

Eau  
Environnement



PV FLOTTANT GUEUGNON



Eude d'impact des PV flottants

Rapport n° : 21F-130-RL-1

Révision n° : D

Date : 07/12/2021

Rapport

Votre contact :  
Nathalie MOLIN  
molin@isl.fr



ISL Ingénierie SAS - LYON  
84 boulevard Marius Vivier Merle  
Immeuble LE DISCOVER  
69003 - Lyon  
FRANCE  
Tel. : +33.4.27.11.85.00  
Fax : +33.4.72.34.60.99  
[www.isl.fr](http://www.isl.fr)

**ISL**  
Ingénierie



# Visa

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	09/11/2021	MLY	NMO	OBA	
B	26/11/2021	MLY	NMO	PRO	
C	02/12/2021	MLY	NMO	PRO	
D	07/12/2021	MLY	NMO	PRO	

MLY : THOMAS Madeleine

NMO : MOLIN Nathalie

OBA : BARBET Olivier

PRO : ROUQUET Patrick

Rapport ISL  
21F-130-RL-1  
Revision D

<http://www.isl.fr/r.php?c=208549>



Ingénierie





## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PREAMBULE</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE	1
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
1.3	CONTENU DU DOCUMENT	2
<b>2</b>	<b>DONNEES D'ENTREE</b>	<b>3</b>
2.1	ETUDES EXISTANTES	3
2.2	DONNEES HYDROLOGIQUES	3
2.2.1	PREAMBULE	3
2.2.2	CRUES STATISTIQUES	3
2.2.2.1	Débit caractéristique	3
2.2.2.2	Crue de référence	4
2.2.2.3	Hydrogramme de crue	4
2.2.3	DONNEES SHYREG	4
2.2.4	SYNTHESE	5
2.3	ATLAS DES ZONES INONDABLES	6
2.4	DONNEES TOPOGRAPHIQUES	6
2.5	DONNEES DE CALAGE	8
<b>3</b>	<b>ANALYSE DU RISQUE SECHERESSE</b>	<b>8</b>
3.1	INTERACTION AVEC L'ARROUX	8
3.2	ANALYSE DE L'EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE L'ARROUX	9
3.3	ESTIMATION DES PERTES PAR EVAPORATION	10
3.3.1	PARAMETRES INVARIANTS	10
3.3.2	EVOLUTION DE L'EVAPORATION	11
3.4	SYNTHESE	15
<b>4</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE 2D</b>	<b>15</b>
4.1	OBJECTIF ET METHODE	15
4.2	CONSTRUCTION DU MODELE	15
4.2.1	EMPRISE	15
4.2.2	MISE EN ŒUVRE	16

4.2.3	COEFFICIENTS DE FROTTEMENTS _____	18
4.2.4	CONDITIONS LIMITES _____	19
4.3	RESULTATS _____	19
4.3.1	TEST DE SENSIBILITE _____	19
4.3.2	SITUATION ACTUELLE _____	22
4.3.2.1	Crue centennale _____	22
4.3.2.2	Crue de référence _____	24
4.3.3	COMPARAISON AVEC L'AZI _____	27
<b>5</b>	<b>IMPACTS HYDRAULIQUES DU PROJET _____</b>	<b>30</b>
5.1	INTEGRATION DU PROJET _____	30
5.2	IMPACTS HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A L'ETAT ACTUEL _____	30
5.2.1	IMPACT SUR LES HAUTEURS D'EAU _____	30
5.2.2	IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DE LA CRUE _____	30
5.2.3	IMPACT SUR LES VITESSES _____	30
<b>6</b>	<b>ANALYSE DU RISQUE EMBACLE _____</b>	<b>32</b>
6.1	OBJECTIFS DE L'ANALYSE _____	32
6.2	QUANTIFICATION DES BOIS FLOTTANTS SUR LE BASSIN VERSANT _____	32
6.2.1	POINT DE CALCUL _____	32
6.2.1.1	Méthode de quantification _____	34
6.2.1.2	Données _____	34
6.2.1.3	Valeurs des paramètres _____	34
6.2.2	RESULTATS _____	34
6.2.3	AMENAGEMENTS _____	35
6.2.4	CONCLUSION _____	37
6.3	PRODUCTION D'EMBACLES SUR LE SITE _____	37
6.3.1	PREAMBULE _____	37
6.3.2	ANALYSE MORPHOLOGIQUE _____	37
6.3.3	ANALYSE COURANTOLOGIQUE _____	39
6.3.4	CONCLUSION _____	41
<b>7</b>	<b>REGLEMENTAIRE _____</b>	<b>43</b>
7.1	PROCEDURES REGLEMENTAIRES _____	43
7.1.1	RAPPEL DES DONNEES TECHNIQUES DU PROJET _____	43

7.1.2	CODE DE L'ENVIRONNEMENT	43
7.1.2.1	Dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau	44
7.1.2.2	Evaluation environnementale au titre du R122-2 du CE	52
7.1.3	CODE FORESTIER	54
7.1.4	CODE DE L'URBANISME	54
<b>8</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>55</b>

## TABLE DES ANNEXES

### ANNEXE 1 LOGICIEL TELEMAC2D

### ANNEXE 2 FORMULE EMPIRIQUES – BOIS FLOTTANTS

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du projet (source : Géoportail)	1
Figure 2 : Implantation du projet	2
Figure 3 : Hydrogramme de crues caractéristiques (Banque HYDRO)	4
Figure 4 : Hydrogramme de la crue de référence	5
Figure 5 : Cartographie des plus hautes eaux	6
Figure 6 : Profils en travers disponibles	7
Figure 7 : Positionnement des gravières sur le profil en long de l'Arroux	9
Figure 8 : Profils en long de l'Arroux	9
Figure 9 : Variation de la précipitation à l'horizon 2050 (source : Banque mondiale)	11
Figure 10 : Localisation des stations pluviométriques (Météo France)	12
Figure 11 : Variation de la température à horizon 2050 (source : Banque mondiale)	13
Figure 12 : Variation de l'évaporation à l'échelle 2050 (source : Banque mondiale)	14
Figure 13 : Emprise du modèle 2D mis en œuvre	16
Figure 14 : Création du modèle TELEMAC de l'Arroux (de gauche à droite : zone de densité sous SIG – maillage – maillage renseigné en altitude)	17
Figure 15 : Définition des zones de coefficients de frottement homogène en fonction du sol	18
Figure 16 : Courbe de tarage aval (source : DREAL)	19
Figure 17 : Impact du coefficient de Strickler sur le niveau d'eau	20

Figure 18 : Impact du coefficient de Strickler sur la zone inondable	21
Figure 19 : Hauteur d'eau en état initial – crue centennale	23
Figure 20 : Vitesse en état initial – crue centennale	24
Figure 21 : Hauteur d'eau en état initial – crue de référence	25
Figure 22 : Vitesse d'eau en état initial – crue de référence	26
Figure 23 : Vecteurs vitesse d'eau en état initial – crue de référence	27
Figure 24 : Comparaison des zones inondables	27
Figure 25 : Impacts hydrauliques du projet – écart de vitesse par rapport à l'état actuel	31
Figure 26 : Point de quantification du volume d'embâcles	33
Figure 27: Volume de bois flottant susceptible d'arriver au niveau du point d'étude, estimé par différents paramètres, pour une crue centennale de l'Arroux	35
Figure 28 : Localisation des obstacles à l'écoulement et CLC	36
Figure 29 : Méandre de l'Arroux au droit du site	38
Figure 30 : Lignes de courant – crue centennale	40
Figure 31 : Végétation sur la partie amont de la gravière 6	41
Figure 32 : Végétation dense à proximité des gravières (ISL, photos septembre 2021)	42
Figure 33 : estimation du volume de bois flottant selon les formules empiriques proposées par le Guide OFEV (Bois flottant dans les cours d'eau, Office fédéral de l'environnement, Berne, Suisse, 2019)	3

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débit de crue (BanqueHYDRO)	3
Tableau 2 : Données SHYREG au pont de Rigny sur Arroux ( $S_{BV} = 2238 \text{ km}^2$ )	5
Tableau 3 : Précipitations (source : Banque Mondiale)	11
Tableau 4 : Evaporation mensuelle (période 2000-2020)	12
Tableau 5 : Evaporation mensuelle en 2050 selon le scénario 8.5 du GIEC	13
Tableau 6 : Caractéristiques des mailles du modèle Telemac	17
Tableau 7 : Justifications des écarts AZI/ISL	28
Tableau 8 : Valeurs des paramètres étudiés pour une crue centennale de l'Arroux	34
Tableau 9 : Volume de bois flottants	35
<b>Tableau 10 : Espaces d'intérêt écologique situés sur la zone des projets</b>	<b>43</b>
<b>Tableau 11 : Titres des rubriques concernées par le projet</b>	<b>44</b>





# 1 PREAMBULE

## 1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de parcs photovoltaïques flottants en cours de développement par la société OX2 sur la commune de Gueugnon dans la Saône et Loire (71).

