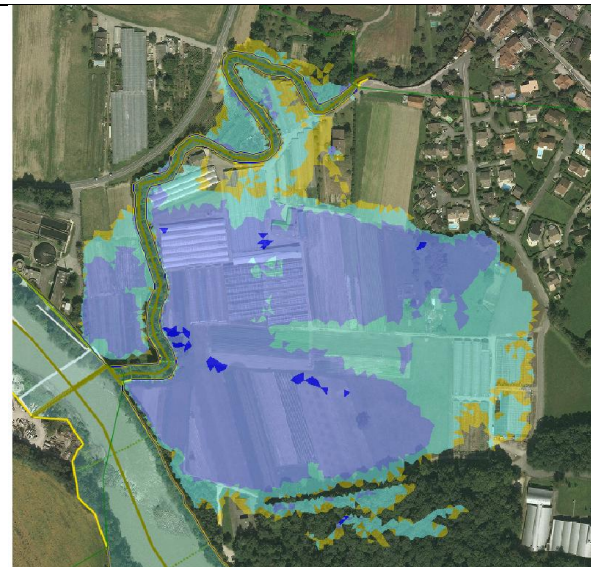
17. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.



18. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.

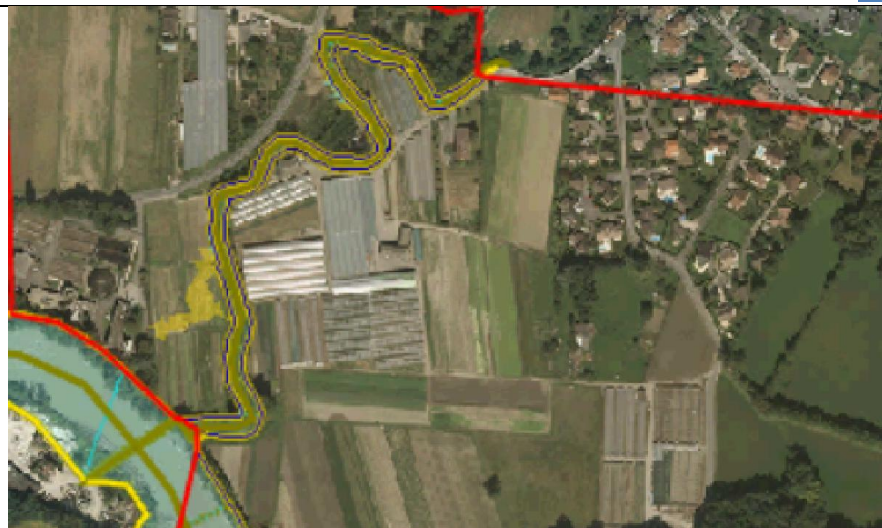


19. Premiers débordements du Foron en rive gauche.



20. Détail de l'emprise maximale.

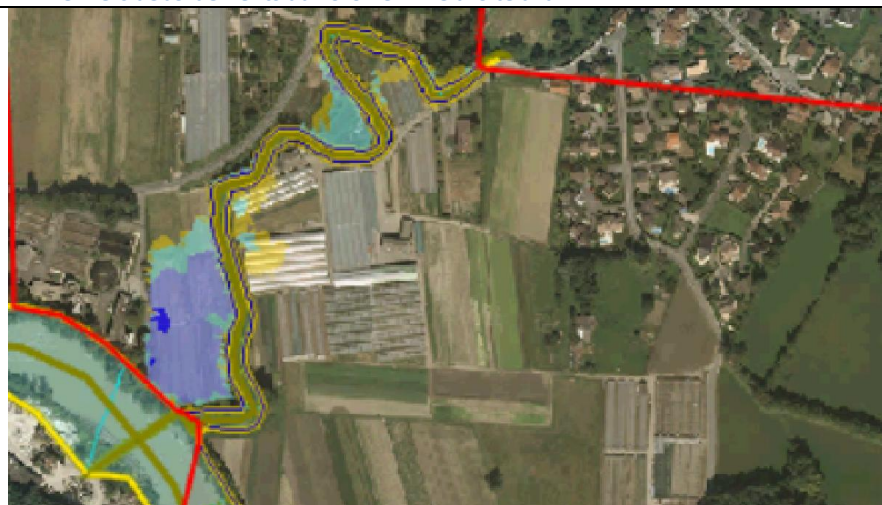
Scénario 7



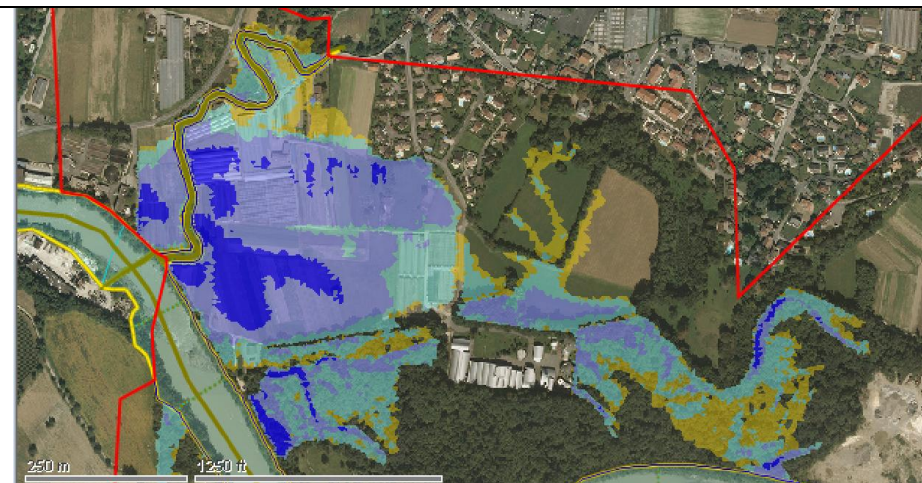
21. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.



22. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.

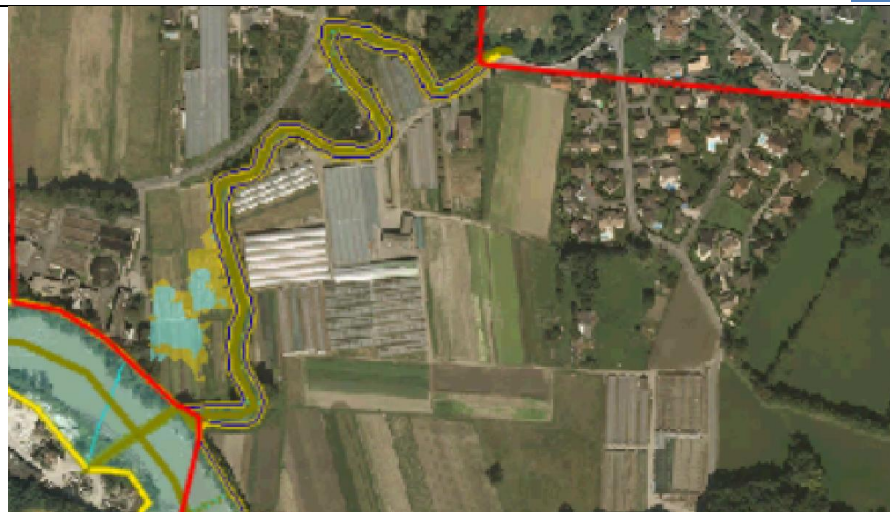


23. Premiers débordements du Foron en rive gauche.

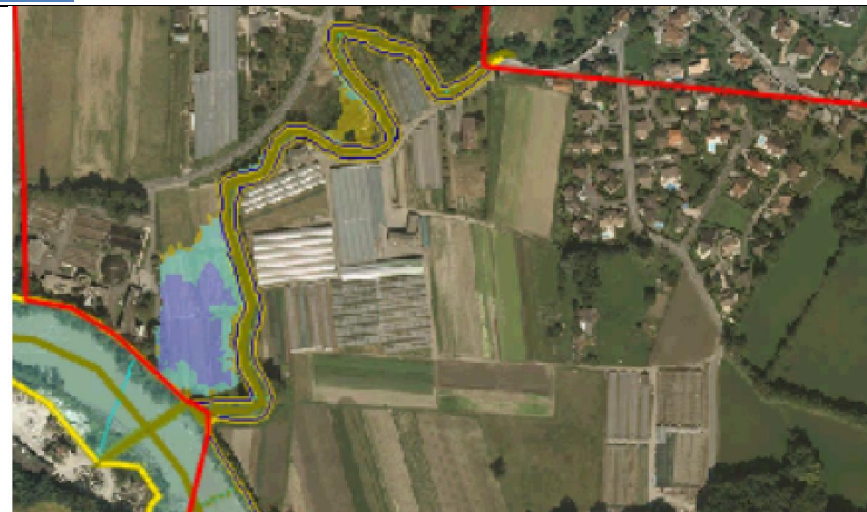


24. Détail de l'emprise maximale.

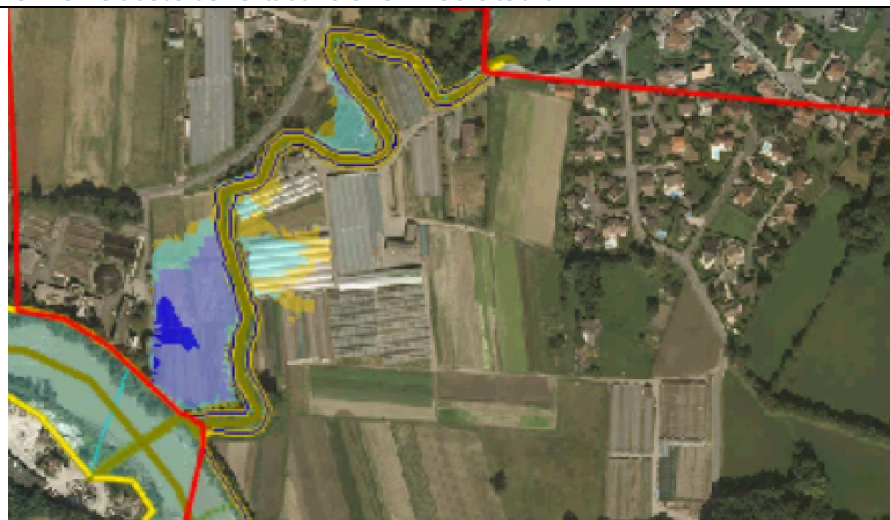
Scénario 8



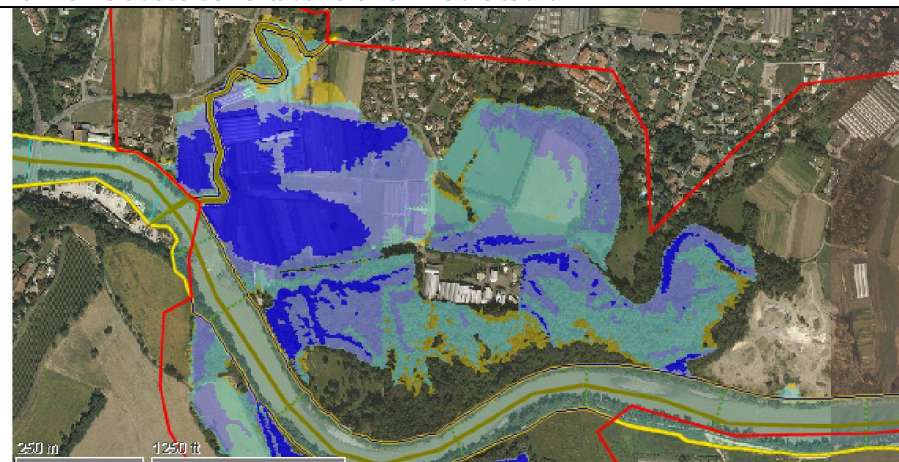
25. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.



26. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.

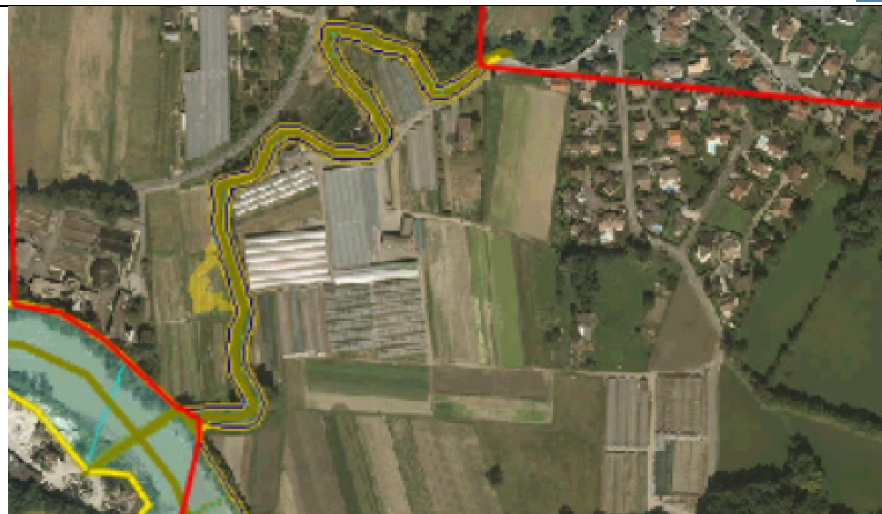


27. Premiers débordements du Foron en rive gauche.

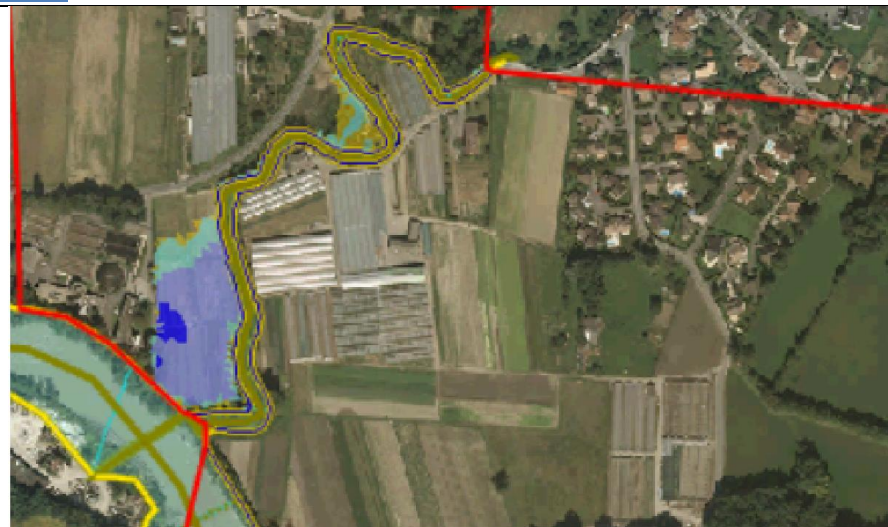


28. Détail de l'emprise maximale.

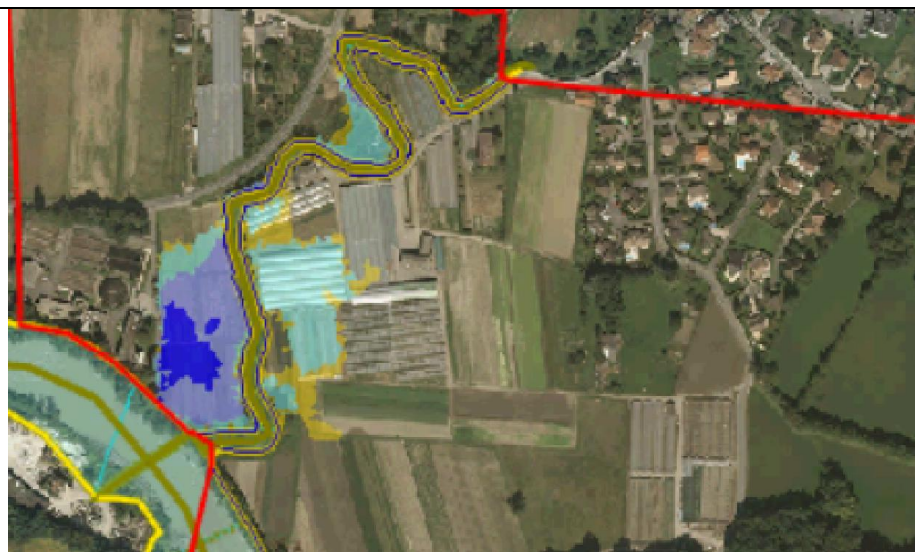
Scénario 9



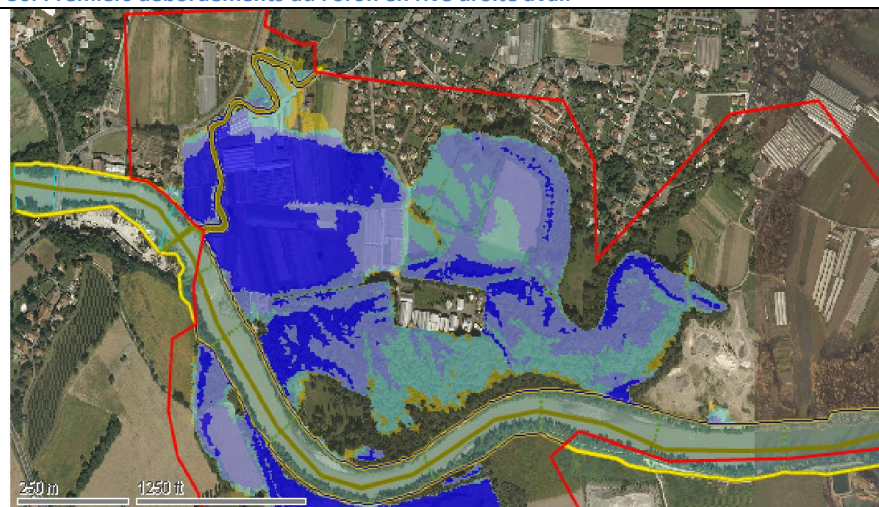
29. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.



30. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.

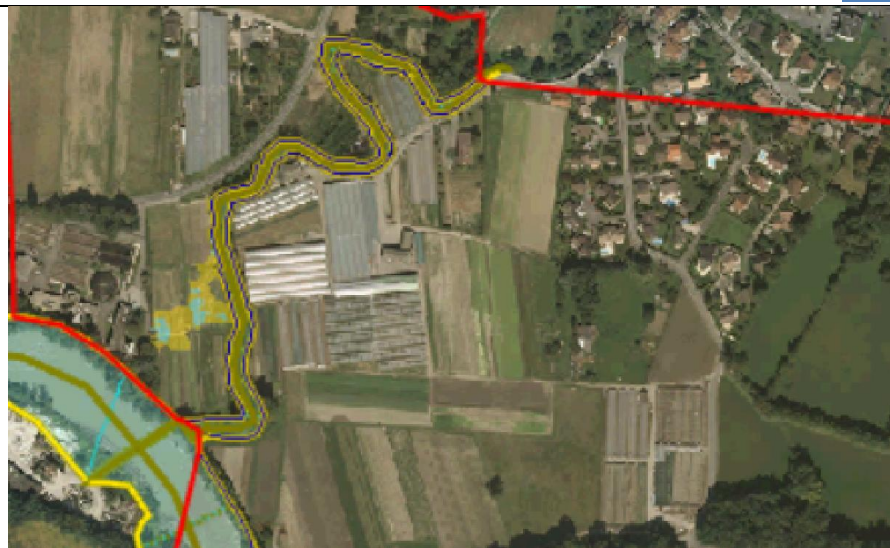


31. Premiers débordements du Foron en rive gauche.



32. Détail de l'emprise maximale.

Scénario 10



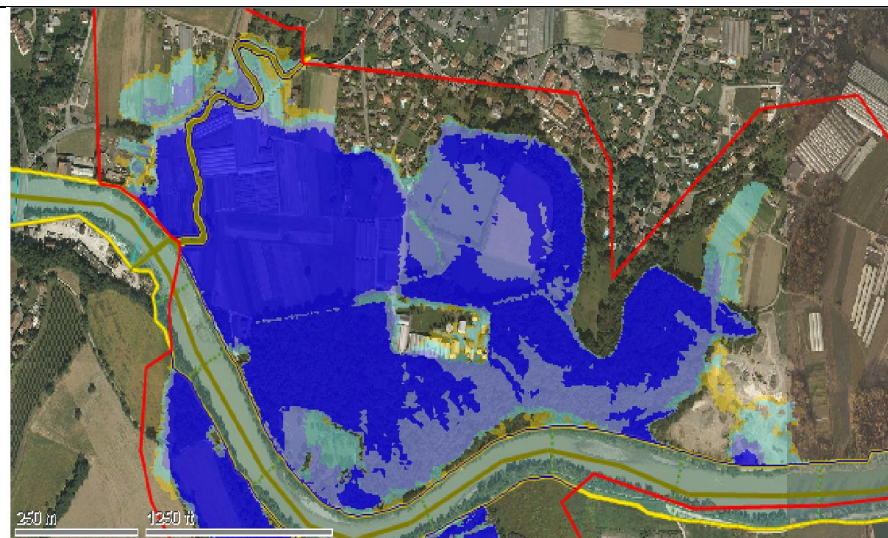
33. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.



34. Premiers débordements du Foron en rive gauche.

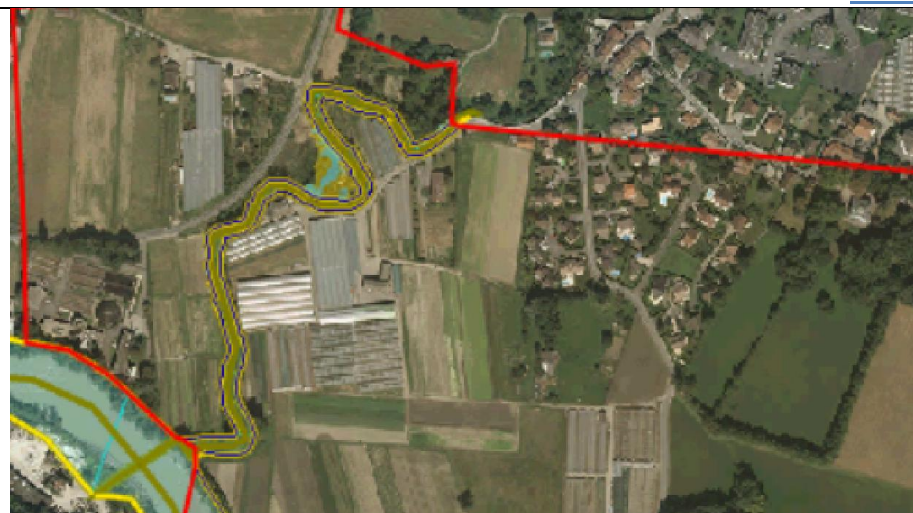


35. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.



36. Détail de l'emprise maximale.

Scénario 16



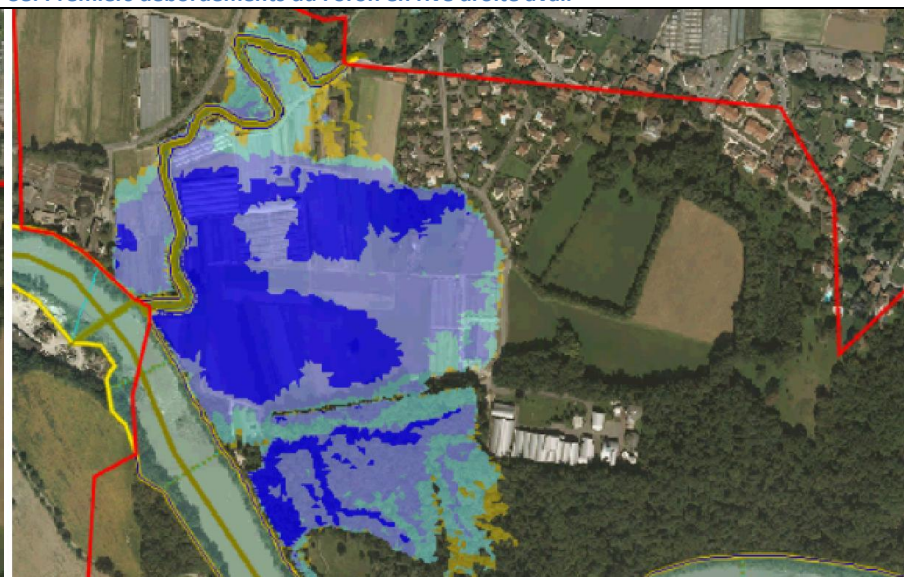
37. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.



38. Premiers débordements du Foron en rive droite aval.

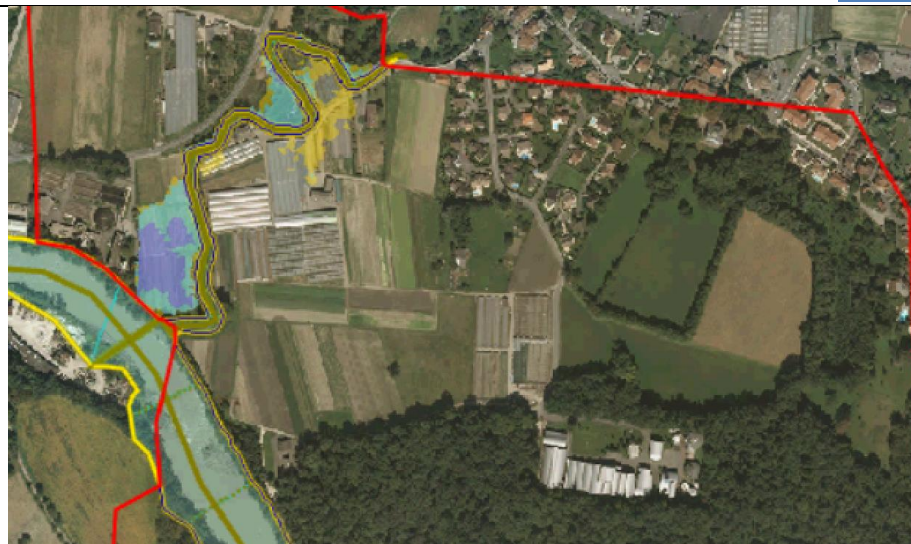


39. Premiers débordements du Foron en rive droite gauche.

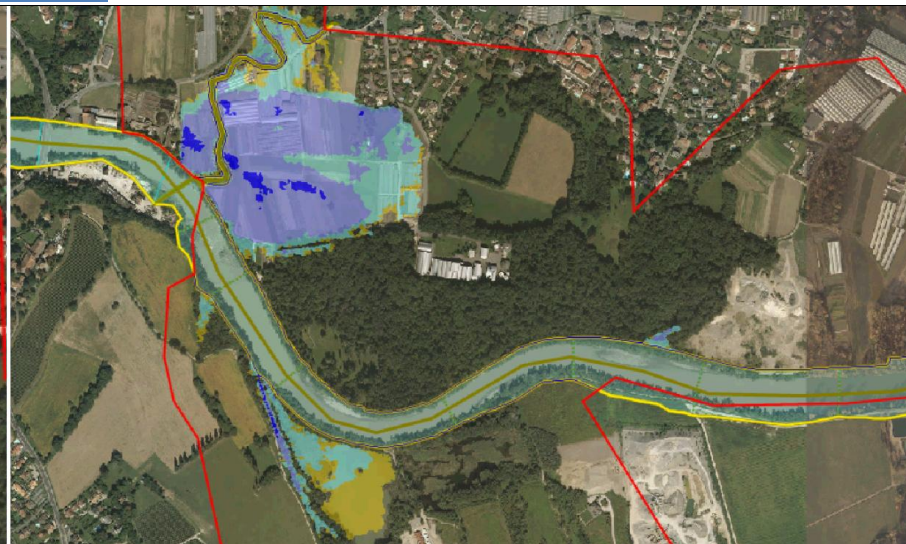


40. Détail de l'emprise maximale.

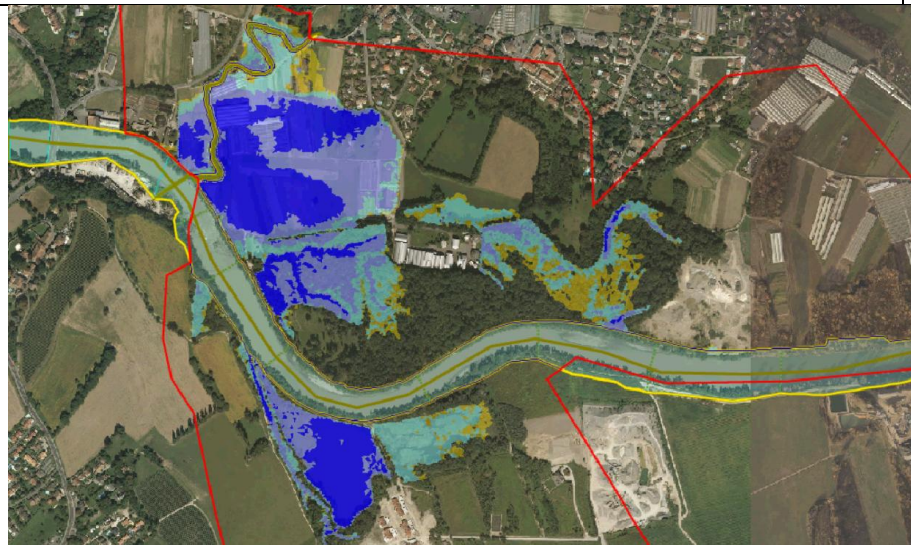
Scénario 17



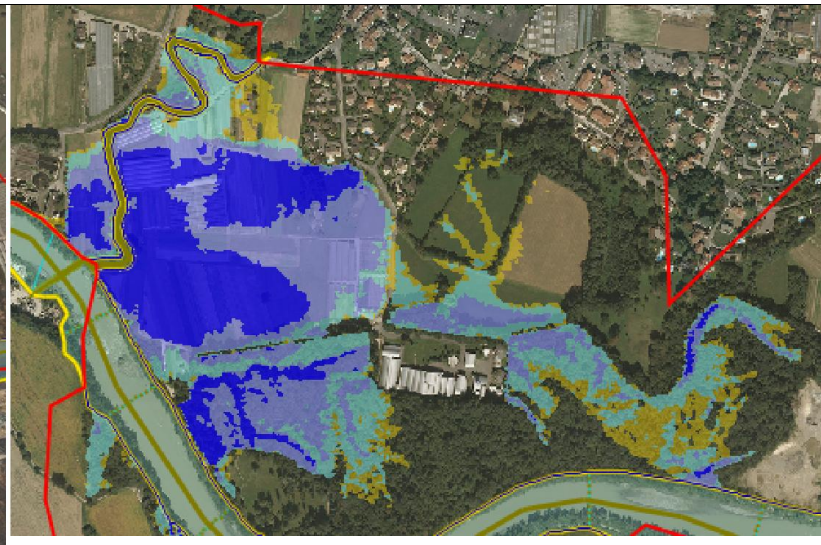
41. Premiers débordements du Foron.



42. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.

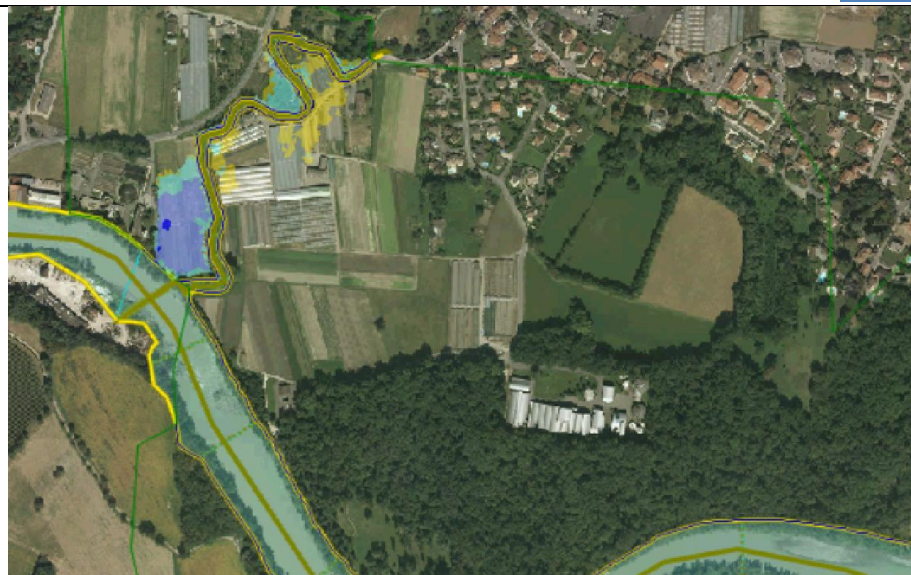


43. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.