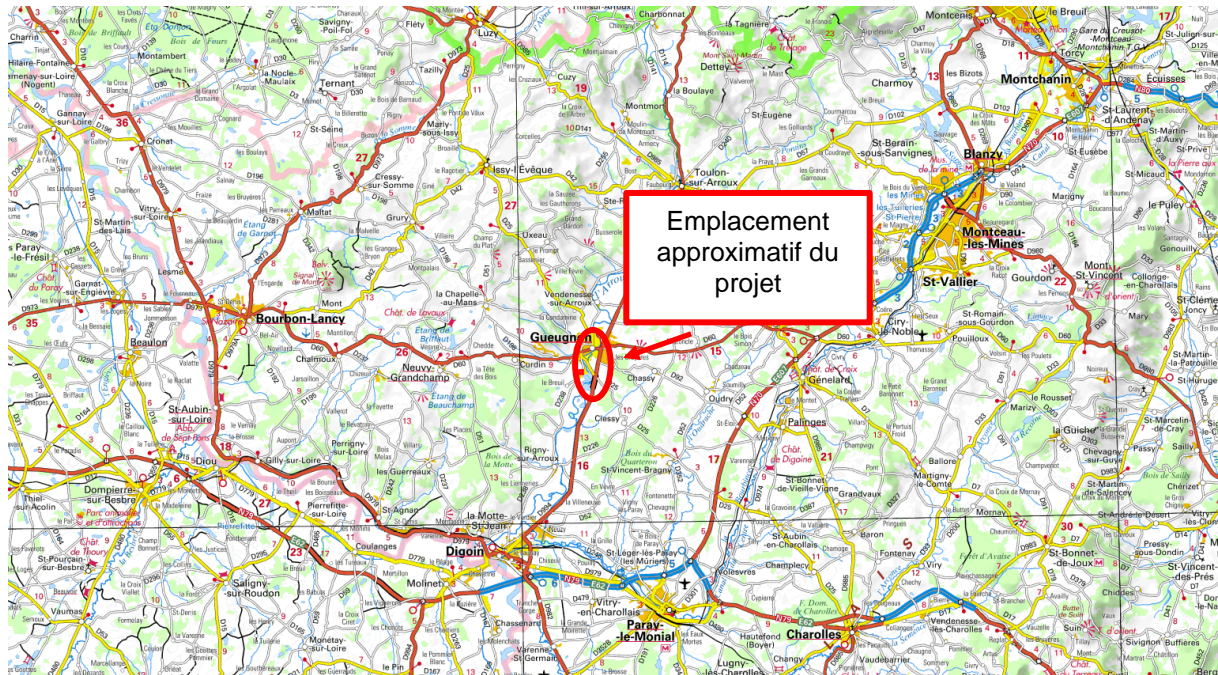


Figure 1 : Situation du projet (source : Géoportail)

Les six sites concernés par le projet se situent en rive gauche de l'Arroux. Le secteur est caractérisé par d'anciennes gravières qui accueilleront la partie flottante du projet.

La Figure 2 détaille l'implantation des six parcs.



**Figure 2 : Implantation du projet**

Il est à signaler que l'implantation des flotteurs sur le lac 2 a été revue au cours de l'étude par OX2. Si la Figure 2 présente l'implantation finalement arrêtée par OX2, les autres figures, dans la suite du rapport, présentent l'implantation des flotteurs telle que fournie par OX2 en début d'étude. Ces figures n'ont pas été reprises. Les calculs ont par contre été mis à jour avec l'implantation finale des flotteurs sur le lac 2.

## 1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- 1) Assister le maître d'ouvrage dans le cadre des échanges avec les services instructeurs sur la problématique inondations et les dossiers d'autorisation du code de l'environnement ;
- 2) Apprécier les modifications des conditions d'écoulement au droit du futur parc photovoltaïque flottant avec une analyse hydraulique et une analyse du risque d'embâcles ;
- 3) Analyser le risque sécheresse, assèchement des gravières et échouages des panneaux.

## 1.3 CONTENU DU DOCUMENT

Le présent document constitue le rapport principal de l'étude. Il présente :

- les données d'entrées recueillies et exploitées,
- l'analyse sécheresse,

- la modélisation hydraulique pour évaluer les conditions d'écoulement au droit du futur parc en état actuel et en état projet, pour la crue de référence de l'Arroux,
- une analyse spécifique relative au risque d'embâcle,
- l'analyse réglementaire (PPRI et Code de l'Environnement).

## 2 DONNEES D'ENTREE

### 2.1 ETUDES EXISTANTES

Différentes études ont été mise à notre disposition par OX2 :

- Etude d'impact de la carrière de Gueugnon – lieu dit « chazey », novembre 2016 – Science environnement
- Etude hydraulique du projet d'ouverture de gravière à Gueugnon, septembre 2015 – Naldéo
- Reconstruction du pont sur l'Arroux – étude hydraulique, avril 1990 - Beture Setame est
- Atlas des zones inondables, avril 1996
- Etude hydraulique de l'Arroux à Gueugnon préalable à la construction d'une passe à poisson sur le barrage de la Forges, aout 1996 - Silène

### 2.2 DONNEES HYDROLOGIQUES

#### 2.2.1 PREAMBULE

Les données hydrologiques disponibles proviennent de différentes sources :

- données SHYREG (millésime 2019) ;
- l'atlas des zones inondables de la région Bourgogne – vallée de l'Arroux (1996)
- données de la Banque HYDRO.

**Aucune information sur l'hydrogramme de crue n'est disponible dans la bibliographie du secteur d'étude.**

#### 2.2.2 CRUES STATISTIQUES

##### 2.2.2.1 Débit caractéristique

Le tableau ci-dessous récapitule les débits caractéristiques de crues de l'Arroux. Les données sont issues de la Banque HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr/> ; station de Rigny sur Arroux, code K1341810, située à 3 km en aval de la zone d'étude) basée sur les données disponibles entre 1967 et 2021.

**Tableau 1 : Débit de crue (BanqueHYDRO)**

	Fréquence	Qm (m <sup>3</sup> /s)	Qp (m <sup>3</sup> /s)
<b>Biennale</b>	2 ans	220	230
<b>Quinquennale</b>	5 ans	290	310
<b>Décennale</b>	10 ans	340	370
<b>Vicennale</b>	20 ans	390	420
<b>Cinquantennale</b>	50 ans	450	480

Le débit centennal est estimé par extrapolation en supposant une régression linéaire logarithmique au delà de la crue décennale, il est estimé à 495 m<sup>3</sup>/s.

Dans les études antérieures, le débit centennal est du même ordre de grandeur. Pour la suite de l'étude, le débit retenu est donc de  $500\text{m}^3/\text{s}$ .

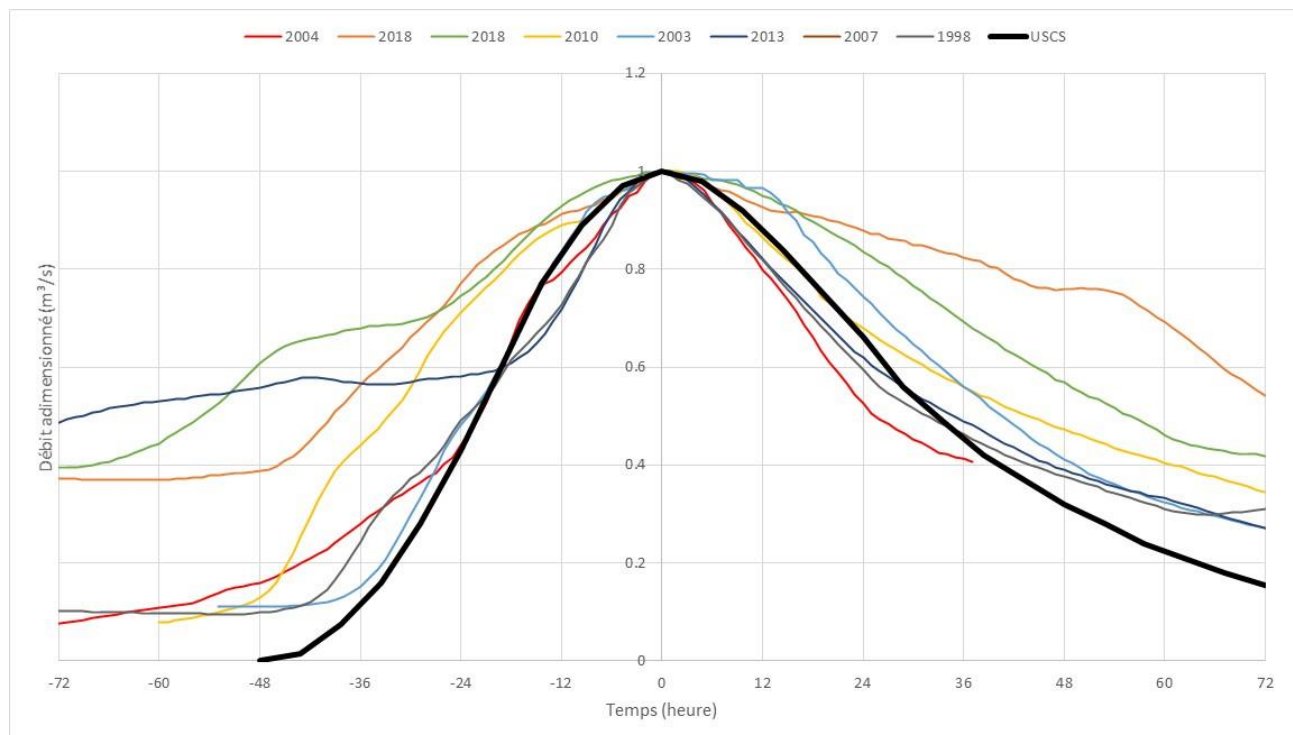
### 2.2.2.2 Crue de référence

Les plus fortes crues observées sur l'Arroux datent de 1789, 1866, 1910 et 1965. La crue de 1965 est estimée à une crue centennale à la station de Rigny sur-Arroux. Le débit de la crue de 1910 serait compris entre  $650$  et  $700\text{ m}^3/\text{s}$  (rapport Silène 1996). La DIREN Bourgogne et la DDE de la Saône et Loire préconisent de retenir comme débit de la crue de référence la crue de 1910, avec un débit de pointe de  $650\text{ m}^3/\text{s}$ .

**Dans le cadre de cette étude, la crue de référence sera considérée à  $650\text{ m}^3/\text{s}$  dans le secteur d'étude.**

### 2.2.2.3 Hydrogramme de crue

Afin de déterminer l'hydrogramme de crue, qui sera utilisé dans le cadre de la modélisation hydraulique, une analyse des hydrogrammes de crues historiques est nécessaire. En analysant 8 crues passées supérieures à la crue décennale, il est possible de définir un hydrogramme de type USCS<sup>1</sup> (hydrogramme en noir sur la figure suivante) qui permet de respecter le ratio de 1,06 entre le débit journalier et le débit de pointe (ratio fourni par la Banque Hydro), et d'être cohérent avec les crues observées et les volumes associés.



**Figure 3 : Hydrogramme de crues caractéristiques (Banque HYDRO)**




## 2.2.3 DONNEES SHYREG

L'IRSTEA a mis en œuvre la méthode SHYREG afin d'estimer des quantiles de débits de crue sur l'ensemble du territoire métropolitain. C'est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique basée sur la régionalisation des paramètres de modèles de générateur de pluie et de transposition pluie/débit. Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation.

<sup>1</sup> l'hydrogramme de type USCS se base sur l'utilisation de l'hydrogramme unitaire adimensionnel et curviligne développé par Mockus en 1985

Un point SHYREG (<https://shyreg.inrae.fr>) est disponible au droit du pont de Rigny-sur-Arroux. Les données associées à ce point sont rappelées dans le tableau ci-après Il permet de disposer des débits pour différentes périodes de retour comprises entre 2 et 1000 ans.

**Tableau 2 : Données SHYREG au pont de Rigny sur Arroux ( $S_{BV} = 2238 \text{ km}^2$ )**

 <p>Identifiant : K1341810 Surface = 2238.6 km<sup>2</sup> X (L93) = 797634 m Y (L93) = 6651387 m</p> <p>L_Arroux a Rigny-sur-Arroux</p> <p>Quantiles SHYREG – 2019</p> <p>Produit par Iristea avec le soutien de la DGPR. Usage soumis aux conditions d'utilisation. Lire la notice explicative de la méthode et ses limites.</p>		

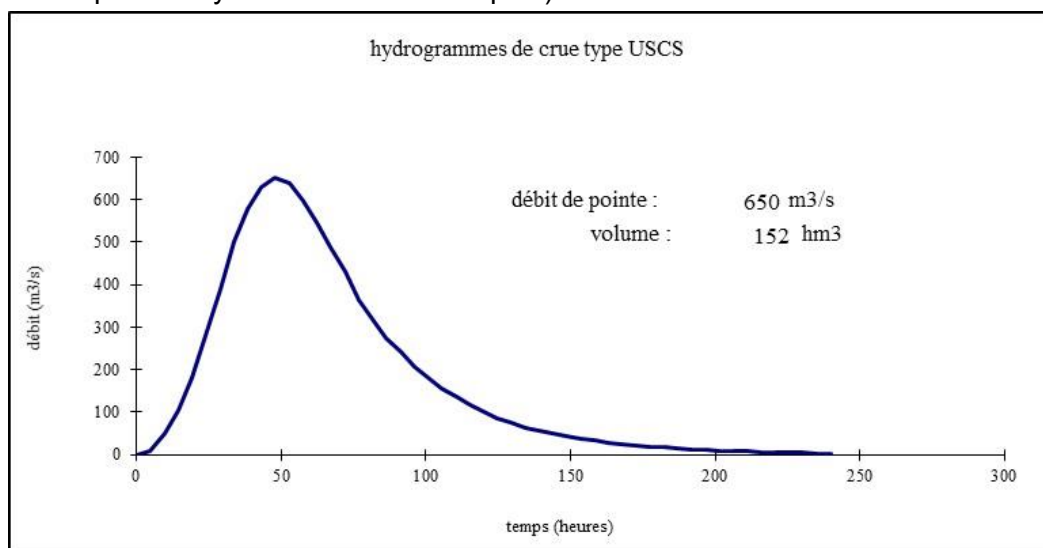
**Débits (m<sup>3</sup>/s) – Durees (h) – Période de retour (année)**

	Pointe	Jour	1h	2h	3h	4h	6h	12h	24h	48h	72h
<b>T= 1000</b>	1180	885	1100	1070	1040	1020	986	936	895	647	504
<b>T= 500</b>	998	772	941	921	901	883	857	815	780	574	456
<b>T= 100</b>	685	563	659	649	639	630	616	591	569	446	367
<b>T= 50</b>	586	494	566	560	553	546	535	516	499	400	334
<b>T= 20</b>	477	414	464	460	456	451	444	431	418	345	290
<b>T= 10</b>	406	360	396	394	391	388	383	373	363	304	256
<b>T= 5</b>	341	307	334	333	330	328	325	318	310	262	222
<b>T= 2</b>	262	240	257	256	255	254	252	247	242	206	174

Cette source de données évalue le débit de pointe centennale à 685 m<sup>3</sup>/s au pont de Rigny sur Arroux. Cette valeur est supérieure à la crue centennale estimée avec les données de la BanqueHYDRO, et la crue de référence de 650m<sup>3</sup>/s.

### 2.2.4 SYNTHÈSE

Le débit de référence retenu pour la suite est de 650 m<sup>3</sup>/s, crue historique de 1910. L'hydrogramme de crue de type USCS associé à cette crue est fourni ci-dessous (hydrogramme validé précédemment par l'analyse des crues historiques) :



**Figure 4 : Hydrogramme de la crue de référence**

## 2.3 ATLAS DES ZONES INONDABLES

L'atlas illustre l'emprise des plus hautes eaux connues. Il a été réalisé en avril 1996 pour le débit de la crue de 1965, une des trois plus fortes crues historiques de l'Arroux au droit du secteur d'étude.

D'après l'étude du CETE de Lyon de septembre 1982, le débit de pointe de la crue a été estimé à 500 m<sup>3</sup>/s.

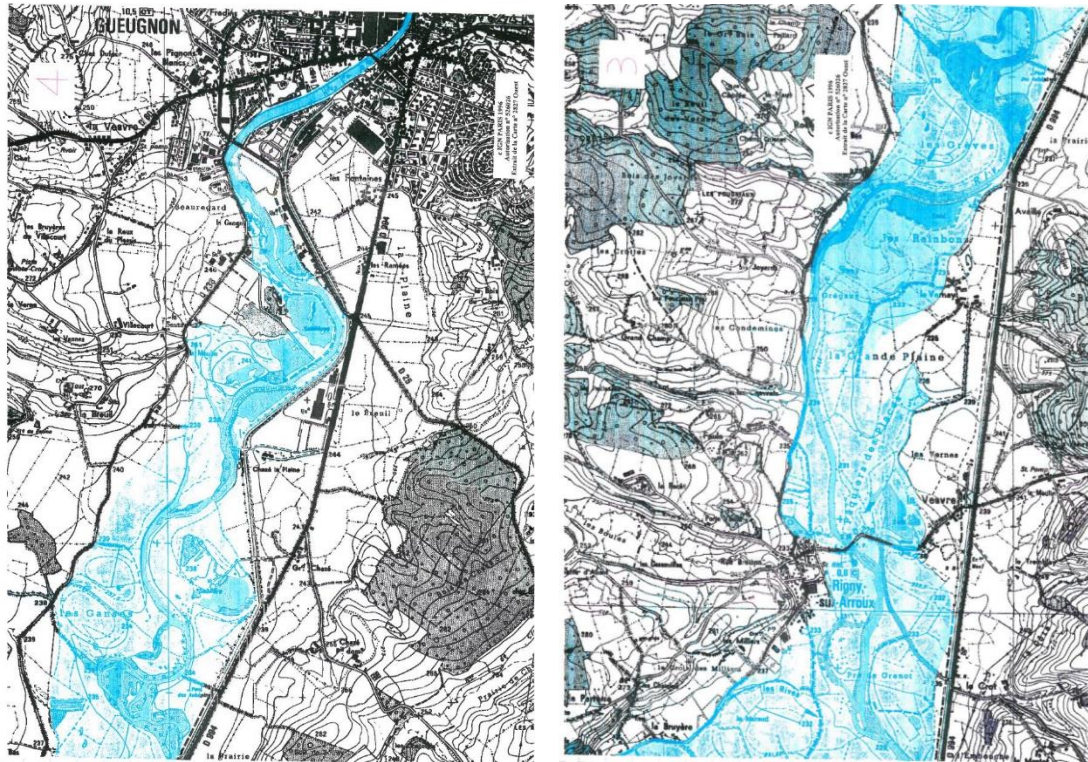


Figure 5 : Cartographie des plus hautes eaux

Nous rappelons dans le cadre de cette étude qu'aucune donnée de calage n'est disponible dans ce secteur d'étude mais uniquement sur le secteur amont de l'Arroux. L'atlas peut être entaché d'une certaine incertitude sur l'emprise compte tenu de l'absence de calage sur la partie aval.