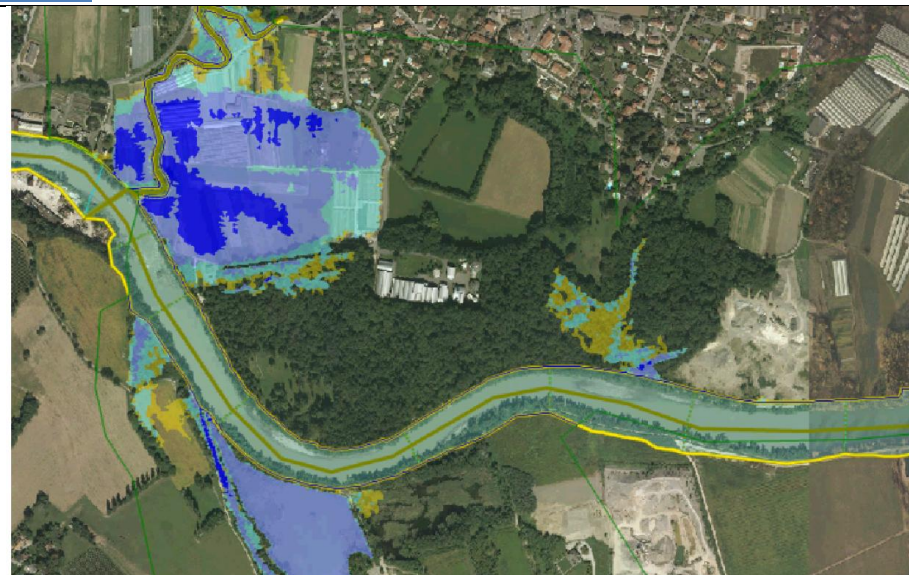


44. Détail de l'emprise maximale.

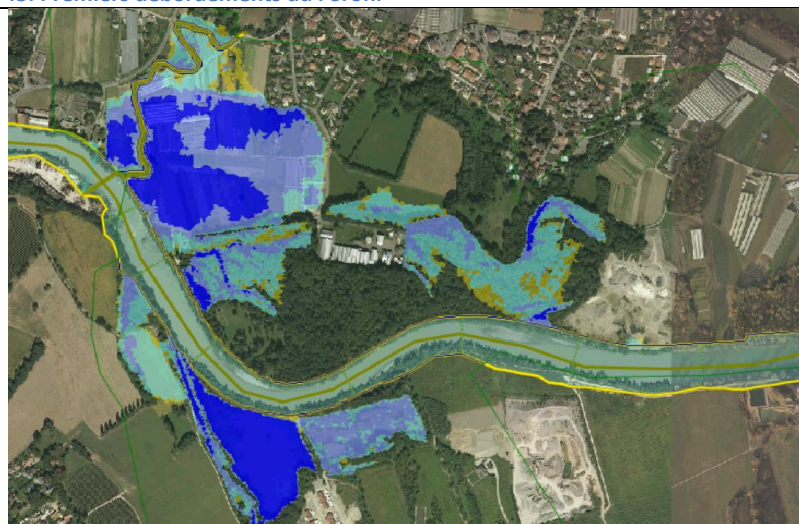
Scénario 18



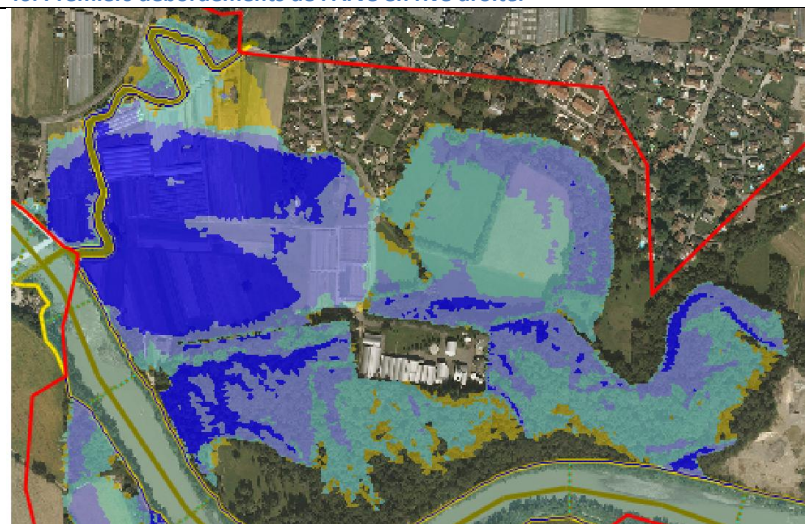
45. Premiers débordements du Foron.



46. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.

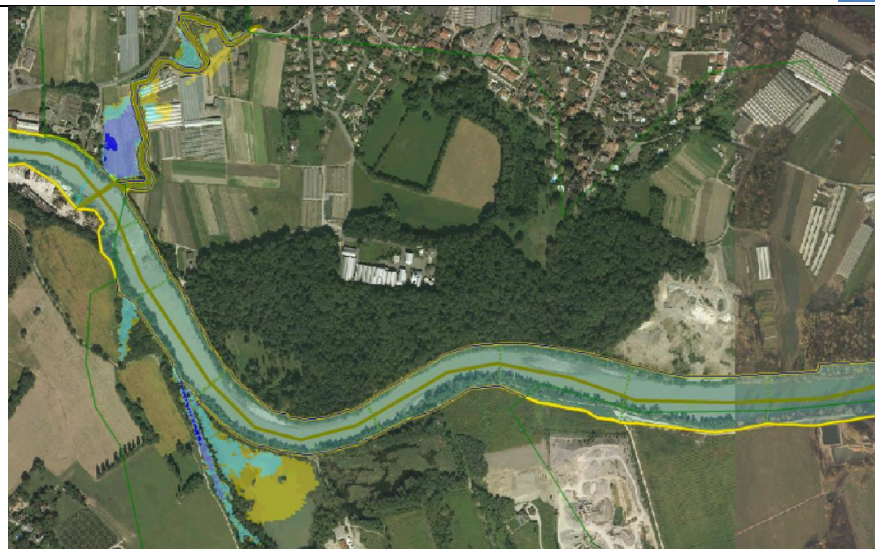


47. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.



48. Détail de l'emprise maximale.

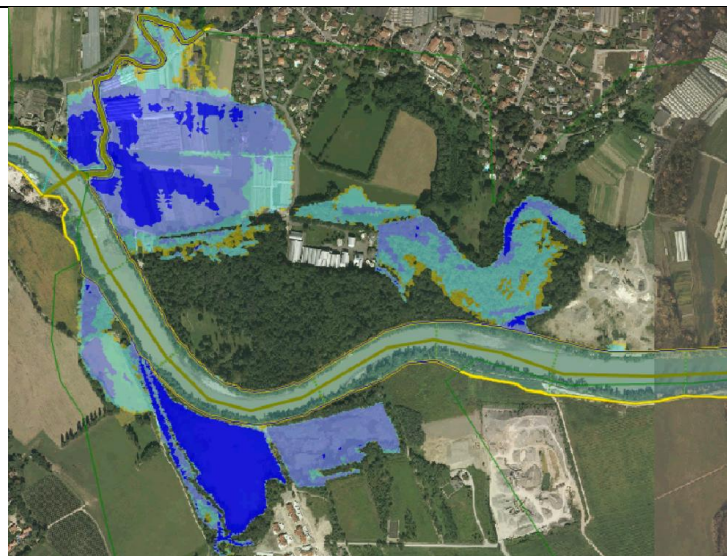
Scénario 19



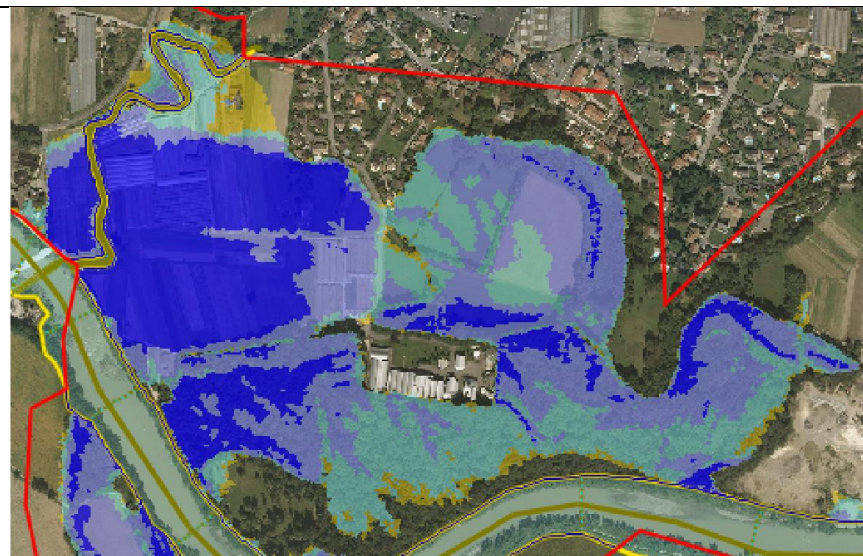
49. Premiers débordements du Foron.



50. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.

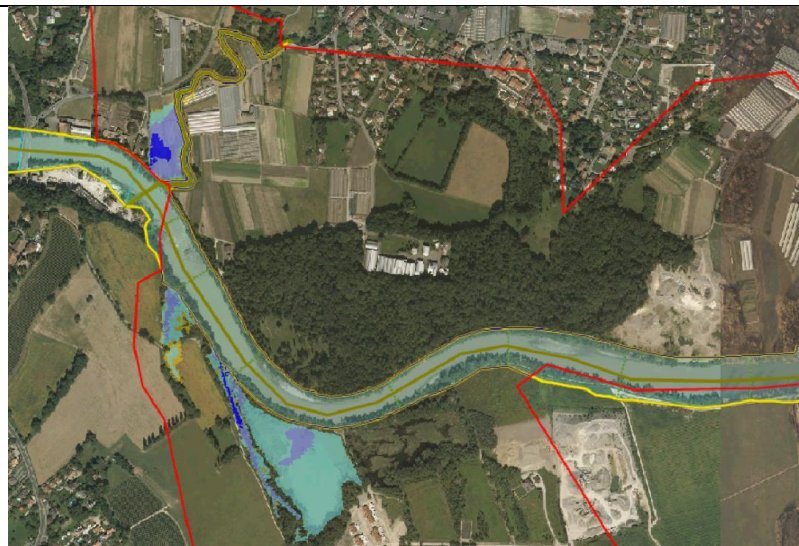


51. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.

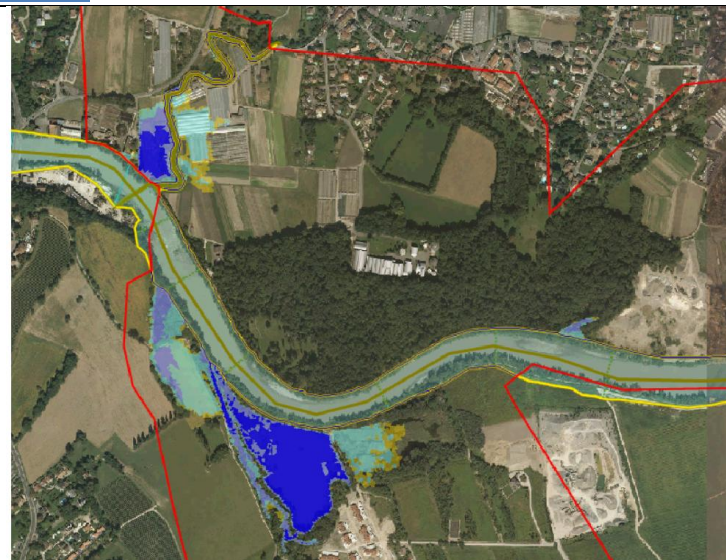


52. Détail de l'emprise maximale.

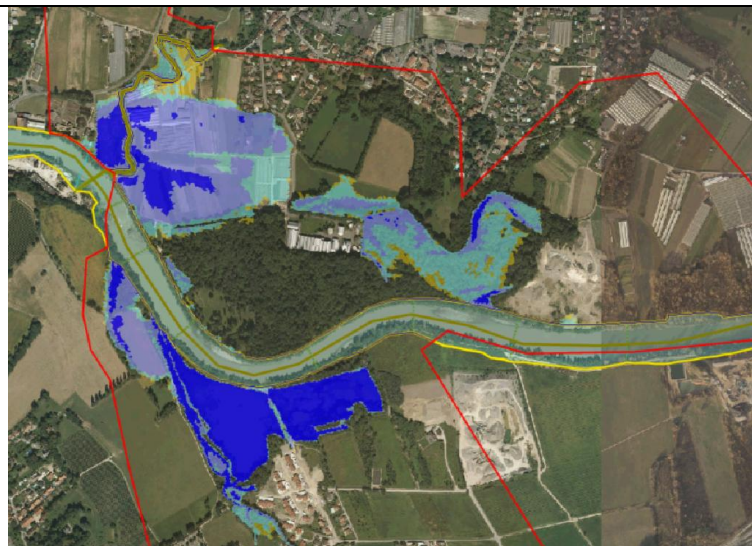
Scénario 20



53. Premiers débordements du Foron.



54. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.



55. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.



56. Détail de l'emprise maximale.

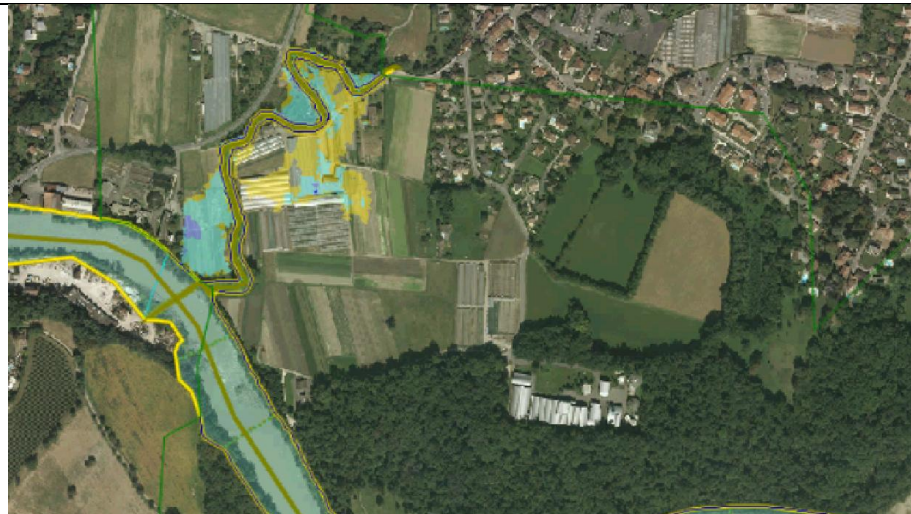
Scénario 21



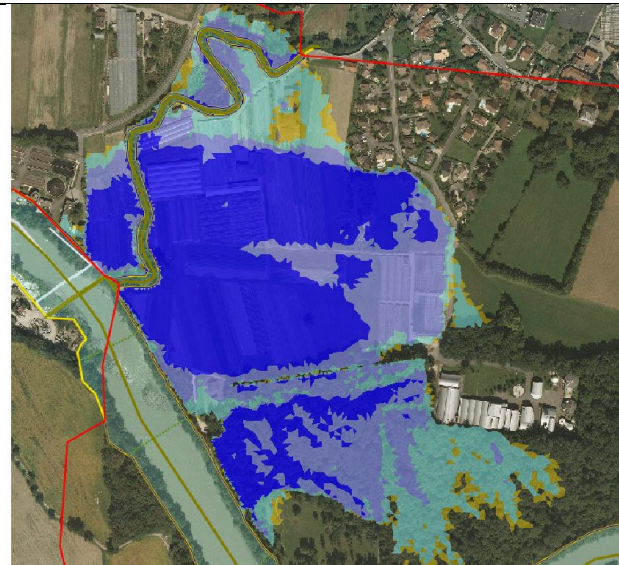
57. Premiers débordements du Foron en rive droite amont.



58. Premiers débordements du Foron en rive droite aval et en rive gauche amont.



59. Premiers débordements du Foron en rive gauche aval.

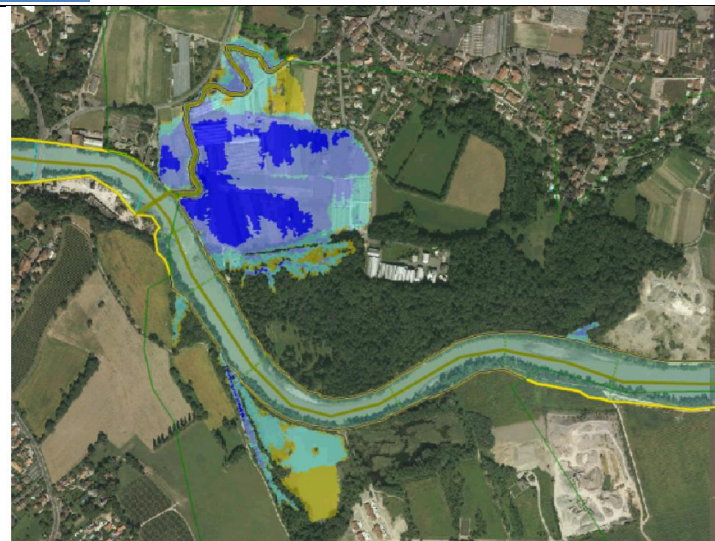


60. Détail de l'emprise maximale.

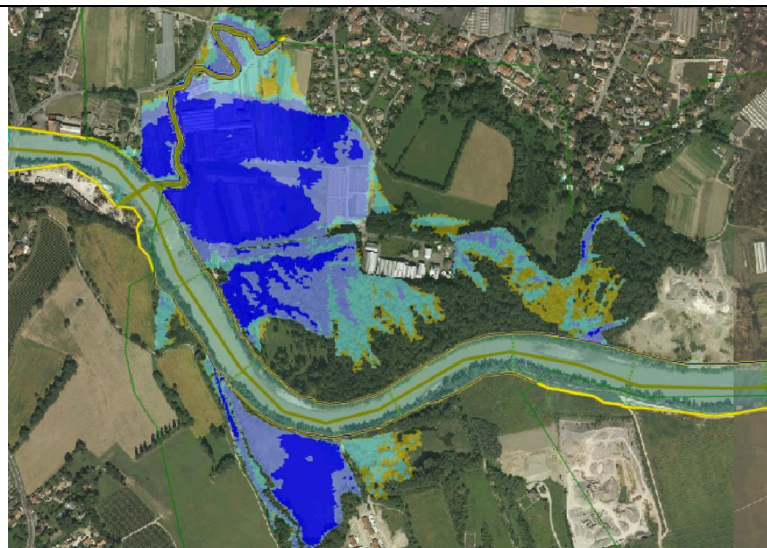
Scénario 22



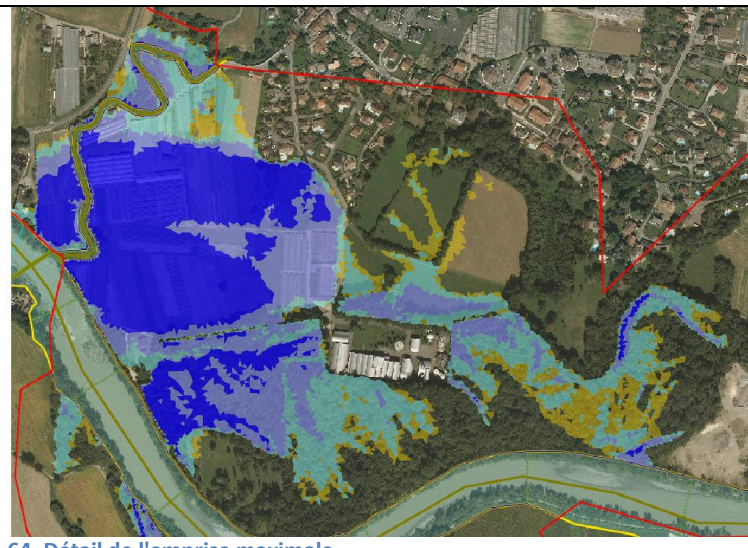
61. Premiers débordements du Foron.



62. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.

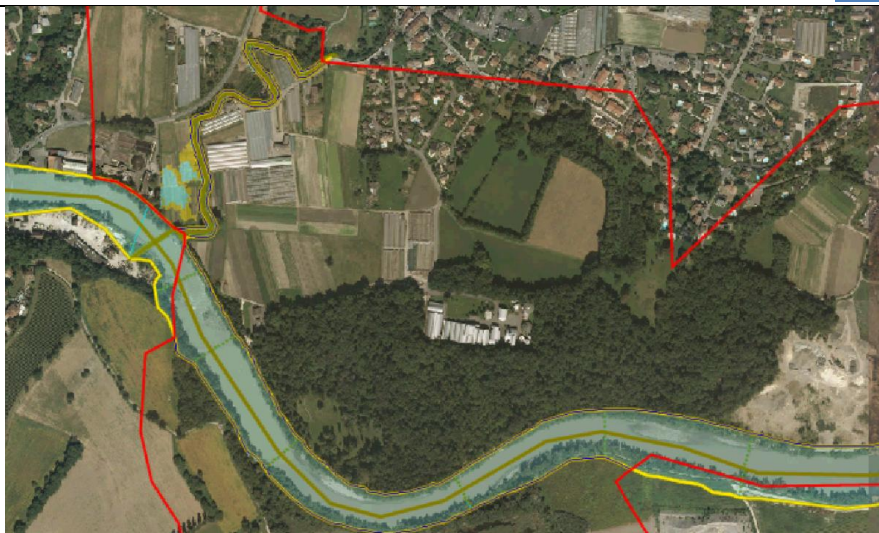


63. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.

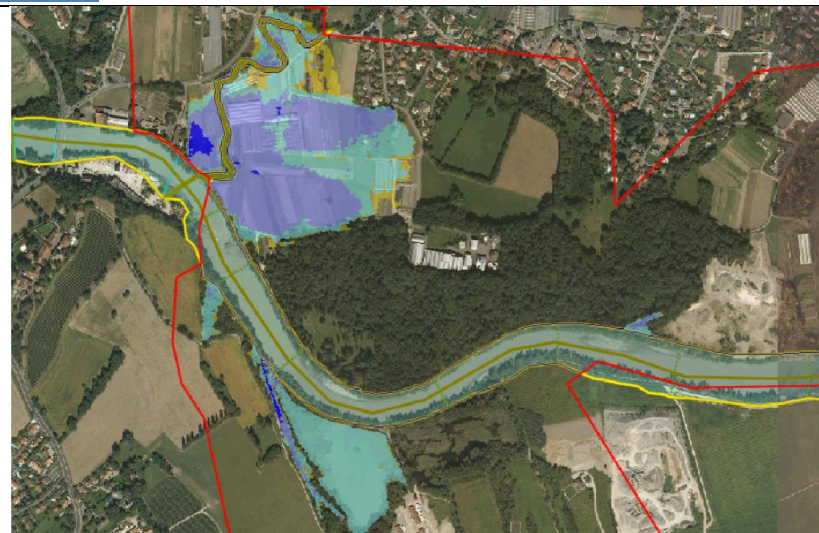


64. Détail de l'emprise maximale.

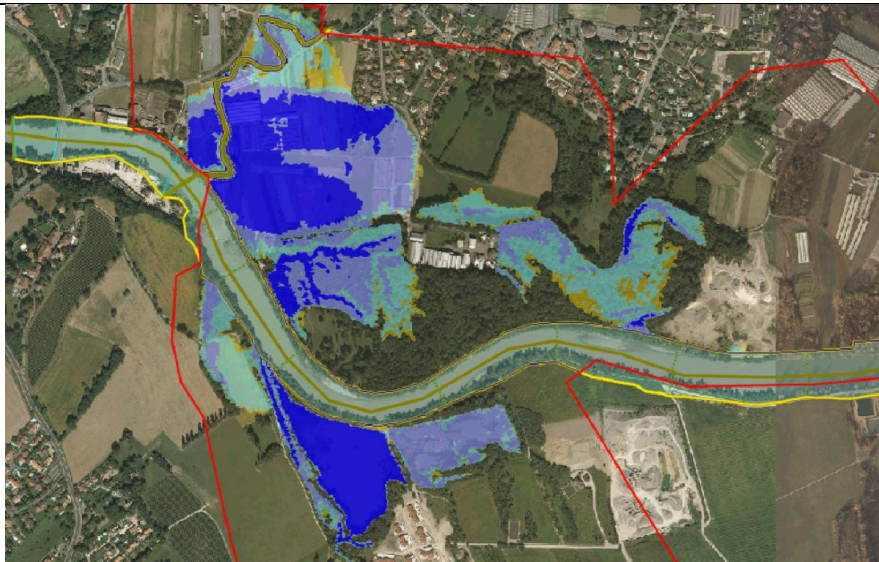
Scénario 23



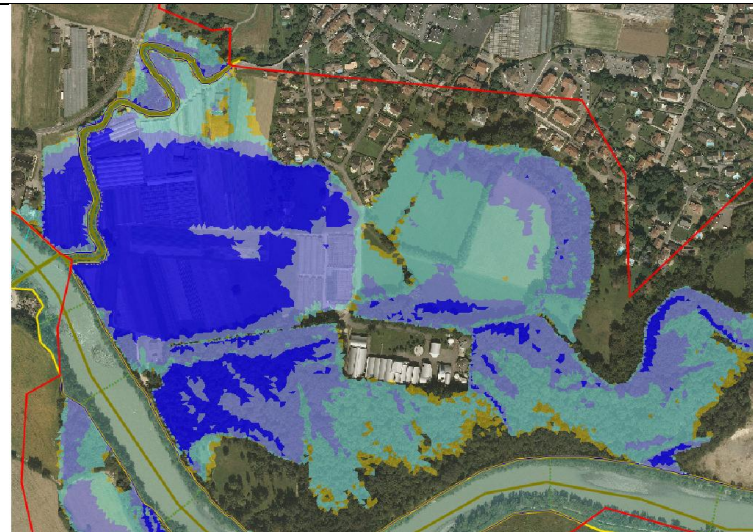
65. Premiers débordements du Foron.



66. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.

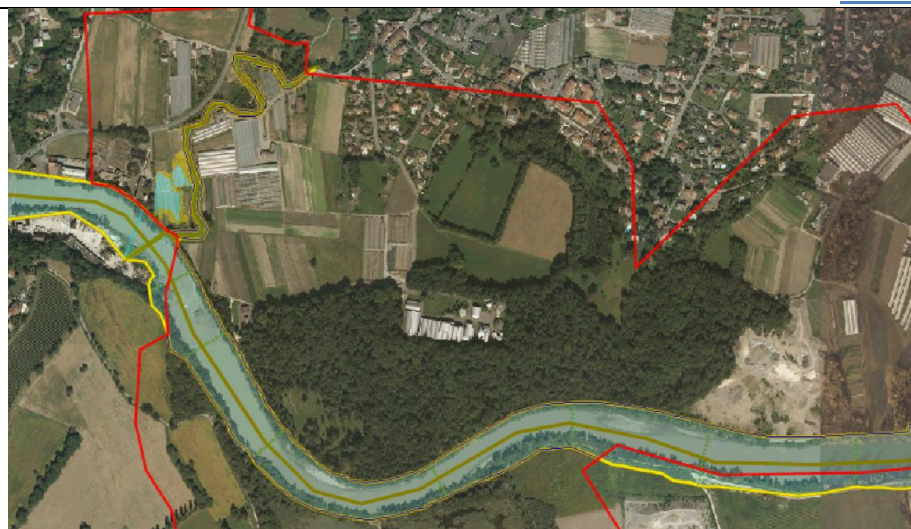


67. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.

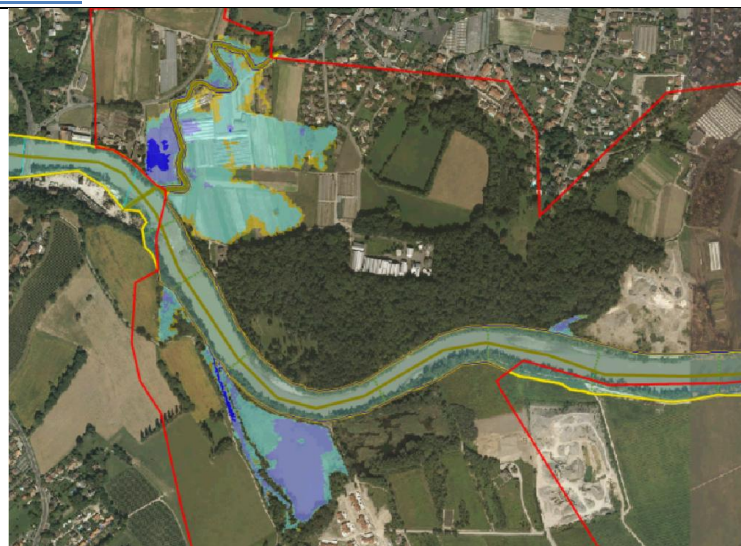


68. Détail de l'emprise maximale.

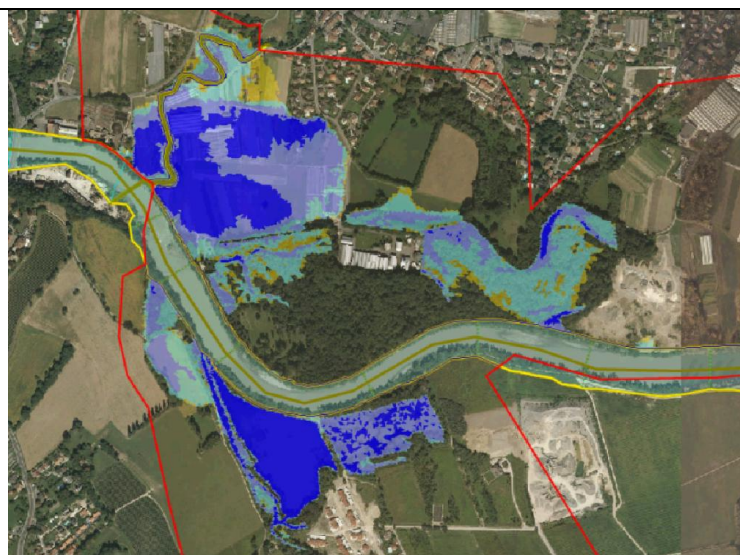
Scénario 24



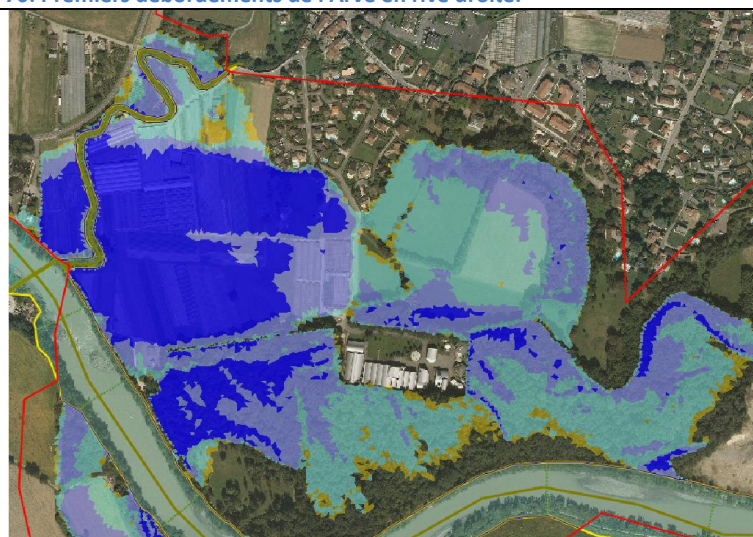
69. Premiers débordements du Foron.



70. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.



71. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.



72. Détail de l'emprise maximale.

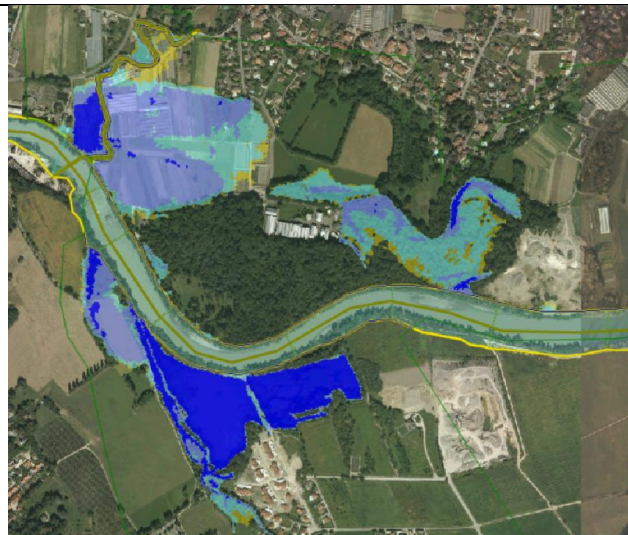
Scénario 25



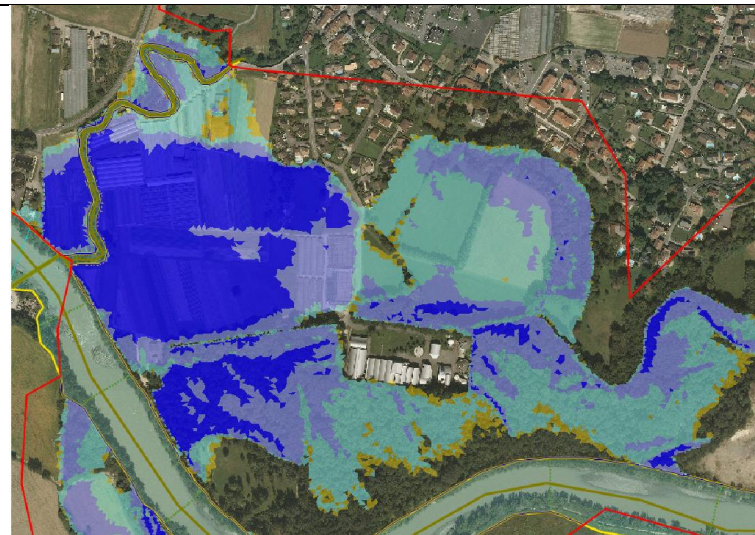
73. Premiers débordements du Foron.



74. Premiers débordements de l'Arve en rive droite.



75. Juste avant que les débordements de l'Arve rejoignent ceux du Foron.




76. Détail de l'emprise maximale.

Annexe 4 : Diagnostic géotechnique

S.I.F.O.R.