## 2.4 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données topographiques disponibles sont :

- les données Lidar RGEAlti (grille de pixel 1 m) couvrant l'ensemble du territoire d'étude, fournies par l'IGN et datant de 2017 ; le relevé a été réalisé le 11/03/2017 avec un débit de 67,6 m<sup>3</sup>/s à Rigny sur Arroux (fréquence de non dépassement de 0,9 d'après la courbe des débits classés calculés sur 18 850 jours). Le LIDAR ne peut relever les zones immergées puisque le débit lors du relevé est supérieur à trois fois le module de l'Arroux.
- les plans topographiques des berges sur les six gravières, transmis par OX2 ;

Les données bathymétriques disponibles sont :

- les données bathymétriques des 6 gravières (septembre 2021)
- 8 profils en travers provenant d'une mission en janvier 1999 par la géomètre Chamonal (1 à 8),

- 3 profils en travers levés à l'occasion de l'étude hydraulique réalisée par Beture Setame en 1990 (109,110,111, situés en aval),
- 4 profils en travers levés en 2015 pour Naldéo dans le cadre de l'étude d'impact d'une nouvelle carrière (11 à 14).

Les données bathymétriques sont implantées sur la figure suivante. Les zones d'implantation des panneaux photovoltaïques sur les gravières sont représentées en vert.

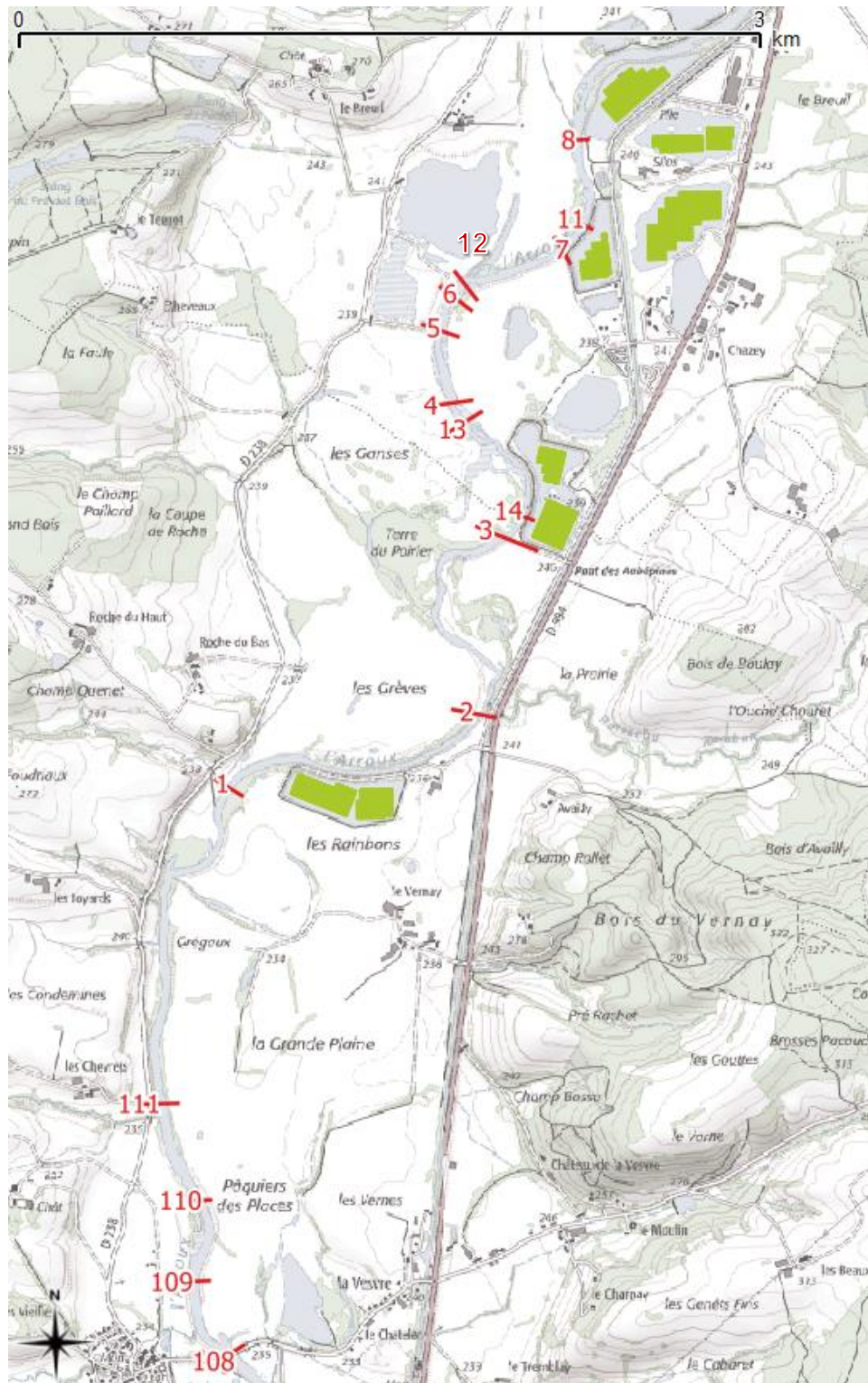


Figure 6 : Profils en travers disponibles



N'ayant pas de profils en travers en amont du profil 8, le lit mineur de l'Arroux a été creusé selon une section constante identique au profil 8 avec une pente de 0,02% (pente issue de la ligne d'eau du LIDAR RGEAlt).

OX2 nous a informé que le remblai situé entre la gravière 4 et l'Arroux allait être élargi de 20m indépendamment du projet d'installation des panneaux photovoltaïques. Afin de ne pas assigner l'impact hydraulique de l'élargissement de ce remblai au projet d'installation de panneaux, cet aménagement sera intégré dans l'état initial du modèle.

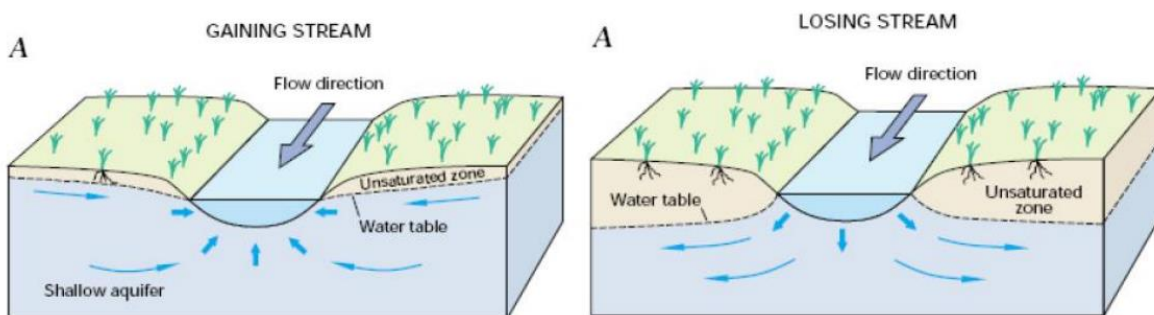
## 2.5 DONNEES DE CALAGE

Aucune donnée de calage n'est disponible dans la zone d'étude. Le calage se fera donc sur la base des coefficients de rugosité issus de la littérature et plus particulièrement de l'étude de Naldéo réalisé en 2015 afin d'être cohérent avec les études antérieures.

## 3 ANALYSE DU RISQUE SECHERESSE

Certaines gravières sont peu profondes. Ainsi, en cas de sécheresse, le niveau d'eau risque de baisser pouvant entraîner, dans le pire des cas, un assèchement des gravières. OX2 souhaite savoir si certaines gravières pourraient effectivement être asséchées,

La relation nappe-rivière se définit comme un échange d'eau dans un sens ou dans l'autre entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau. Suivant le niveau de la ligne d'eau, et la saison, la nappe alimente le cours d'eau ou est alimentée par celui-ci notamment lors des inondations. L'alimentation d'une gravière est identique et interagit avec le cours d'eau et la nappe.

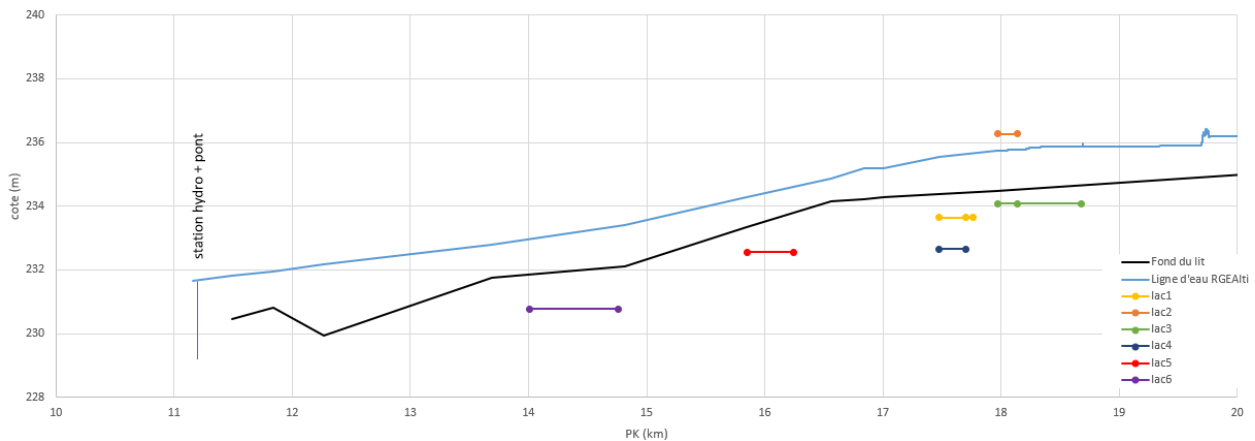


Aucune donnée piézomètre étant disponible sur le site InfoTerre dans la zone d'étude, l'analyse du risque sécheresse se basera dans un premier temps sur la capacité de l'Arroux à alimenter les gravières en eau puis sur l'estimation de l'évaporation. Cette approche simpliste permet d'identifier si un risque d'assèchement est avéré.