Diagnostic géotechnique des berges du FORON
dans le cadre d'une restauration du FORON entre le pont de sous
ville et sa confluence avec l'ARVES
Commune de GAILLARD (74)

Gières, septembre 2016 - RP.7230

		SOCIETE ALPINE DE GEOTECHNIQUE 2, rue de la Condamine – B.P. 17 - 38610 GIERES ☎ 04.76.44.75.72 📠 04.76.44.20.18			
Rév.	Date	Commentaires	Etabli par	Vérfié par	Approuvé par
00	22.09.16	Etablissement du document	P.MANDAROUX	F.BLANCHET	F.BLANCHET

SOMMAIRE

1 -	OBJET DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE	1
1.1.	<i>Objet</i>	<i>1</i>
1.2.	<i>Méthodologie.....</i>	<i>1</i>
1.3.	<i>Moyens humains</i>	<i>2</i>
2 -	DONNEES DISPONIBLES	3
2.1.	<i>Données disponibles</i>	<i>3</i>
2.1.1.	<i>Données topographiques.....</i>	<i>3</i>
2.1.2.	<i>Données cartographiques.....</i>	<i>3</i>
2.1.3.	<i>Etudes existantes</i>	<i>3</i>
2.2.	<i>PPR concernant les risques d'inondation</i>	<i>3</i>
2.3.	<i>Données concernant l'expertise de la rupture de digue de 2015.....</i>	<i>4</i>
3 -	PRESENTATION GENERALE DU SITE ETUDIE	5
3.1.	<i>Description générale du site</i>	<i>5</i>
3.2.	<i>Decoupage des différents secteurs</i>	<i>6</i>
3.3.	<i>Réseaux rencontrés</i>	<i>7</i>
4 -	OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	8
4.1.	<i>Observations de terrain rive gauche - Secteur 1 - pk 0 à 250 m.....</i>	<i>8</i>
4.1.1.	<i>Observations de terrain – secteur 1</i>	<i>8</i>
4.1.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 1.....</i>	<i>8</i>
4.2.	<i>Observations de terrain rive gauche - Secteur 2-1 - pk 250 à 355 m.....</i>	<i>10</i>
4.2.1.	<i>Observations de terrain – secteur 2-1</i>	<i>10</i>
4.2.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 2-1</i>	<i>10</i>
4.3.	<i>Observations de terrain rive gauche - Secteur 2-2 - pk 355 à 470 m.....</i>	<i>12</i>
4.3.1.	<i>Observations de terrain – secteur 2-2.....</i>	<i>12</i>
4.3.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 2-2</i>	<i>13</i>
4.4.	<i>Observations de terrain rive gauche - Secteur 3 - pk 470 à 650 m.....</i>	<i>15</i>
4.4.1.	<i>Observations de terrain – secteur 3</i>	<i>15</i>
4.4.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 3.....</i>	<i>15</i>
4.5.	<i>Observations de terrain rive gauche - Secteur 4 - pk 650 à 735 m.....</i>	<i>16</i>
4.5.1.	<i>Observations de terrain – secteur 4</i>	<i>16</i>
4.5.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 4.....</i>	<i>17</i>
4.6.	<i>Observations de terrain rive droite – Secteurs 11 et 12 - pk 0 à 250 m</i>	<i>18</i>
4.6.1.	<i>Observations de terrain – secteurs 11 et 12.....</i>	<i>18</i>
4.6.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteurs 11 et 12</i>	<i>19</i>
4.7.	<i>Observations de terrain rive droite - Secteur 10 - pk 250 à 355 m</i>	<i>20</i>
4.7.1.	<i>Observations de terrain – secteur 10</i>	<i>20</i>
4.7.2.	<i>Désordres observés et photographies – secteur 10.....</i>	<i>20</i>
4.8.	<i>Observations de terrain rive droite - Secteur 8 - pk 355 à 540 m</i>	<i>21</i>
4.8.1.	<i>Observations de terrain – secteur 8</i>	<i>21</i>

4.8.2. Désordres observés et photographies – secteur 8.....	22
4.9. Observations de terrain rive droite - Secteur 7 - pk 540 à 580 m	23
4.9.1. Observations de terrain – secteur 7	23
4.9.2. Désordres observés et photographies – secteur 7.....	24
4.10. Observations de terrain rive droite - Secteur 6 - pk 580 à 650 m	24
4.10.1. Observations de terrain – secteur 6	24
4.10.2. Désordres observés et photographies – secteur 6.....	25
4.11. Observations de terrain rive droite - Secteur 5 - pk 650 à 735 m	25
4.11.1. Observations de terrain – secteur 5	25
4.10.2. Désordres observés et photographies – secteur 5.....	26
5 - DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE	27
5.1. Diagnostic géotechnique.....	27
5.2. Suite à donner	29

■ ■ ■

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1 :** Plan de situation général du site étudié
- FIGURE 2 :** Photographie aérienne avec report des observations de terrain réalisées au droit de la rive gauche du *Foron*, au 1/500
- FIGURE 3 :** Photographie aérienne avec report des observations de terrain réalisées au droit de la rive droite du *Foron*, au 1/500

...

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 :** Classification des missions types selon l'Union Syndicale Géotechnique.

...

1 - OBJET DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE

1.1. Objet

Cette étude est réalisée à la demande et pour le compte du **S.I.F.O.R.** dans le cadre de l'étude de la restauration du « *Foron* » entre le pont de « *Sous Ville* » et sa confluence avec « *l'Arves* ».

Elle concerne le diagnostic géotechnique des digues et berges du « *Foron* », depuis sa confluence avec « *l'Arves* » et sur environ 750 m en amont (*jusqu'au pont de « Sous Ville »*).

Le diagnostic géotechnique a été réalisé :

- sur l'ensemble de la rive gauche (*côté Français*),
- sur l'ensemble de la rive droite (*côté Suisse*).

Il comporte :

- la synthèse des observations de terrain réalisées lors de notre visite sur site du 07/07/2016,
- la prise en compte de l'historique du site et notamment de la crue du printemps 2015 et l'étude géotechnique de rupture d'une section de la digue du « *Foron* »,
- le diagnostic géotechnique des ouvrages (*digues et berges*) sur l'ensemble du linéaire d'étude,
- la proposition d'un découpage du linéaire étudié par secteur en fonction du diagnostic et des contraintes du site,
- la définition des suites à donner en matière de confortements possibles en fonction des différents secteurs.

Il s'agit d'une mission de type **G0 + G5** selon la classification de l'Union Syndicale Géotechnique (*cf. tableau de synthèse des missions d'ingénierie géotechnique en annexe 1*).

La particularité de ce secteur est la présence de la confluence de « *l'Arves* » impliquant différents cas de crue notamment :

- une crue unique du « *Foron* » : montée des eaux uniquement au sein du lit du « *Foron* »,
- une crue de « *l'Arves* » : inondation des terrains agricoles, déversement de ces eaux au sein du lit mineur du « *Foron* » et remontée des eaux de l'Arves au sein du « *Foron* »,
- une crue au sein du « *Foron* » et de « *l'Arves* » : inondation de la plaine agricole et remontées des eaux de l'Arves en partie aval du lit mineur du « *Foron* » empêchant l'évacuation des eaux de ce dernier.

1.2. Méthodologie

Un diagnostic visuel complet des rives droite et gauche a été réalisé. Il a consisté à parcourir intégralement le linéaire de digue en répertoriant toutes les informations visuelles principalement :

- les caractéristiques morphologiques externes de l'ouvrage et la présence ou non d'ouvrage de confortement existant,
- les désordres ou les présomptions de désordres affectant l'ouvrage.

Nos observations de terrains sont synthétisées sur les figures 2 et 3 fournies en annexe. Ces plans présentent principalement :

- la structure de la digue : type de berges, présence d'ouvrage de confortement, présence de digue et/ou muret en tête des berges,...,
- les désordres,
- les réseaux et/ou autres ouvrages particuliers traversant l'ouvrage.

Nota vis-à-vis du repérage et des observations de terrain :

La végétation dense lors de notre visite sur site (*été 2016*) amène les remarques suivantes :

- les observations de certains secteurs n'étaient pas réalisables localement (*rampant et éventuelle digue en terre difficilement visible*),
- la précision du repérage à la roue de mesure est limitée par la présence importante de végétation sur le site (*repérage GPS impossible également à cause de la végétation*).

Le repérage indiqué sur les figures 2 et 3 a pour point d'origine la confluence avec « l'Arves ».

De plus, au vu des observations de terrain et après validation par le S.I.F.O.R. et le bureau d'études HYDRETUDES, il a été décidé de réaliser les investigations géotechniques lors de la phase AVP en fonction des orientations de confortement choisies par les différents maîtres d'ouvrage.

1.3. Moyens humains

L'équipe de terrain a été constituée de 2 personnes :

- Pierre MANDAROUX, SAGE, ingénieur géotechnicien, 6 ans d'expérience ;
- Amandine LAMBERT, SAGE, ingénieur géotechnicien, 9 ans d'expérience.

Sur site, le binôme a parcouru à pied l'ensemble des berges et digues en cheminant parallèlement et simultanément en crête et pied de talus.

Des photos systématiques ont été prises sur les désordres observés et les têtes de réseaux traversant l'ouvrage.

L'inspection des digues a été effectuée le 07 juillet 2016 (*il est rappelé que la période optimale pour réaliser des observations sur digues et l'hiver afin d'avoir le moins de végétation possible*).

Ce diagnostic géotechnique complète l'analyse et le diagnostic morphologique réalisés par le bureau HYDRETUDES.

2 - DONNEES DISPONIBLES

2.1. Données disponibles

2.1.1. Données topographiques

Il n'existe pas de plan topographique de la zone d'étude.

Un levé géomètre a toutefois été réalisé courant l'été 2016 comprenant :

- 29 profils en travers répartis sur l'ensemble du site,
- 1 profil en long en fond de lit mineur du « Foron ».

Il est à noter que la topographie du site est relativement hétérogène étant donné :

- les pentes des berges variables même sur de faible distance (*ravinement, affouillement,...*),
- les aménagements réalisés au fur et à mesure des années sur le site,
- la dégradation des ouvrages de soutènement.

2.1.2. Données cartographiques

Les données utilisées sont :

- l'IGN 1/25 000^e,
- carte géologique,
- les cartes issues du PPR.

Une photographie aérienne avec report du profil en long du lit mineur du « Foron » a été fournie par le bureau d'étude HYDRETUDES.

2.1.3. Etudes existantes

Les études antérieures portées à notre connaissance sont les suivantes :

- Expertise de la rupture de digue gauche du Foron à gaillard – Confortement de l'ouvrage : Etude HYDRETUDES / SAGE – juillet 2015,
- Expertise relative à la renaturation de la confluence entre « l'Arves » et le « Foron » : Etude BIOTEC – décembre 2007,
- Carte des aléas et concept de protection contre les crues – Foron Berges françaises – Rapport final : Etude B + C INGENIEURS SA - juin 2008,
- Présentation de la réunion confluence du 27 novembre 2014.

2.2. PPR concernant les risques d'inondation

La zone concernée par l'étude (*rive gauche côté Français*) est répertoriée comme une zone à risque fort d'inondation.

2.3. Données concernant l'expertise de la rupture de digue de 2015

La crue recensée sur « l'Arves » et sur le « Foron » courant mai 2015 a créé une rupture de la digue sur 11 ml en rive gauche du « Foron » (à environ 150 m en amont de la confluence).

Cette étude concernait le projet de reconstruction de la digue dans ce secteur. Elle avait mis en évidence les éléments géotechniques suivants :

- la rupture de digue a été engendrée par le niveau d'eau de l'Arves (*probablement gradient hydraulique plaine vers « Foron »*),
- des érosions de pied et latérale par le Foron en pied de talus de berge,
- un niveau de nappe potentiellement affleurant en crue,

Le contexte géologique général est marqué par la présence d'alluvions récentes (*de l'Arves et/ou du Foron*).

Les sondages à la pelle réalisés sur le site avaient mis en évidence la lithologie suivante en pied de digue côté terre :

- des limons argileux marron sur 0,60 / 0,80 m d'épaisseur en surface,
- des sables légèrement limoneux et graveleux sur des épaisseurs de 0,50 / 0,60 m,
- des alluvions (*graves et galets sableux légèrement limoneux*) plus en profondeur.

Le niveau de nappe a été observé entre -1,10 et -1,60 m/T.N. le 15/06/2015. Au vu de la proximité de « l'Arves » et du « Foron » la nappe est très probablement influencée par ces 2 cours d'eau.

Une reprise complète de la digue a été réalisée en matériaux d'apport et avec la mise en place d'enrochements et d'un sabot côté « Foron ».

3 - PRESENTATION GENERALE DU SITE ETUDIE

3.1. Description générale du site

Un plan de situation générale est fourni en figure 1. Une vue aérienne avec repères métriques est présenté en **figures 2 et 3**. Le découpage des différents secteurs est également visible sur ces figures.

De manière générale, le site étudié a un linéaire de l'ordre de 730 m et s'étend du pont de « *Sous ville* » à la confluence du « *Foron* » avec « *l'Arves* ».

De l'amont vers l'aval, le « *Foron* » est caractérisé par :

- le pont de « *Sous Ville* » en extrémité amont du site,
- 2 courbes marquées entre les Pk 260 et 730. Des confortements sont visibles rives droite et gauche principalement en extrado des courbes afin de limiter l'effet de l'érosion dans ces secteurs,
- un tracé relativement rectiligne entre les pk 80 et 260. La rupture de digue observée en 2015 se trouve sur ce linéaire,
- une courbe marquée entre les pk 40 et 80 avant la confluence avec « *l'Arves* » (pk 0).

On distingue sur l'ensemble du linéaire :

- un lit du « *Foron* » encaissé et des berges présentant des pentes élevées et de nombreux désordres,
- des rehausses en tête de berges réalisées soit par des digues en terre de faibles hauteurs (*inférieures à 2 m*) soit par des murets en béton ou pierres maçonnées. Les digues sont étroites et leurs topographies sont souvent irrégulières.
- une forte végétation au droit des berges.

Les enjeux au droit est à proximité du site étudié sont :

- des champs agricoles et bâtiments agricoles,
- des habitations en extrémité amont du site,
- une STEP proche des berges de « *l'Arves* » en rive droite du « *Foron* »,
- 2 routes également en rive droite,
- différents réseaux (*en particulier un réseau d'assainissement en rive gauche du « Foron » proche de la confluence*).

3.2. Decoupage des différents secteurs

En fonction des observations de terrains et des enjeux / contraintes à proximité des berges, le site a été découpé en différents secteurs qui sont présentés dans le tableau ci dessous (les numéros des secteurs sont également calqués sur ceux définis lors de la réunion du COPIL du 15/09/2011 pour plus de clarté) :

Découpage des secteurs en rive gauche

Rive	Nom du secteur	Repères métriques	Longueur en mètre du secteur	particularités
gauche	Secteur 1	0 - 250	250	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre surmonté d'une digue - Champs agricoles et serres en amont
	Secteur 2-1	250 - 355	105	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre surmonté d'une digue - Serres et bâtiments agricoles en amont
	Secteur 2-2	355 - 470	115	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées en majorité d'énrochements libres et rehaussées par une digue en terre (Pk 370 – 405) ou par un muret (Pk 355-370 et pk 405 – 470) - Routes et bâtiments agricoles en amont, - Berges en extérieur de courbe
	Secteur 3	470 - 650	180	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre surmontées d'une digue - Serres et champs en amont
	Secteur 4	650 - 735	85	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées en majorité d'énrochements libres et rehaussées par une digue en terre (Pk 650 – 670) ou par un muret (Pk 670-735) - Routes et une habitation en amont, - Berges en extérieur de courbe - Pont (pk 735)

Découpage des secteurs en rive droite

Rive	Nom du secteur	Repères métriques	Longueur en mètre du secteur	particularités
droite	Secteurs 11 et 12	0 - 250	250	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre surmontées d'une digue - Champs agricoles et STEP en amont
	Secteur 10	250 - 355	105	<ul style="list-style-type: none"> - Pk 265 à 320 et Pk 340 à 355 Berges composées de talus en terre surmontées d'une digue. - Pk 250 à 265 et Pk 320 à 340 berges confortées par des enrochements ou des gabions - Route présente en amont - Berges en extérieur de courbe
	Secteurs 8 et 9	355 - 540	185	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre surmontées d'une digue - Serres, dépôts et champs agricoles en amont
	Secteur 7	540 - 580	40	<ul style="list-style-type: none"> - berges confortées par des enrochements et des gabions, - Route présente en amont, - Berge en extérieur de courbe
	Secteur 6	580 - 650	70	<ul style="list-style-type: none"> - Berges composées de talus en terre (<i>Pk 580 à 615</i>) - Berges confortées par des enrochements (<i>pk 615 à 650</i>) - Route présente en amont,
	Secteur 5	650 - 735	85	<ul style="list-style-type: none"> - Pk 650 à 710 et Pk 340 à 355 Berges composées de talus en terre surmontées d'une digue. - Pk 710 à 735 Berges confortées par des enrochements ou mur en pierres maçonnées - Pont (pk 735)

3.3. Réseaux rencontrés

Des réseaux ont été rencontrés ponctuellement. Les observations de terrain ont permis de détecter principalement des rejets de quelques conduites d'eaux pluviales ou parfois de probables eaux usées abandonnées. Leurs implantations sont présentées au sein des figures 2 et 3.

Ces rejets de conduites ne sont pas équipés de clapets. On note toutefois que le réseau visible au sein du secteur 1 (*pk 75 m rive gauche*) est caractérisé par la présence d'une vanne manuelle.

4 - OBSERVATIONS DE TERRAIN

Le présent chapitre décrit secteur par secteur :

- les observations de terrain,
- la description des éventuels ouvrages existants,
- les éventuels désordres observés sur le linéaire du secteur.

RIVE GAUCHE

4.1. Observations de terrain rive gauche - Secteur 1 - pk 0 à 250 m

4.1.1. Observations de terrain – secteur 1

Le secteur 1 concerne la rive gauche du pk0 (*confluence avec « l'Arves »*) au pk 250. Des champs agricoles et des serres sont présents dans ce secteur.

Il est marqué par un tracé relativement rectiligne hormis entre les pk 40 à 70 où une courbe relativement marquée est visible. On note également une légère courbe entre les pk 130 et 160 dans le secteur où la digue a rompu en 2015.

De manière générale, ce secteur est caractérisé par des **talus côté rivière de hauteurs comprises entre 2,50 et 4 m avec des pentes moyennes relativement élevées (> 30 / 40°)** et présentant **d'importants signes de ravinement et d'érosion en pied de talus (pentes > 50 / 60° voir subverticales)**. Ces talus sont fortement végétalisés (*nombreux arbres*). **Ils sont en limite de stabilité.**

La berge est surmontée par **une petite digue en terre de hauteur comprise entre 0,50 et 2,50 m** environ. La crête de digue est étroite et dépasse rarement 1 m. La topographie (*pente et altitude de la crête*) est très variable sur l'ensemble du linéaire. **La présence de point bas est très probable. La digue est également fortement revégétalisée.**

2 confortements anciens comprenant 2 à 3 niveaux d'enrochements libres sont visibles entre les pk 40 - 70 et pk 140 - 160. Ces niveaux de blocs ont été mis en place en extérieur de virages afin de limiter l'érosion des berges.