### 3.1 INTERACTION AVEC L'ARROUX

La première étape est de localiser les gravières sur le profil en long de l'Arroux afin de comparer la cote de leur fond avec le fond du lit mineur de l'Arroux d'après les profils en travers disponibles (cf. 2.3)

La cote moyenne du fond de chaque gravière a été estimée selon les plans bathymétriques de septembre 2021 fournis par OX2. Le niveau d'eau du RGEAlt correspond à un débit de 67 m<sup>3</sup>/s, soit trois fois le module.



**Figure 7 : Positionnement des gravières sur le profil en long de l'Arroux**

Pour 5 gravières sur 6, le niveau du fond se situe sous le niveau du fond du lit de l'Arroux. Les 5 gravières sont a priori suffisamment profondes pour pouvoir être alimentées directement par la nappe de l'Arroux. Bien que certaines soient peu profondes, l'apport d'eau est actuellement assuré par la nappe.

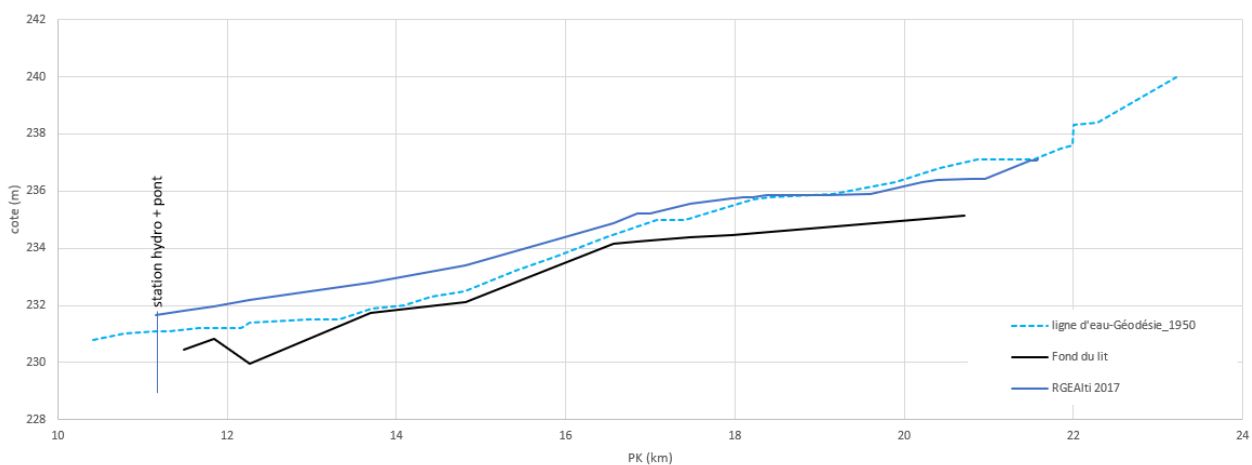
En revanche, la gravière 2 est située au-dessus du niveau de l'Arroux et n'est donc pas alimentée par la nappe mais par le ruissellement du bassin versant. L'alimentation de cette gravière ne dépend donc pas de l'hydrologie de l'Arroux. Une analyse de l'évaporation devra être faite sur cette gravière.

### 3.2 ANALYSE DE L'EVOLUTION DU PROFIL EN LONG DE L'ARROUX

L'analyse du profil en long a montré qu'actuellement pour la majorité des gravières, leur niveau était suffisamment bas pour limiter le risque sécheresse. Il est nécessaire de vérifier si le morphodynamisme du lit est important, et si un affouillement de lit pourrait se produire (abaissement du niveau du lit), réduisant ainsi l'alimentation en eau de la nappe par l'Arroux.

L'analyse de l'évolution du profil en long est réalisée à partir :

- De la ligne d'eau levée en janvier 1999 lors de la réalisation des profils en travers,
- De la ligne d'eau de juin 1950 relevé par l'IGN (profils des grandes forces hydrauliques)
- La ligne d'eau levée lors de la réalisation du LIDAR du RGEAlt en mars 2017 à 67m<sup>3</sup>/s.



**Figure 8 : Profils en long de l'Arroux**

Comme l'a spécifié Naldéo, les pentes des lignes d'eau de 1950 et 2017 sont assez proches, les différences sont probablement liées à la différence de débit. Ne connaissant pas le débit de 1950, il est difficile de conclure de manière certaine. A titre informatif, le débit moyen mensuel du mois de juin est de l'ordre de 12,5 m<sup>3</sup>/s, ce qui est plus faible que le débit de mars 2017, ce qui explique que la ligne d'eau de 1950 soit inférieure à 2017. Pour autant sur le tronçon sur lequel les gravières sont présentes, l'analyse des pentes pousse à penser que la tendance ne semble pas être à l'incision, ce qui va dans le sens de la sécurité vis-à-vis de l'alimentation des gravières. De plus, les principales causes d'incision sont les extractions en lit mineurs. Ces dernières sont aujourd'hui interdites.

A l'échelle des 30 prochaines années, il semblerait que l'évolution du fond du lit de l'Arroux ne soit pas susceptible d'abaisser le niveau de la nappe et de supprimer l'alimentation des plans d'eau. Ce facteur n'a pas d'influence sur le risque sécheresse des gravières 1, 3, 4, 5 et 6.

### 3.3 ESTIMATION DES PERTES PAR EVAPORATION

L'analyse bathymétrique a montré que l'alimentation de la gravière 2 semble indépendante de l'hydrologie de l'Arroux et soit influencée par son propre bassin versant.

L'approche est de considérer la gravière comme un système fermé en prenant en compte les sources d'apports et les pertes :

Apport	Perte
Pluviométrie	Infiltration
Ruissellement	Evaporation

#### 3.3.1 PARAMETRES INVARIANTS

Trois des quatre paramètres peuvent être considérés comme invariants à l'échelle des 30 prochaines années.

Tout d'abord, l'infiltration et le ruissellement peuvent être considérés comme stables. Les gravières se situent dans un terrain alluvionnaire, donc aucune altération conséquente du sol ne peut justifier une augmentation des pertes d'eau par infiltration et des apports par ruissellement dans les gravières.

En se basant sur le scénario 8.5 le plus défavorable du GIEC, les variations de pluviométrie par rapport à la période 1986-2005 peuvent être estimés à partir des informations du portail Banque Mondiale :

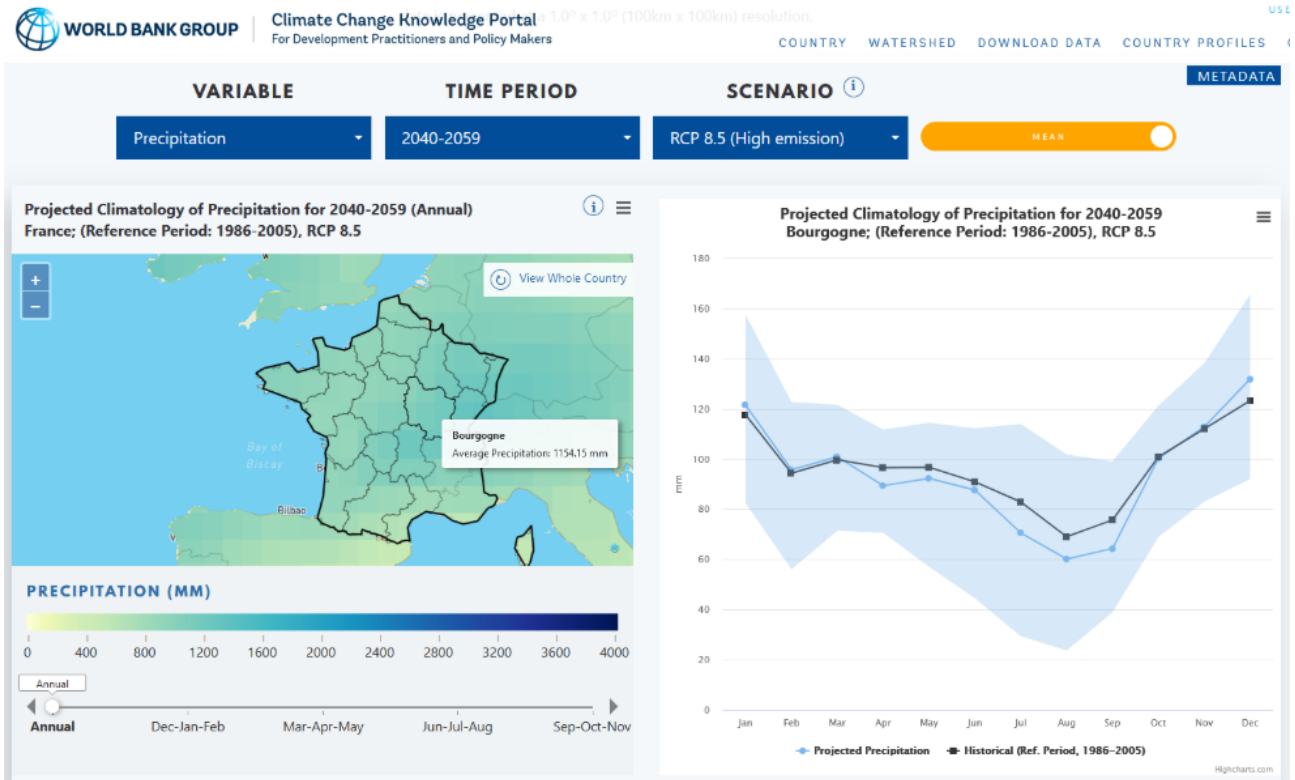


Figure 9 : Variation de la précipitation à l’horizon2050 (source : Banque mondiale)

Tableau 3 : Précipitations (source : Banque Mondiale)

	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juillet	aout	sept	oct	nov	dec	TOTAL
1986-2005	117.6	94.35	99.67	96.55	96.7	90.9	82.87	69.05	75.7	100.8	112.0	123.2	1159
2050	121.4	95.71	100.9	89.36	92.28	87.62	70.52	60.14	64.31	100.2	112.9	131.9	1127

Une baisse de l’ordre de 3% sur le cumul annuel est envisagé, ce qui est très faible. On peut donc considérer cette variable d’entrée comme invariante.

### 3.3.2 EVOLUTION DE L’EVAPORATION

L’évaporation d’un lac dépend de la température, du vent, de l’humidité et de la surface de recouvrement des panneaux. Ce paramètre doit donc être réestimé à l’échelle 2050 afin de voir si l’impact du changement climatique pourrait entraîner un assèchement de la gravière.

L’évaluation de l’évaporation peut s’effectuer par des méthodes empiriques telle que celle de la formule de Rohwer, dérivant de la formule de Dalton :

$$E = (3,7277 - 0,014 \cdot P_{am}) \cdot (1 + 0,6 \cdot u) \cdot e^{\frac{17,27T}{237,3+T}} \cdot (1 - H_r)$$

avec	E	Evaporation (en mm/j)
	P <sub>atm</sub>	Pression atmosphérique à l'altitude du site (en kPa)
	U	Vitesse du vent (en m/s)
	T	Température de l'air (en °C)
	H <sub>r</sub>	Humidité relative en %

L'approche de l'évaporation peut ainsi être faite mois par mois sur la base des données météorologiques issues des données Météo-France de la station de Saint Yan (code station 71491001). Cette station, située à 20 km au sud de Gueugnon, fournit les données de température, de vent et d'humidité , sur la période de 2000 à 2020.

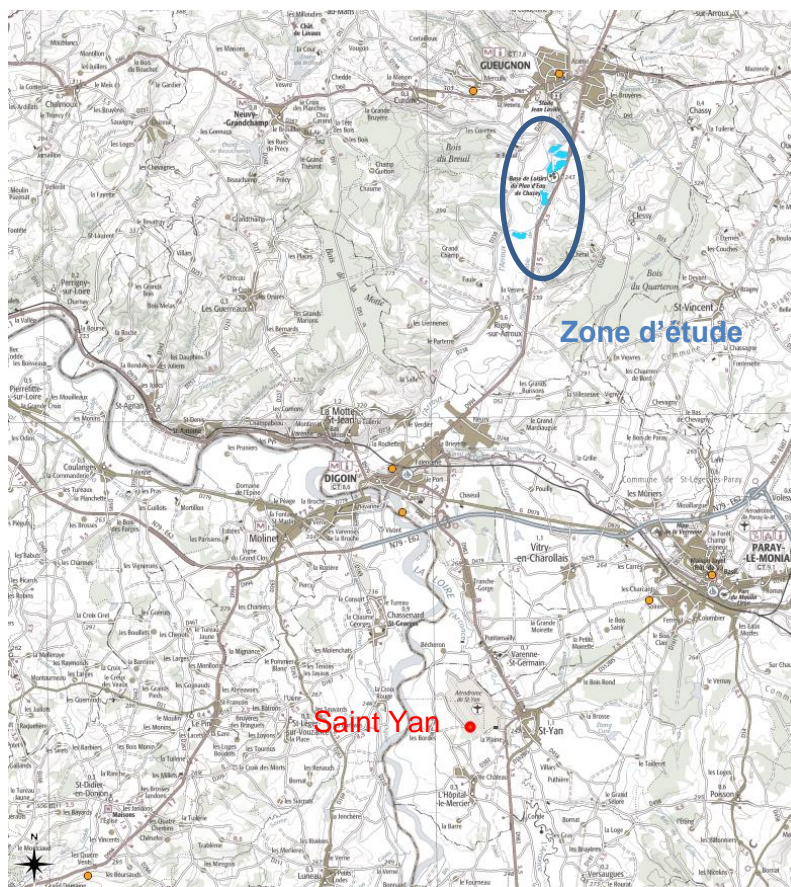


Figure 10 : Localisation des stations pluviométriques (Météo France)

En se basant sur les valeurs mensuelles moyennes entre 2000 et 2020, une estimation de l'évaporation actuelle peut être faite :

Tableau 4 : Evaporation mensuelle (période 2000-2020)

	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
U (m/s)	2.49	2.68	2.70	2.50	2.28	2.20	2.24	1.99	1.84	2.06	2.34	2.50
H <sub>r</sub>	0.87	0.81	0.75	0.72	0.75	0.71	0.68	0.72	0.78	0.84	0.87	0.88
T (°C)	3.6	4.4	7.6	10.8	14.4	18.7	20.4	20.1	16.1	12.5	7.5	4.2
E (mm/jr)	0.7	1.0	1.7	2.2	2.5	3.6	4.3	3.6	2.1	1.3	0.7	0.6

D'après les chroniques de 2000-2020, l'évaporation annuelle dans le secteur d'étude est estimée en moyenne à 744 mm/an.

En considérant le même scénario 8.5 du GIEC sur la région Bourgogne, l'impact du changement de température sur l'évaporation peut être quantifié.

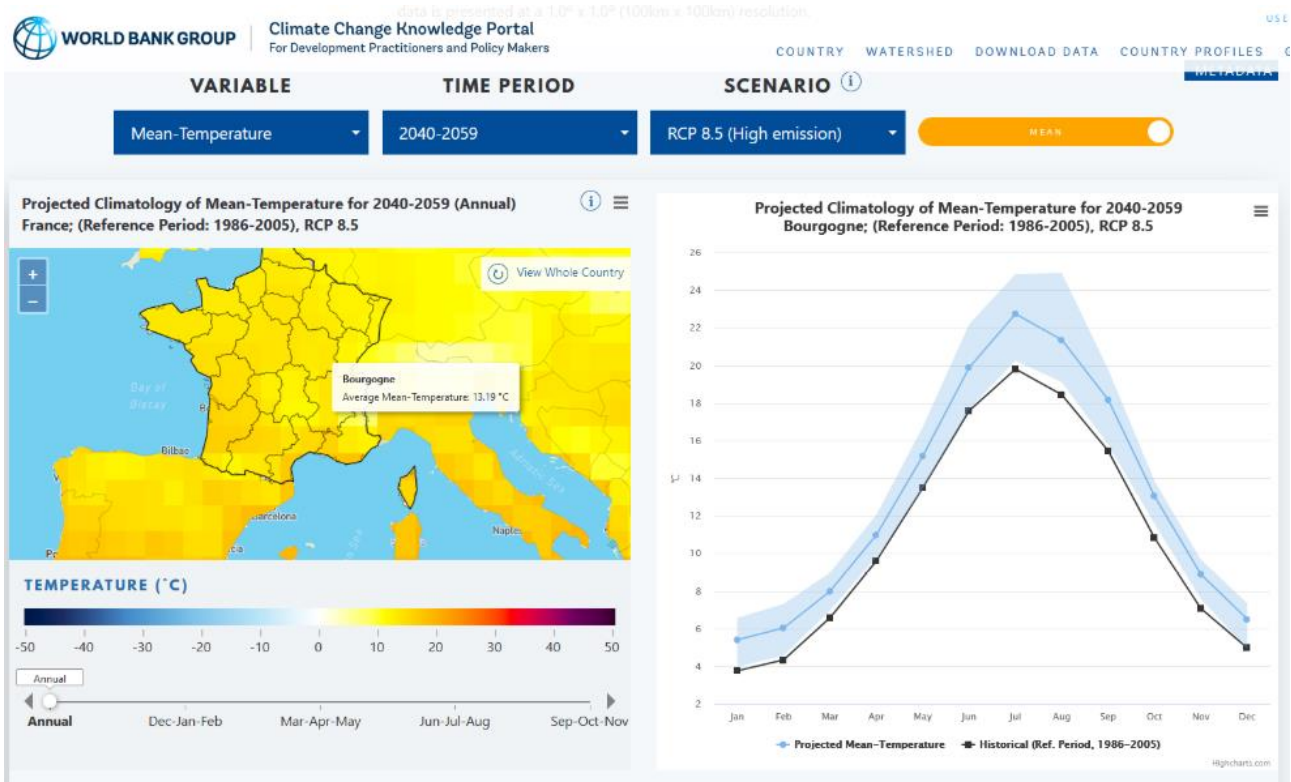
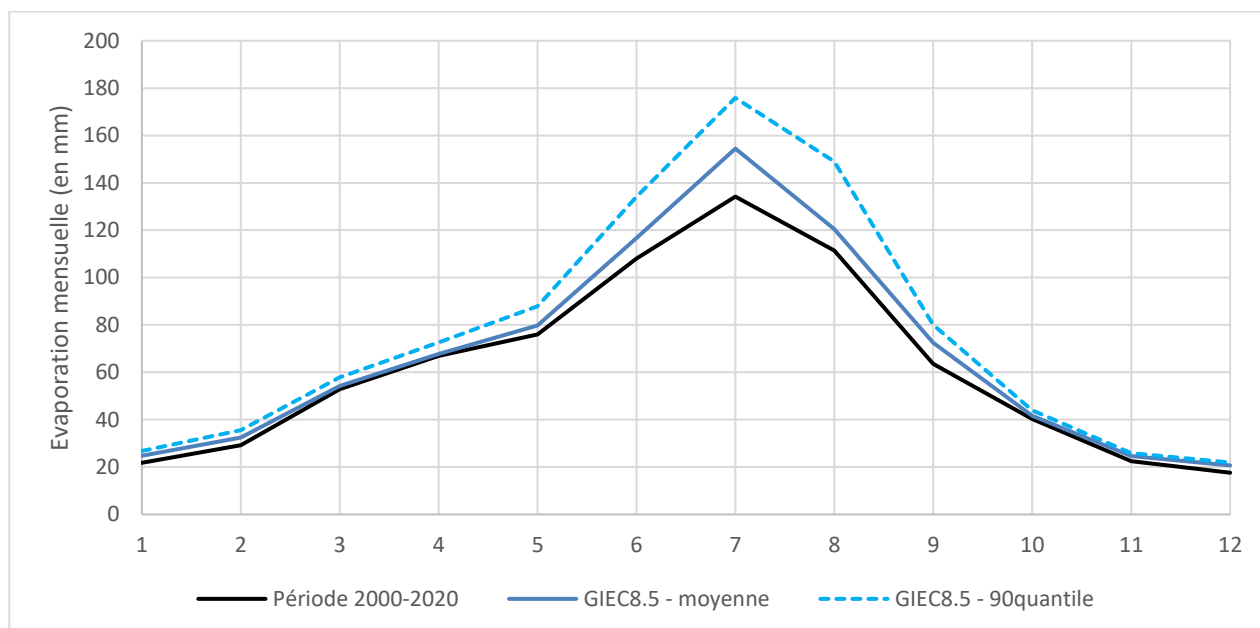