Une reprise complète de la digue a été réalisée entre les pk 125 et 140 suite à la rupture de 2015. Des enrochements libres ont été mis en œuvre sur environ 2 m de hauteur en pied d'ouvrage côté rivière.

4.1.2. Désordres observés et photographies – secteur 1

Talus côté rivière :

- Pk 0 à 255 : Pied de talus des berges, côté rivière, fortement érodé sur des hauteurs de 1 à 2 m. **Désordres généralisés sur l'ensemble du linéaire.** Le pied de talus présente de forte pente supérieure à 50 / 60°, voire parfois subverticale. Des racines des arbres sont mises à nu et font offices de « *soutènement* » des terres. Forte revégétalisation des berges.
- Pk 185 – 195 : **Ravinement important du talus.**



Photographie 1 (gauche) : ravinement pk 185 – 195 / Photographie 2 (droite) : érosion du pied de talus côté rivière

Ouvrages :

- Pk 40 – 70 et pk 140 - 160 : enrochements libres (*anciens*) de 2 / 3 niveaux de blocs, en pied de talus, en extrado de virage du « *Foron* ». **Ces enrochements sont déstructurés et localement déchaussés et affouillés.**



Photographie 3 (gauche) : enrochements déstructurés pk 160 / Photographie 4 (droite) : enrochements déstructurés, déchaussement de blocs et dégradation suite à la colonisation d'arbres pk50

Digue et talus côté terre :

- Pk 0 à 255 : digue étroite et ne semblant pas respecter les règles de l'art (*merlon de terre probablement mis en œuvre de manière plus ou moins soigné*). Topographie variable (*pente et altitude*) de la digue. Possible présence de points bas (*observations difficiles lors de la visite étant donné la forte revégétalisation du site*).



Photographie 5 : digue et talus côté terre pk110 à 150

4.2. Observations de terrain rive gauche - Secteur 2-1 - pk 250 à 355 m

4.2.1. Observations de terrain – secteur 2-1

Le secteur 2-1 concerne la rive gauche du pk250 au pk355. Des serres et un bâtiment agricole sont présents à proximité de la tête de talus du « Foron ».

La rivière est marquée par une succession de courbes.

De manière générale, ce secteur est caractérisé par des **talus côté rivière de hauteur comprise entre 2 et 3 m avec des pentes moyennes relativement élevées (> 30 / 40°)**. 1 à 2 niveaux de blocs ont été mis en œuvre en pied de talus afin de limiter l'érosion en pied de talus.

La végétation dense (*arbres et ronces*) a rendu les observations difficiles dans ce secteur (*accès talus rivière impossible entre les pk 250 et 300*).

La berge est surmontée par **une petite digue en terre de hauteur comprise entre 0,50 et 1 m** environ. Elle est principalement visible entre les pk 290 et 320.

Les aménagements réalisés (*serres et bâtiments agricoles*) semblent avoir été remblayés jusqu'au niveau de la crête de digue, entre les pk 280 à 290 et les pk 320 à 355.

La crête de digue est étroite et ne dépasse pas 1 m. La topographie (*pente et altitude de la crête*) est variable sur l'ensemble du linéaire. **La digue est fortement revégétalisée.**

4.2.2. Désordres observés et photographies – secteur 2-1

Talus côté rivière :

- Pk 255 au pk 355 : le talus côté rivière montre des signes de ravinement et d'érosion. **Les niveaux de blocs en pied de talus sont déstructurés et des blocs sont déchaussés** (*principalement entre les pk 280 à 330 et au pk340*).

- Pk 260 à 270 et pk 330 - 350 : des zones de dépôts de graves et galets sont observées en partie intérieure des courbes. Ces dépôts ont tendance à stabiliser le pied de talus dans ces secteurs.
- La végétation du talus est dense (*arbres, arbustes et ronces*).



Photographie 6 (gauche) : enrochements déstructurés du pk 280 au pk 320 / Photographie 7 (droite) : blocs déchaussés pk300 à 320

Digue et talus côté terre :

- Pk 330 à 340 : des fissures sont visibles en tête de talus (*indice de glissements ? Tassements ?*).



Photographie 8 : fissures observées en tête de talus au droit du pk 330

- la digue est étroite et des remobilisations très probables de la digue ont dues être effectuées lors de la réalisation des aménagements (*serres et bâtiment agricole*).



Photographies 9 et 10 : digue visible entre le pk 290 et 320

4.3. Observations de terrain rive gauche - Secteur 2-2 - pk 355 à 470 m

4.3.1. Observations de terrain – secteur 2-2

Le secteur 2-2 concerne la rive gauche du pk355 au pk470. Une route se situe à proximité immédiate de l'ouvrage. Des serres et un bâtiment agricole restent également présents de l'autre côté de la voirie.

Le lit de la rivière est marqué par une courbe très marquée. La rive gauche se situe en extrado du méandre.

Ce secteur est également caractérisé par :

- des enrochements libres, sur toute la hauteur de la rive, entre les pk 360 et 370 et entre les pk405 et 450. Ces enrochements sont surmontés par un muret béton de l'ordre de 0,50 à 1 m de hauteur,
- des enrochements en pied et milieu de talus entre les pk 370 et 405 et entre les pk 450 et 470. Ces enrochements sont surmontés par un talus en tête de forte pente (> 30 / 40°) qui est également surmonté par une petite digue en terre de l'ordre de 1 m de hauteur.

La végétation est relativement dense avec une colonisation des arbres au sein des enrochements.

On note l'absence d'arbre entre les pk 370 à 380 (*reprise de l'ouvrage ? Ravinement récent ?*).

La rampe d'accès au bâtiment agricole (pk 355 à 370) semble avoir été remblayée derrière le muret béton.

La crête de digue est étroite et ne dépasse pas 1 m.

4.3.2. Désordres observés et photographies – secteur 2-2

Talus côté rivière :

- Pk 355 à 470 : les enrochements libres sont de manière générale déstructurés. On note que les dégradations sont plus importantes entre les pk 405 à 450 (*extérieur virage*) avec également des affouillements en pied d'ouvrage et des déchaussements de blocs. La présence d'arbres accentue les désordres sur les enrochements.
- Le talus côté rivière montre des signes de ravinement et d'érosion. On note en particulier la jonction entre les enrochements et le talus en terre au pk470 où une forte érosion du pied de talus est visible.



Photographie 11 (gauche) : blocs déstructurés et affouillés pk450 / Photographie 12 (droite) : blocs déchaussés pk 425



Photographie 13 : érosion importante du pied de talus à la transition enrochements libres / talus de déblais au niveau du pk 470

Digue, murets et talus côté terre :

- Des points bas ont été observés en crête de talus aux pk suivant :
 - Pk 370 (*limite muret et digue en terre*). Des « Big bag » sont visibles et ont probablement été disposés en confortement lors de la crue de 2015. Ils sont toujours visibles sur site.
 - Pk 450 (*également en limite muret et digue en terre*). La digue en terre ne se « marie » pas directement sur le muret laissant apparaître un point bas dans cette zone.



Photographies 14 et 15 : points bas observés aux contacts murets bétons et digue en terre

- Pk 400 : talus côté terre de la digue érodé. Les limons à galets constituant la digue sont mis à jour dans ce secteur.
- La digue de manière générale sur le site est étroite et repose directement sur les talus de déblais côté rivière.



Photographie 16 : talus de la digue côté terre érodé (pk400)

4.4. Observations de terrain rive gauche - Secteur 3 - pk 470 à 650 m

4.4.1. Observations de terrain – secteur 3

Le secteur 3 concerne la rive gauche du pk 470 au pk 650. Il est situé en intrado d'un méandre marqué et les terrains, côté plaine, sont occupés par des champs et des serres.

De manière générale, ce secteur est caractérisé par des **talus côté rivière de hauteurs comprises entre 2 et 3 m avec des pentes moyennes relativement élevées (> 30 / 40°)**. La pente semble plus douce au niveau du virage entre les pk540 et 570 avec des pentes de l'ordre de 20 / 30°. 1 à 2 niveaux de blocs ont été mis en œuvre en pied de talus afin de limiter l'érosion de ce dernier.

La végétation est dense dans ce secteur. Les berges et la digue sont difficilement observables.

La berge est surmontée par **une petite digue en terre de hauteur comprise entre 1 et 1,50 m** environ. Elle est étroite et la crête de digue est peu marquée (*largeur inférieure à 0,50 m*). La topographie (*pente et altitude de la crête*) est variable sur l'ensemble du linéaire et la présence de point bas dans ce secteur est très probable. **La digue est fortement revégétalisée.**

Un mur en parpaing a été réalisé au droit de la digue, au pk640, afin de mettre en place une serre. La digue a donc été terrassée dans ce secteur pour mettre en place le mur.

4.4.2. Désordres observés et photographies – secteur 3

Talus côté rivière :

- Le talus côté rivière est érodé en pied, principalement entre les pk470 et 500 (*talus subvertical sur 1 à 1,50 m de hauteur en pied de talus*).
- Une loupe de glissement est observée au pk645.
- Des niveaux de blocs plus ou moins continus et plus ou moins structurés sont visibles sur l'ensemble du linéaire.



Photographie 17 (gauche) : érosion pied de talus pk470 à 500 / Photographie 18 (droite) : loupe de glissement pk645

Digue et talus côté terre :

- Végétation dense au droit de la digue sur la majorité du linéaire.
- Terriers observés au sein de la digue au pk650.
- Probable point bas vers les pk 510 à 530.



Photographie 19 : Digue fortement végétalisée pk480 à 560

4.5. Observations de terrain rive gauche - Secteur 4 - pk 650 à 735 m

4.5.1. Observations de terrain – secteur 4

Le secteur 4 concerne la rive gauche du pk650 au pk735. Une route et des bâtiments (*transformateur électrique et cabanon en bois*) se situent à proximité immédiate de l'ouvrage.

Ce secteur est marqué par une courbe marquée. La rive gauche se situe en extrado du méandre.

Ce secteur est également caractérisé par :

- une berge en enrochements libres, sur toute hauteur, entre les pk650 et 715. Ces enrochements sont surmontés soit par une digue en terre de 1 / 1,50 m de hauteur (*pk650 à 670*), soit par un muret en béton de hauteur variable (*pk670 à 715*). Ces enrochements ont un mauvais état général avec des blocs déstructurés sur la grande majorité du linéaire. Un sabot bétonné a été mis en œuvre entre les pk 685 et 700.
- une berge en enrochements bétonnés au raccordement avec le pont de « *Sous Ville* », entre les pk 715 à 735. Il est surmonté par un muret en pierres maçonnées. Son état général est bon malgré un affouillement en pied et une revégétalisation en extrémité aval.

Le pont de « *Sous Ville* » ainsi que le passage sous terrain semble en relativement bon état.

Dans ce secteur, le lit et encaissé de 2 à 3 m. Les enrochements ont été recolonisés par la végétation créant de nombreux désordres au sein de ces derniers.

4.5.2. Désordres observés et photographies – secteur 4

Talus côté rivière :

- Les enrochements ont un **état général mauvais** avec de nombreux désordres (*affouillements des blocs et du sabot, déstructuration des blocs, revégétalisation créant des désordres, déchaussement de blocs,...*). Le talus côté rivière est érodé en pied, principalement entre les pk 470 et 500 (*talus subverticaux sur 1 à 1,50 m de hauteur en pied de talus*).
- Affouillement à la base des enrochements bétonnés entre les pk715 et 735.



Photographie 20 (gauche) : enrochements déstructurés et revégétalisation / Photographie 21 (droite) : affouillement base enrochements bétonnés pk715 à 735

Digue, murets et talus côté terre :

- Des désordres sont visibles sur le muret de tête (*trous dans l'ouvrage, fissures aux différents raccordements,...*). De plus **ce muret repose directement sur les enrochements en limite de stabilité**.



Photographies 22 et 23 : fissures et trouées au sein du muret béton



Photographie 24 : muret reposant directement sur les enrochements en limite de stabilité

RIVE DROITE

4.6. Observations de terrain rive droite – Secteurs 11 et 12 - pk 0 à 250 m

4.6.1. Observations de terrain – secteurs 11 et 12

Les secteurs 11 et 12 concernent la rive droite du pk0 (*confluence avec « l'Arves »*) au pk 250. Des champs agricoles sont présents côté plaine. Une STEP existe également à environ 70 / 80 m du « Foron ».

Le lit du Foron est marqué, dans ce secteur, par un tracé relativement rectiligne hormis entre le pk40 à 70 où le tracé est courbe.

De manière générale, ce secteur est caractérisé par des **talus côté rivière de hauteurs comprises entre 2,50 et 4 m avec des pentes moyennes élevées ($> 40^\circ / 50^\circ$) et présentant d'importants signes de ravinement et d'érosion en pied de talus (pente $> 50 / 60^\circ$ voir subverticale sur 1 à 2 m de hauteur)**. Ces talus sont fortement végétalisés et de nombreux arbres adultes sont observés au droit de la berge.

Cette dernière est surmontée par **une petite digue en terre de topographie hétérogène et de hauteur comprise entre 0 et 1 m** environ. La crête de digue est étroite et très variable sur l'ensemble du linéaire. **La présence de points bas est très probable. La digue est également fortement revégétalisée.**

De nombreux arbres sont sous-cavés et des confortements sommaires par quelques blocs sont observés sur l'ensemble du linéaire.

4.6.2. Désordres observés et photographies – secteurs 11 et 12

Talus côté rivière :

- Pk 0 à 255 : Pieds des talus des berges fortement érodés sur des hauteurs de 1 à 2 m. **Désordres généralisés sur l'ensemble du linéaire.** Les pieds de talus présentent de fortes pentes supérieures à 50 / 60°, voir parfois subverticale. Des arbres sont sous-cavés et font office de soutènement précaire des talus. **Les talus sont en limite de stabilité.**
- Pk 60 : Ravinements observés sur le talus.
- Loupes de glissement observées entre les pk 80 et 210.



Photographies 25 et 26 : sous-cavage des arbres et confortement sommaire observés



Photographie 27 : loupe glissement et ravinelements pk 80

Digue et talus côté terre :

- Pk 0 à 255 : digue étroite et mal définie, topographie variable, présence très probable de points bas. Forte revégétalisation sur les berges et la digue.

4.7. Observations de terrain rive droite - Secteur 10 - pk 250 à 355 m

4.7.1. Observations de terrain – secteur 10

Le secteur 10 concerne la rive droite du pk250 au pk355. Ce secteur est caractérisé par la présence d'une route à proximité du tracé du « Foron ».

Il se situe en extrado de 2 courbes rabattant le « Foron » en rive droite.

2 ouvrages de soutènements sont visibles sur ce linéaire :

- Pk250 à 260 : confortement en pierres sèches. L'ouvrage est déstructuré et semble avoir été construit autour d'arbres existants,
- Pk325 à 340 : confortement par gabions. Ces derniers présentent de nombreux désordres (*affouillement important en base, cages localement dégradées,...*). Un confortement sommaire a été réalisé en pied d'ouvrage pour limiter l'affouillement (*dalles en enrochements libres mis en œuvre*).

Ces 2 ouvrages sont dégradés et montrent des signes d'instabilité parfois marqués. On note également que sur 10 / 20 m à chaque extrémité de ces ouvrages, **des signes importants d'érosion sont visibles mettant en évidence des confortements pas assez longs dans ce secteur.**

Il n'a pas été observé de digue à proprement parler dans ce secteur.

Il est à noter que 2 exutoires de canalisations (*dont 1 buse béton de diamètre 70 cm*) sont visibles à proximité du pk260.

Ces talus sont fortement végétalisés et de nombreux arbres adultes sont observés au droit de la berge.

4.7.2. Désordres observés et photographies – secteur 10

Talus côté rivière :

- Pk 255 ; pk260 à 280 ; pk310 à 330 et pk340 à 355 : Pied de talus des berges fortement érodé sur des hauteurs de 1 à 2 m. Les pieds de talus présentent de fortes pentes avec parfois un sous-cavage des terrains et des arbres. **Les talus sont en limite de stabilité.**
- Pk 255 à 260 et 330 à 340 : ouvrages de soutènement présentant de nombreux désordres (*notamment : affouillement important, blocs ou cages gabions déstructurées*).

Les ouvrages de soutènements sont fortement dégradés et ne protègent pas un linéaire assez important en partie extérieure des méandres.



Photographies 28 et 29 : ouvrages de soutènements fortement dégradés



Photographie 30 : érosion importante des berges en extrémités d'ouvrages

4.8. Observations de terrain rive droite - Secteur 8 - pk 355 à 540 m

4.8.1. Observations de terrain – secteur 8

Le secteur 8 concerne la rive droite du pk 355 au pk 540. Des champs agricoles sont présents côté plaine. Le secteur 8 se situe en intrado d'un méandre du « Foron ».

De manière générale, ce secteur est caractérisé par :

- Pk355 à 510 : un **talus côté rivière de faible hauteur** (entre 1,50 et 2,50 m) et de pentes importantes ($> 30^\circ / 40^\circ$) dues à l'érosion en pied de talus sur des hauteurs de l'ordre de 0,50 m. Ce talus est surmonté d'un merlon en terre faisant office de digue, de faible épaisseur (1,50 à 2 m) et de faible hauteur (< 1 m) qui n'est pas continue sur l'ensemble du linéaire (visible de manière discontinue entre les pk420 à 540). **La présence de points bas est très probable.** Localement le pied de talus est conforté par un niveau de blocs (plus ou moins dégradé).