Figure 11 : Variation de la température à horizon 2050 (source : Banque mondiale)

Tableau 5 : Evaporation mensuelle en 2050 selon le scénario 8.5 du GIEC

	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
$T_{moy}$ (°C)	5.4	6	8	11	15.2	19.9	22.7	21.4	18.2	13	8.9	6.5
E (mm/jr)	0.8	1.2	1.7	2.3	2.6	3.9	5.0	3.9	2.4	1.3	0.8	0.7
$T_{90per}$ (°C)	6.56	7.31	8.97	12.05	16.72	22.18	24.86	24.91	19.79	13.84	9.66	7.34
E (mm/jr)	0.9	1.3	1.9	2.4	2.8	4.5	5.7	4.8	2.7	1.4	0.9	0.7



**Figure 12 : Variation de l'évaporation à l'échelle 2050 (source : Banque mondiale)**

En considérant une évolution de température moyenne du scénario le plus défavorable du GIEC (8.5), l'évaporation à l'échelle de 2050 serait de 810 mm, et de 912 mm avec le scénario de température au 90ième quantile.

A ce stade, l'impact de l'évaporation serait de 22%, et pourrait avoir un effet de l'ordre de 20 cm sur le niveau d'eau au droit de la gravière, lame d'eau bien inférieure à la hauteur d'eau disponible dans la gravière 2 (profondeur d'eau moyenne de l'ordre de 1,83m).

Or la mise en place de panneaux photovoltaïques sur la surface libre d'un lac réduit l'évaporation. En effet, l'équilibre thermique de la retenue est déterminé par un complexe équilibre entre les radiations solaires, l'évaporation et les mouvements de convection dans l'eau. Les 50 premiers centimètres absorbent environ 50% des radiations : c'est ce qui rend la surface plus chaude que les couches plus profondes. Lorsque la surface de la retenue est recouverte par des panneaux, on observe que :

- La vitesse du vent sous les flotteurs, c'est-à-dire immédiatement à la surface de la retenue, est fortement réduite ;
- L'énergie thermique arrivant à la surface de l'eau est également diminuée d'un facteur important, grâce au pouvoir de réflexion des panneaux, et à leur rendement de conversion ;
- Dans la cavité créée entre l'eau et le flotteur, l'air est presque entièrement saturé en vapeur d'eau.

Ces trois phénomènes tendent à diminuer l'évaporation, diminution qui peut dans certain cas atteindre jusqu'à 80%<sup>2</sup> de l'évaporation de la zone recouverte. Ainsi en recouvrant 20 % de la gravière 2 (1,29 ha recouvert sur les 6,42 ha disponibles), on peut considérer que l'installation des panneaux photovoltaïques entraîne une baisse de 16 % de l'évaporation sur le bilan de la gravière 2.

<sup>2</sup> « Floating PV Plants », Edited by Marco Rosa-Clot & Giuseppe Marco Tina, 2020

Ainsi, en considérant les apports par ruissellement et précipitations, et les fuites par infiltration constantes dans les trente prochaines années, les pertes par évaporation liée à l'augmentation de la température semblent se compenser entre la mise en place des panneaux et l'augmentation théorique de l'évaporation selon le scénario climatique du GIEC. Ainsi, actuellement si aucun assèchement n'a été observé ces trente dernières années par les exploitants des gravières, le risque sécheresse semble pouvoir être considéré comme faible sur la gravière 2.

### 3.4 SYNTHÈSE

Dans le cadre de ce présent rapport, et en absence de données piézométriques précises dans la zone d'étude, une analyse des apports par l'Arroux a été réalisée afin de s'assurer des possibles échanges entre le cours d'eau et les gravières.

En absence d'incision notable du cours d'eau de l'Arroux, le risque d'abaissement de la nappe est plutôt faible dans le secteur d'étude, ainsi, toutes les gravières situées en dessous du lit mineur de l'Arroux devraient être alimentées par le cours d'eau : le risque d'assèchement des gravières 1, 3, 4,5 et 6 est donc faible. Seule la gravière 2 se situe au dessus de la nappe de l'Arroux.

Une seconde analyse basée sur l'évolution de l'évaporation montre que les modifications climatiques selon les perspectives à moyen terme du GIEC sont contre balancées par l'impact des flotteurs sur l'évaporation. Le risque d'assèchement n'est donc pas envisageable suite à une modification de l'évaporation.

Nous pouvons donc conclure, vu les éléments en notre possession et l'absence d'assèchement observé par l'exploitant des gravières, que le risque sécheresse sur l'ensemble des six gravières est faible.

## 4 MODELISATION HYDRAULIQUE 2D

### 4.1 OBJECTIF ET METHODE

Les objectifs de la modélisation hydraulique 2D sont multiples :

- évaluer les caractéristiques de l'écoulement (hauteurs d'eau et vitesses) ;
- quantifier l'impact du projet sur les écoulements en cas de crue ;
- déterminer les lignes de courant en lit majeur pour alimenter l'expertise sur les embâcles et les risques induits.

La modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide du logiciel TELEMAC-2D. Le logiciel TELEMAC-2D résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espace horizontal. Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale. TELEMAC-2D trouve ses applications en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale.

Le logiciel TELEMAC-2D est présenté en ANNEXE 1.

### 4.2 CONSTRUCTION DU MODELE

#### 4.2.1 EMPRISE

L'emprise du modèle et sa structuration générale sont présentées en rouge sur la figure ci-après.