- Pk510 à 540 : des enrochements libres sur toute la hauteur des berges (*état général médiocre*). Il présente des signes d'affouillement et quelques blocs ont été déchaussés. Il est également surmonté par une petite digue de 0,50 à 1 m de hauteur pour une largeur de l'ordre de 2 m.

4.8.2. Désordres observés et photographies – secteur 8

Talus côté rivière :

- Pk355 à 510 : Pied de talus des berges érodé sur des hauteurs de 0,50 m, voir ponctuellement 1 m.
- Les berges sont fortement végétalisées.
- Pk510 à 540 : enrochements libres affouillés et quelques blocs déchaussés.



Photographie 31 : enrochements libres pk530

Digue et talus côté terre :

- La digue a été remobilisée au pk420 et 430, par l'exploitation agricole.
- La digue est très étroite et sa continuité pas toujours évidente sur l'ensemble du linéaire. La présence de points bas est très probable.



Photographies 32 et 33 : digues remaniées et merlon en terre faisant office de digue

4.9. Observations de terrain rive droite - Secteur 7 - pk 540 à 580 m

4.9.1. Observations de terrain – secteur 7

Le secteur 7 concerne la rive droite du pk540 au pk580. Ce secteur est caractérisé par la présence d'une route à proximité immédiate des berges du « Foron ».

Il se situe en extrado d'une courbe rabattant le « Foron » en rive droite.

1 ouvrage de soutènement, de 2 / 3 m de hauteur, est visible sur l'ensemble du linéaire. Il comprend :

- Pk 540 à 550 : talus en terre ($> 30 / 40^\circ$) reposant sur 1 niveau de cage gabions,
- Pk550 à 560 : enrochements libres reposant sur un niveau de cages gabions,
- Pk560 à 580 : enrochements libres sur toute la hauteur.

Ces ouvrages sont, de manière générale, dégradés et montrent des signes d'affouillement et de dégradation (*cages gabions abîmées, blocs déchaussés, basculement localement des enrochements,...*).

Il n'a pas été observé de digue à proprement parler dans ce secteur.

Ces talus sont fortement végétalisés et de nombreux arbres adultes sont observés au droit de la berge et des ouvrages.

4.9.2. Désordres observés et photographies – secteur 7

Talus côté rivière et ouvrage :

- Signe d'affouillement sous l'ensemble des gabions de l'ouvrage. Ces derniers sont également abîmés localement.
- Indice de basculement des enrochements libres au niveau des pk 570 et 580.
- Blocs localement déstructurés par la végétation.
- 1 exutoire de réseau semble constamment noyé en fond de lit du « Foron » ? au pk 550.



Photographie 34 (gauche) : gabions en base de berges affouillées / photographie 35 : enrochements dégradés par la végétation et indice de basculement

4.10. Observations de terrain rive droite - Secteur 6 - pk 580 à 650 m

4.10.1. Observations de terrain – secteur 6

Le secteur 6 concerne la rive droite du pk580 au pk650. Ce linéaire est caractérisé par la présence d'une route d'accès en amont du « Foron ».

De manière générale, ce secteur est caractérisé par des berges de faible hauteur (< 1,50 / 2 m) composées par :

- Pk 580 à 615 : des **talus côté rivière** de pentes de l'ordre de ($>40^\circ / 50^\circ$) dues à l'érosion en pied de talus, sur des hauteurs de l'ordre de 0,50 à 1,00 m. On constate la présence de points bas vers le pk 610. Localement les pied de talus sont confortés par un niveau de blocs (*plus ou moins dégradé*).
- Pk 615 à 650 : des enrochements libres sur toute la hauteur des berges (*état général médiocre*). Ils présentent des signes de désorganisation des blocs principalement due à la présence d'arbres entre les blocs.

Il n'a pas été observé de digue à proprement parler dans ce secteur.

4.10.2. Désordres observés et photographies – secteur 6

Talus côté rivière :

- Pk 580 à 615 : Pied de talus des berges érodé sur des hauteurs de 0,50 à 1 m.
- Les berges sont fortement végétalisées.
- Pk 615 à 650 : enrochements libres légèrement désorganisés et désordres de certains blocs par la présence d'arbres.



Photographie 36 (gauche) : talus de faible hauteur érodé en pied / photographie 37 (droite) : enrochements libres légèrement désorganisés et présence d'arbres au sein de l'ouvrage

4.11. Observations de terrain rive droite - Secteur 5 - pk 650 à 735 m

4.11.1. Observations de terrain – secteur 5

Le secteur 5 concerne la rive droite du pk 650 au pk735. Il n'y a pas d'ouvrage particulier en amont des berges du « Foron » (*forêt et chemin piéton*).

Ce secteur est composé de berges de hauteur faible à moyenne (2 à 2,50 m) et des pentes variables atteignant 30 / 40° entre les pk 680 et 730. Le pied de berges est érodé sur 0,50 à 1 m de hauteur.

Un point bas est visible au pk 660. On observe également un dispositif de mesure de la section d'eau au pk 700.

Un mur en pierres taillées maçonnées est visible, entre les pk 730 et 735, en raccordement avec le pont de « Sous Ville ». Il est en bon état hormis un léger affouillement en pied.

Il n'a pas été observé de digue à proprement parler dans ce secteur.

4.11.2. Désordres observés et photographies – secteur 5

Talus côté rivière :

- Pk660 : point bas observé.
- Ravinement du pied de talus sur l'ensemble du linéaire.
- Ancienne loupe de glissement et ravinement observés au sein des berges au pk700.



Photographie 38 (gauche) : ancienne loupe de glissement / photographie 39 (droite) : érosion en pied de talus

Ouvrage en pierres maçonnées :

- Pk730 à 735 : léger affouillement en pied d'ouvrage.



Photographie 39 : affouillement en pied d'ouvrage pk730

5 - DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE

5.1. Diagnostic géotechnique

De façon générale, les berges et les digues, rives droite et gauche, apparaissent dégradées et sur de nombreux secteurs en limite de stabilité. **Afin de sécuriser le site, des confortements doivent être envisagés au niveau des rives.**

Au vu de ces éléments, les solutions de confortement envisageable sur le site sont les suivantes :

1. **Solution 1** : Décalage de la digue et des murets pour les rendre indépendants des berges du « Foron ».
2. **Solution 2** : Adoucissement des pentes des berges (*en première approche à des pentes de l'ordre de 2H/1V*) et reprise des digues et murets en tête de berges.
3. **Solution 3** : Confortement ou reprise des ouvrages de soutènement, des digues et des murets sus-jacents. (*reprise complète, recharge en enrochements libres ou reprise au droit et/ou en pied des ouvrages,...*)

Le tableau suivant présente les principaux avantages et inconvénients de ces 3 solutions :

Solution de confortement	Avantages	Inconvénients
1	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux limités et hors emprise du lit du « Foron », - Coût des travaux réduits 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Berges restant en limite de stabilité</u>, surveillance et intervention à réaliser ponctuellement pour éviter les risques d'embâcles, - Foncier nécessaire plus important, - Nécessite l'absence de contraintes à l'amont (<i>bâtiments, routes,...</i>), - Apports de matériaux extérieurs nécessaires
2	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Travaux principalement en terrassements déblais / remblais</u>, - Coût des travaux, - Reprise possible des digues et murets en tête des berges, - Absence d'ouvrage de soutènement à mettre en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Terrassements au sein du lit du « Foron » - Foncier nécessaire en amont des berges, - Nécessite l'absence de contraintes à l'amont (<i>bâtiments, routes,...</i>), - Apports de matériaux extérieurs nécessaires
3	<ul style="list-style-type: none"> - Reprise possible des digues et murets en tête des berges, - Emprise foncière limitée, - <u>Confortement possible même en présence de contrainte en amont</u> (<i>routes, bâtiments,...</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Coût des travaux importants</u>, - Terrassements déblais potentiellement conséquents nécessaires à la mise en œuvre des ouvrages, - Présence d'ouvrage de soutènement, - Apports de matériaux extérieurs nécessaires

La solution de confortement à privilégier au maximum est la solution n°2 préconisant un adoucissement des pentes et une reprise des digues et/ou murets amont. En effet, elle permet d'augmenter de manière significative la stabilité des berges et des digues en évitant la création d'ouvrage de soutènement.

Au vu des observations de terrain décrites précédemment, il apparaît que toutes les solutions de confortement ne peuvent pas être envisagées sur l'ensemble des secteurs. Le tableau suivant indique les solutions envisageables pour chaque secteur.

Ce tableau définit également un ordre de priorité des secteurs à conforter en distinguant 3 niveaux de risque (*niveaux de risques estimés uniquement par les observations de terrain*) :

- Très élevés,
- Elevés,
- Moyen.

Secteur	Solution de confortement envisageable	Niveau de risque estimé
Rive Gauche		
1	Solutions 1 et 2	Elevé
2-1	Solution 3	Elevé
2-2	Solution 3 (<i>localement solution 2 lorsque les contraintes amont le permettent</i>)	Elevé
3	Solutions 1 et 2	Moyen (intérieur méandre)
4	Solution 3	Elevé
Rive droite		
12 et 11	Solutions 1 et 2	Elevé
10	Solution 3 (<i>route à l'amont</i>)	Très élevé
9	Solutions 1 et 2	Moyen (intérieur méandre)
8	Solutions 1 et 2	Elevé
7	Solution 3 (<i>route à l'amont</i>)	Très élevé
6	Solutions 1 et 2	Moyen
5	Solutions 1 et 2	Moyen

N.B : L'estimation du risque décrit ci-dessus dépend principalement de l'état de stabilité de la berge. Il est à noter qu'au droit des secteurs où le risque est jugé « *moyen* », des points bas au niveau de la digue, un état général mauvais de cette dernière et des signes d'instabilité, sont également observés. Ces secteurs doivent donc également être pris en compte dans les travaux de confortement à envisager.

5.2. Suite à donner

En l'état, la stabilité des digues dépend principalement :

- de la stabilité des berges supportant les digues et murets,
- des digues et murets eux-mêmes présentant un certain nombre de désordres.

Il est conseillé de réaliser dès que possible :

- un complément topographique de l'ensemble de la zone afin de quantifier les points bas des digues, berges et murets observés,
- de combler de manière provisoire ces points bas.
- de rehausser provisoirement, si besoin, les secteurs présentant des risques de surverse (*en fonction des lignes d'eau définies en fonction de la crue projet*).

Les confortements décrits ci-dessus permettront d'améliorer la stabilité des digues et des berges (*hors solution n°1*) du « Foron ».

Nous apportons toutefois l'attention sur le fait :

- que la **plaine peut être inondée par les crues de « l'Arves »**. Ces travaux n'empêcheront pas ces inondations.
- que **des remontées de nappes en surface, créant également des inondations restent également possibles** au vu :
 - de la présence de la nappe à faible profondeur,
 - des terrains en place perméables à très perméables mis en évidence lors des sondages à la pelle de 2015,
 - de la présence à proximité immédiate du site des cours d'eau de « l'Arves » et du « Foron » impliquant des temps de réponse très courts entre les niveaux d'eau des rivières et le niveau de la nappe.

Ces travaux n'empêcheront donc pas les inondations côté plaine. Il devra donc être étudié en phases AVP et PRO la mise en place d'un point bas permettant l'évacuation des eaux de la plaine, lors des crues de « l'Arves », au sein du lit du « Foron » (*point bas et coursiers amont et aval en enrochements maçonnés. Les cotes altimétriques et l'implantation est à déterminer par le BE hydraulique*). Ce dispositif devra empêcher les déversements au droit de berges pas ou peu protégées et ainsi éviter les ruptures de digue comme celle observée en 2015.

En attendant les travaux, il apparaît important de réaliser une surveillance visuelle après chaque événement particulier (*crues, séismes,...*) afin de s'assurer de l'absence d'évolution des berges et des digues.

En fonction des travaux envisagés en phase AVP. Il sera réalisé :

- des investigations géotechniques (à définir en fonction des travaux envisagés),
- une analyse de la stabilité des berges et digues après travaux.

De plus, en phases AVP et PRO, il devra être étudié la réalisation d'un entretien régulier de la végétation (*maintien ou non des arbres existants uniquement au droit des berges, arrachage régulier de la végétation colonisant les digues, reprise soignée des terrains de digue décomprimés par les arbres,....*).

La Société SAGE se tient à votre disposition pour tout renseignement complémentaire ou assistance technique relative à cette étude.

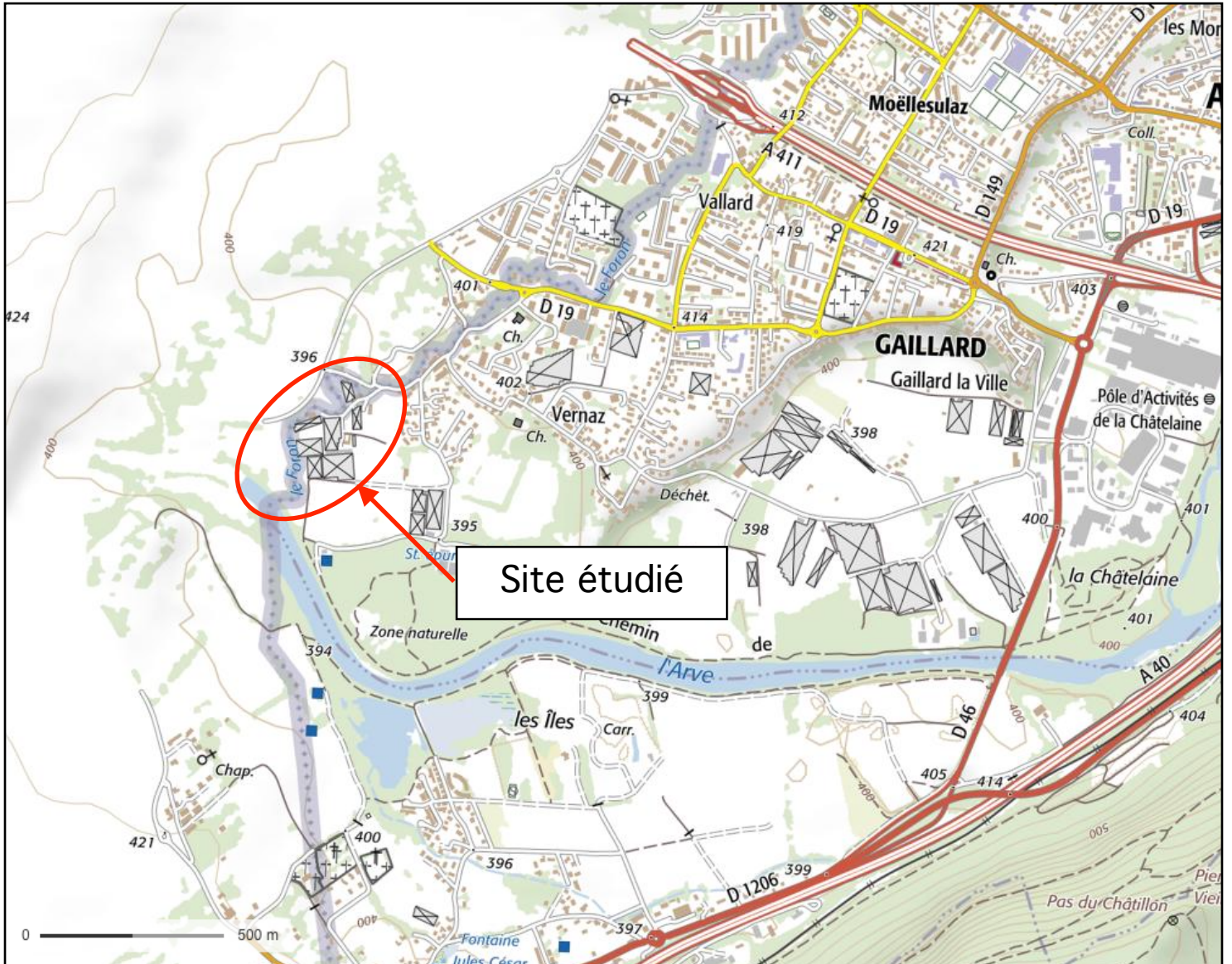
Figures



FIGURE 1 : Plan de situation général du site.

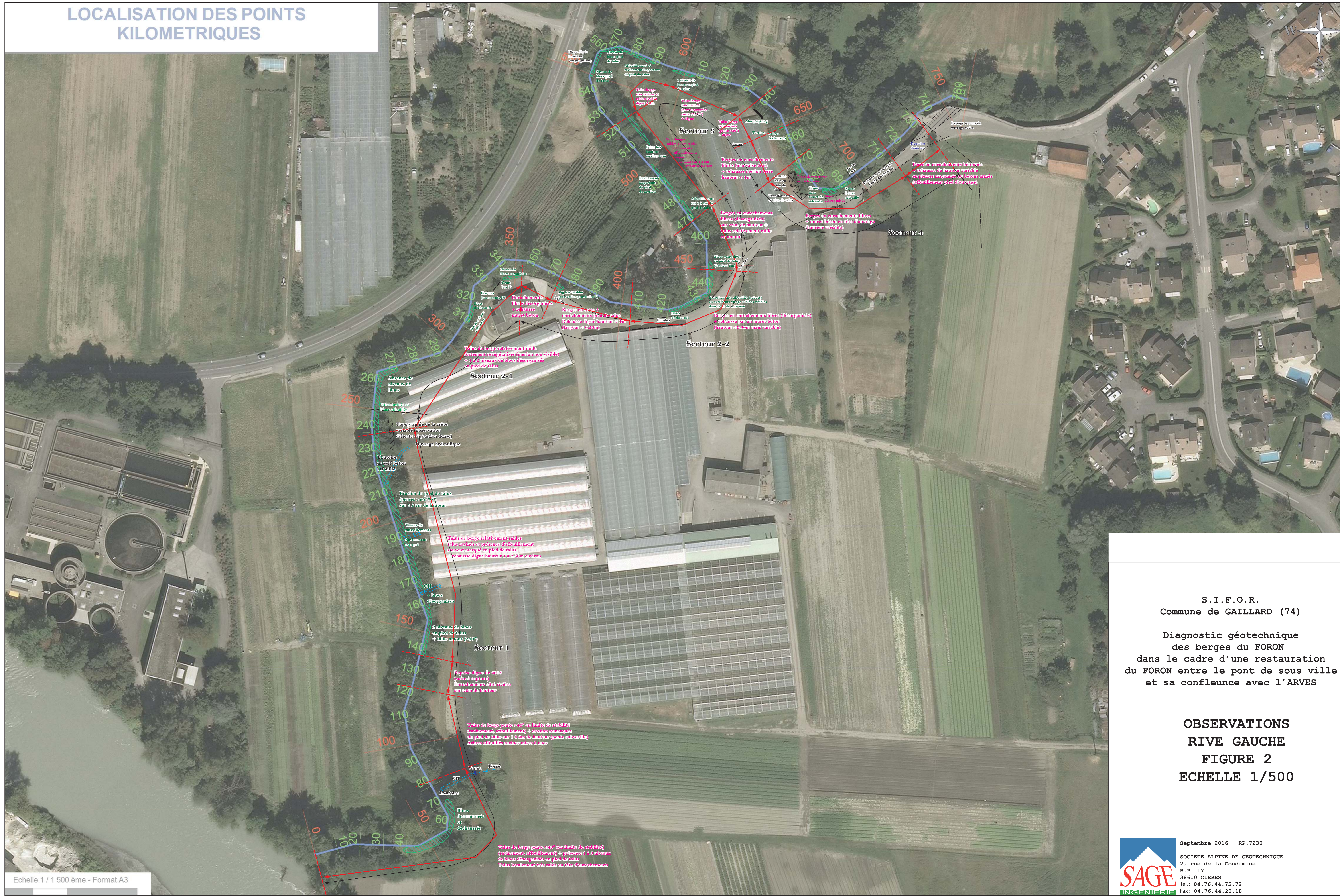
FIGURE 2 : Photographie aérienne avec report des observations de terrain réalisées au droit de la rive gauche du « Foron », au 1/500.

FIGURE 3 : Photographie aérienne avec report des observations de terrain réalisées au droit de la rive droite du « Foron », au 1/500.



<p>sans échelle</p>	<p>Diagnostic géotechnique des berges du « Foron » - Pont de « Sous Ville » à la confluence avec « l'Arves » - Communes de Gaillard et canton de Genève</p>
<p>septembre 2016</p>	<p>Figure 1 Plan de situation</p>
<p>RP 7230</p>	

LOCALISATION DES POINTS KILOMETRIQUES



S.I.F.O.R.
Commune de GAILLARD (74)

Diagnostic géotechnique
des berges du FORON
dans le cadre d'une restauration
du FORON entre le pont de sous ville
et sa confluence avec l'ARVES

OBSERVATIONS
RIVE GAUCHE
FIGURE 2
ECHELLE 1/500

LOCALISATION DES POINTS KILOMETRIQUES



S.I.F.O.R.
Commune de GAILLARD (74)

Diagnostic géotechnique
des berges du FORON
dans le cadre d'une restauration
du FORON entre le pont de sous ville
et sa confluence avec l'ARVES

OBSERVATIONS
RIVE DROITE
FIGURE 3
ECHELLE 1/500

Annexe 1



⇒ Classification des missions types de l'Union Syndicale
Géotechnique

4.2.4 - Tableaux synthétiques

Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux		
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

BIBLIOGRAPHIE

- Alderdice D.F, Wickett W.P., 1958 "Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on Pacific salmon eggs." *J. Fish Res. Bd. Can.*, 15(5), pp. 797-799
- Alderdice D.F, Wickett W.P., Brett J.R., 1958 "A note on the response of developing chum salmon eggs to free carbon dioxide in solution." *J. Fish Res. Bd. Can.*, 15(2), pp. 229-249.
- Alexander, G. R., & Hansen, E. A. (1986). Sand bed load in a brook trout stream. *N. Am. Fish Manage.*, 6, pp. 9-23.
- Balon, E. K. (1975). Reproductive guilds of fishes : a proposal and definition. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 32, pp. 821-864.
- Battin, T. J., Kaplan, L. A., Newbold, J. D., & Hansen, M. E. (2003). Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in streams mesocosms. *Nature*, 426, pp. 439-441.
- Beyer, W., & Bansher, E. (1975). Zur kolmation der gewässerbetten bei der uferfiltratgewinnung. *Z. Angewandte Geologie*, 12, pp. 565-570.
- Bjorn, T. C., Brusven, M. A., molnau, M. P., Milligan, J. H., Klant, J. H., Chacho, E., & Schaye, C. (1977). transport of granitic sediment in streams and its effects on insects and fish. *Rapport B-036-IDA, College of Forestry, Wildlife and Range Sciences.*, 43 p.
- Bravard, J. P., & Petit, F. (1997). Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial. *Paris, Armand Colin.*, 221 p.
- Bray, D., & Church, M. (1980). Armored versus paved gravel beds. *Jour. Hydraul. Div.*, 106, pp. 1937-1940.
- Brunke, M. (1999). Colmation and depth filtration within streambeds : retention of particles in hyporheic interstices. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 84, pp. 99-117.
- Bunte, K., & Abt, S. (2001). sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel and cobble bed streams for analysis in sediment transport, Hydraulics and Streambed Monitoring. 426 p.
- Catinaud, L, et al. (2009). Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard, Impacts du lac de Machilly et perspectives dans le cadre du projet de restauration du lac, données 2008-2009. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Rapport FDP74.*
- Caudron, A (2006). Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard données 2004-2005 *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Rapport FDP74*
- Caudron, A, Vigier, L (2007). Etude de la qualité thermique du Foron de Gaillard Etude de l'impact du lac de Machilly données 2006-2007 *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Rapport FDP74*
- Chapman, D. W. (1988). Critical review of variable used to define effects of fine redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 117, pp. 1-21.
- Chasseriau, C. (2016). Note technique Comparaison du suivi de la température en 2004-2005 et en 2012-2013 sur la station "Fossard" sur le secteur aval du Foron de Gaillard. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Note technique FDP74*
- Chasseriau, C. (2013). Etude piscicole 2012 du Foron de Gaillard. Bilan final sur le compartiment piscicole à l'issue du contrat de rivière. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Rapport FDP74.13/02*, 18 p.

- Costerton, J.W., Geesey, G., Cheng, K., (1978). How bacteria stick. *Sci. Am.*, pp. 86-95.
- Costerton, J.W., (2000). Biofilms in the New Millennium : musings from a peak in Xanadu. *Symposia-Society for general microbiology, Cambridge, Cambridge University Press*, pp. 329-344.
- Couvert , B., Lefort, P., Peiry, J., & Belleudy, P. (1999). *Gestion des rivières - Transport solide et atterrissements, guide méthodologique*. Etudes des Agences de l'Eau n° 65.
- Cummins, K. W., & Lauff, G. H. (1969). The influence of substrate particle size on the microdistribution of stream macrobenthos. *Hydrobiologia*, 34, pp. 145-181.
- Datry, T., Dole-Olivier, M.-J., Marmonier, P., Claret, C., Perrin, J.-F., Lafont, M., & Breil, P. (2008). La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau. *Ingénieries*, 54, pp. 3-18.
- DILL L.M., NORTHCOTE T.G., (1970) Effects of some environmental factors on survival, condition and timing of emergence of chum salmon fry (*Onchorynchus keta*). *J. Fish. Res. Board Can.*, 27, pp. 196-201
- Elliot, A.H., Brooks, N.H., (1997). Transfer of nonsorbing solutes to a streambed with bed forms: Laboratory Experiments. *Water Resour. Res.*, 33(1), pp. 137-151.
- Freyhof, J., Kottelat, M., & Nolte, A. (2005). Taxonomic diversity of European Cottus with description of eight new species. *Ichthyol. Explor. Freshwaters* , 16 (2), 107-172.
- Frostick, L. E., Lucas, P. M., & Reid, I. (1984). The infiltration of fine matrices into coarsegrained alluvial sediments and its implications for stratigraphical interpretation. *J. Geol. Soc.*, 41, pp. 955-965.
- Gadais, R, 2012. Etude des déplacements migratoires post-reproduction chez l'Ombre commun (*Thymallus thymallus* L1758) par radiopistage sur le bassin versant de l'Arve
- Gay Environnement pour le SIFOR, 2016. Etude de faisabilité de restauration de la continuité écologique du lac de Machilly, Etat des lieux environnemental
- Gayraud, S., Hérouin, E., & Philippe, M. (2002). Le colmatage minéral des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 365/366, pp. 339-355.
- Hamor T. & Garside E.T., (1976). Developmental rates of embryos of Atlantic salmon, *Salmo salar* (L.), in response to various levels of temperature, dissolved oxygen and water exchange" *Can. J. Zool.*, 54, pp. 1912-1917.
- Harvey, J.W., Bencala, K.E., 1993. The effect of streambed topography on surface-subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research*, 29(1), pp. 89-98.
- Heland, M. (1971). Observation sur les premières phases du comportement agonistique et territorial de la truite commune *Samo trutta* L. en ruisseau artificiel. *Ann. Hydrobiol.*, 2(1), 33-46.
- Heckeis H., bauer-nemeschkale E. & Kamler E., (1996). Effects of reduced oxygen level on the mortality and hatching rate of *Chondrostoma nasus* embryos. *J. Fish. Biol.*, 49, pp. 430-440.
- Hydromoce (2008). Conception d'un protocole standardisé d'acquisition de données hydromorphologiques quantitatives sur le terrain. *ONEMA*.
- Hynes, H. (1970). The ecology of running waters. *Liverpool University Press.*, 555 p.
- Jobson, H. E., & Carey, W. P. (1989). Interaction of fine sediments with alluvial streambeds. *Water Resour. Res.*, 25, pp. 135-140.

- Kalleberg, H. (1958). Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar*, L. *Salmo trutta*, L.). *Report of Institute of Freshwater Research Drottningholm*, 39, pp. 55-98.
- Keith, P., Persat, H., Feunteun, E., & Allardi, J. (2011). Les poissons d'eau douce de France. *Publications scientifiques du Muséum, Biotopes éditions*, 552 p.
- Kellerhals, R. (1967). Stable channels with gravel-paved bed. *Journal of Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers*, pp. 63-84.
- Klingeman, P., & Emmett, W. (1982). Gravel bed load transport processes. In : Hey R.D., Barthurst J.C., Thorne C.R. (éds.), *Gravel bed rivers*, Wiley, Chichester., p. 875.
- Kondolf, G. M., Lisle, T. E., & Wolman, G. M. (2003). Bed sediment measurement. In : Kondolf G.M. & Piégay H. (éds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 347-396.
- Leichtfreid, M. (1988). Bacterial substrats in gravel beds of a second order alpine stream. *Project Ritrodat-Lunz, Austria. Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23, pp. 1325-1332.
- Lock, M., Wallace, R., Costerton, J., Ventullo, R.M., Charlton, S.E., 1984. River epilithon : toward a structural-fonctional model. *Oikos*, pp. 10-22.
- Mac Neil W.J., (1964). Redd surimposition and egg capacity of pink salmon in spawning beds. *J. Fish. Res. Board Can.*, 21(6), pp. 1385-1396.
- Malard F., Hervant F., (1999). Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater." *Freshw. Biol.*, 41, pp. 1-30.
- Malard, F., Ward, J. V., & Robinson, C. T. (2000). An expanded perspective of the hyporheic zone. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie.*, 27, pp. 431-437.
- Malavoi, J.R., Souchon Y., (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 365/366, pp. 357-372.
- Malavoi, J.-R., Garnier, C., Landon, N., Recking, A., & Baran, P. (2011). Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière. *ONEMA*. 216 p.
- Minshall, G. W. (1984). Aquatic insect-substratum relationships. In : Ecology of Aquatic Insects. RESH, V.M.; ROSENBERG, J.B. (eds.), *New-York*, pp. 1976-1983.
- Panek, K. L. (1994). Depth boundaries of bed sediments in an alpine stream. (Project Ritrodat-Lunz, Austria). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, pp. 1646-1648.
- Parker, G., & Klingeman, P. C. (1982). On why gravel bed streams are paved. *Water Resources Research*, 18(5), pp. 1409-1423.
- Parkinson D., Petit F., Perpinien G., Philippart J.C., (1999). Habitats de reproduction des poissons et processus géomorphologiques dans les rivières à fond caillouteux. Essai de synthèse et applications à quelques rivières du bassin de la Meuse. *Bull. Soc. Géol. de Liège*, 36, pp. 31-52
- Phillips R.W., Lantz R.I., Claire E.W., Moring J.R., (1975). Some effects of gravel mixtures on emergence of coho salmon and steelhead trout fry. *Trans. Am. Fish. Soc.* 104, pp. 461-466.
- Piégay Hervé, Pautou Guy, Ruffinoni Charles, IDF, (2003) Les forêts riveraines des cours d'eau,
- Powell, D. M. (1998). Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. *Progress in Physical Geography*, 22, pp. 1-32.

- Push, M., Fiebig, D., Brettar, I., Eisenmann, H., Ellis, B., & Kaplan L. (1998). The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters. *Freshwater Biology*, 40, pp. 79-98.
- Richards, C., Host, G. E., & Arthur, J. W. (1994). Identification of predominant environmental factors structuring stream macroinvertebrates communities within a large catchment. *Freshwat. Biol.*, 29, pp. 285-294.
- Rollet, A. J. (2007). Etude de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. *Thèse de doctorat, Université de Lyon 3*, p. 305.
- Sear, D. A. (Rollet, A. J. (2007). Etude de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de doctorat, Université de Lyon 3, p. 305.1993). Fine sediment infiltration into gravel spawning beds within a regulated river experiencing floods : ecological implications for salmonids. *Regul. Rivers : Res. Manage.*, 3, pp. 267-275.
- Simon, L. (1986). Transports solides de sédiments de granulométrie non uniforme. *Mémoire de DEA - Laboratoire National d'Hydraulique - EDF - Chatou*.
- Thibodeaux, L.J., Boyle, J.D., 1987. Bedform-generated convective transport in bottom sediment.
- Tremblay, J. (2006). Le "stick hypoxie", une nouvelle méthode pour mesurer l'oxygénation du lit des rivières. *Cahiers techniques de l'INRA. Bulletin de liaison interne, Spécial 2006*, pp. 47-50.
- Verneaux, J. (1977). Biotypologie de l'écosystème "eau courante". Déterminisme approché de la structure biotypologique. *Compte-rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Série D*, pp. 77-79
- Vervier, P., Gibert, J., Marmonier, P., & Dole-Olivier, M. J. (1992). A perspective on the permeability of the surface freshwater-groundwater ecotone. *Journal of North American Benthological Society*, 11, 93-102.
- Vollmer, S., Träbing, K., Dittrich, A., 2000. Turbulence induced penetration of near bottom water into porous medium-experimental study. *In: International symposium on River Flood Defence, Kassel*, pp. 17-24.
- Waters, T. F. (1995). Sediment in streams : sources, biological effects and control. *Am. Fish. Soc.*, p. 251.
- Wentworth, C., (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, pp. 311-327.
- White, D. S. (1993). Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), pp. 61-69.



HYDRETUDES

Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'oeuvre

Siège social – Centre technique principal

815, route de Champ Farçon
74 370 ARGONAY
Tél : 04.50.27.17.26
Fax : 04.50.27.25.64
E.mail : contact@hydretudes.com

Agence Alpes du Nord

Alpespaces
50, Voie Albert Einstein
73 118 FRANCLIN

Tél : 04.79.96.14.57
Fax : 04.70.33.01.63
E.mail : contact-savoie@hydretudes.com

Agence Alpes du Sud

Bât 2 – Résidence du Forest
d'entrais
25, rue du Forest d'entrais
05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26
Fax : 04.92.21.87.83
E.mail : contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

9, rue Praneuf
26 100 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04.75.45.30.57.
Fax : 04.75.45.30.57.
E.mail : contact-romans@hydretudes.com

Agence Grand Sud-Pyrénées

Immeuble Sud América
20, bd. de Thibaud
31 100 TOULOUSE

Tél : 05.62.14.07.43
Fax : 05.62.14.08.95
E.mail : contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Océan Indien

« Les Kréolis »
8-10, rue Axel Dorseuil
97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45
Fax : 02.62.32.69.05
E.mail : contact-reunion@hydretudes.com