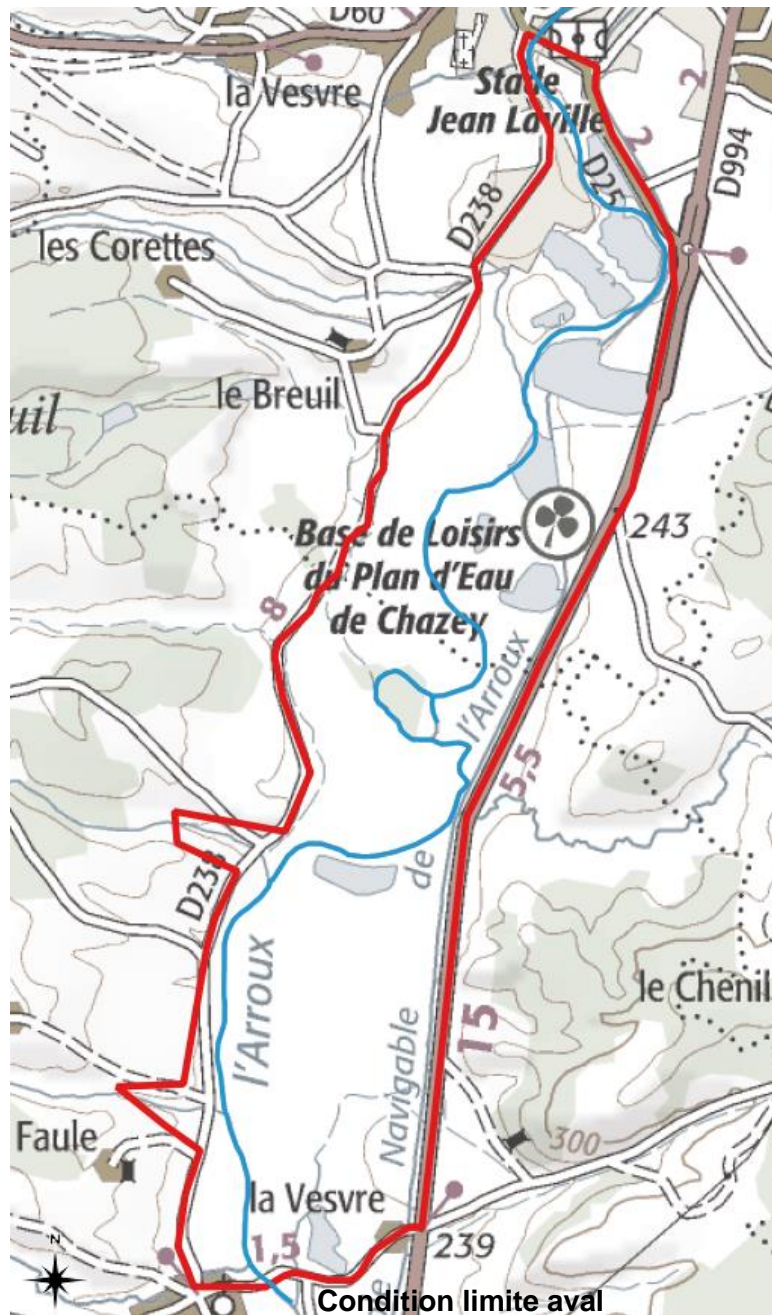


Figure 13 : Emprise du modèle 2D mis en œuvre

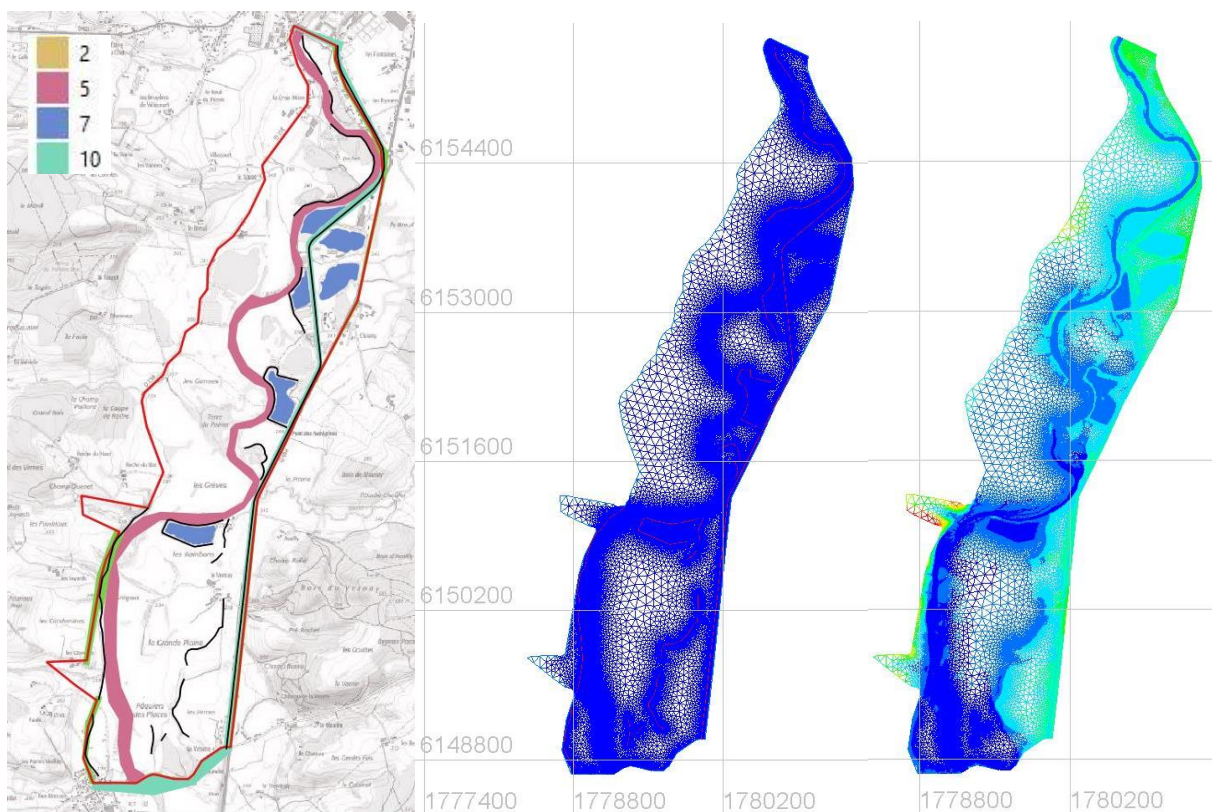
#### 4.2.2 MISE EN ŒUVRE

Le modèle est construit de façon à bien représenter les spécificités structurant les écoulements. Les zones de densités du maillage et les lignes de contraintes (remblais, routes) sont tracées sous SIG, puis intégrées au maillage BlueKenue afin d'obtenir le maillage du modèle 2D. Les données topographique sont ensuite intégrées pour renseigner l'altitude à chacun des nœuds du maillage.

**Tableau 6 : Caractéristiques des mailles du modèle Telemac**

Taille de mailles	Elements
2 m	Canal de l'Arroux, remblai
5 m	Lit mineur de l'Arroux
7 m	Gravière
10 m	Entrée et sortie du modèle
75 m	Lit majeur par défaut

Le modèle comprend environ 82 945 nœuds dont les tailles varient entre 2 m dans les secteurs les plus détaillés et 75 m dans le lit majeur.



**Figure 14 : Création du modèle TELEMAC de l'Arroux (de gauche à droite : zone de densité sous SIG – maillage – maillage renseigné en altitude)**

Les données topographiques intégrées au modèle sont les données Lidar, les données bathymétriques des gravières et les profils en travers de l'Arroux.

La condition initiale dans les gravières est le niveau d'eau relevé lors de la campagne bathymétrique en septembre 2021.

### 4.2.3 COEFFICIENTS DE FROTTEMENTS

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- K=8 pour les zones boisées,
- K=15 pour les zones de prairie,
- K=50 pour les gravières,
- K=70 pour les zones goudronnées,
- K=25 pour le lit mineur méandreux,
- K=28 pour le lit mineur peu méandreux.

Les coefficients de frottement sont cohérents avec ceux retenus par l'étude de Naldéo.

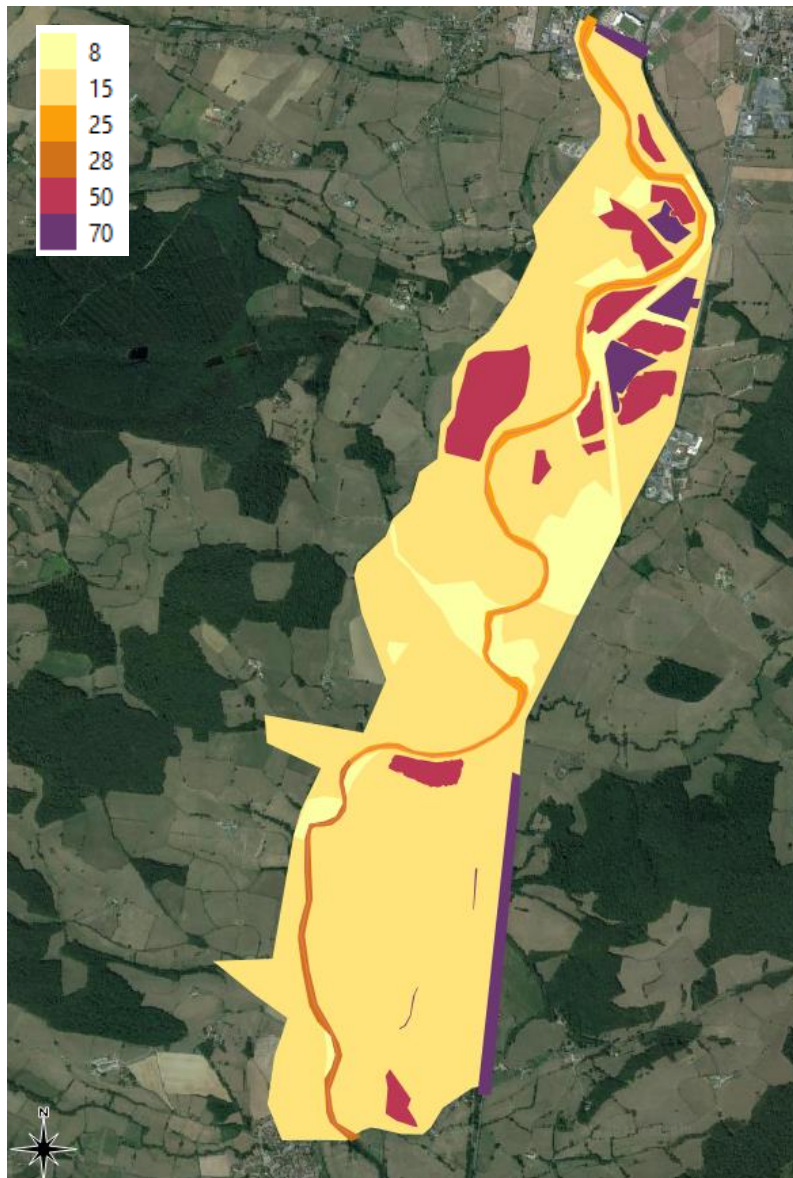


Figure 15 : Définition des zones de coefficients de frottement homogène en fonction du sol

## 4.2.4 CONDITIONS LIMITES

Un débit est injecté en amont du modèle, au droit du pont de la D25. Le bassin versant intermédiaire entre Gueugnon et la station hydrométrique est petit (2 207 km<sup>2</sup> à Gueugnon pour 2 277 km<sup>2</sup> à la station), et aucun affluent conséquent n'est présent. On peut donc considérer que les débits enregistrés au droit de la station hydrométrique peuvent être appliqués en amont de notre modèle TELEMAC. La forme de hydrogramme de crue retenu pour cette étude est détaillée dans le paragraphe 2.2.4.

La condition limite aval est une courbe de tarage de la station hydrométriques de Rigny-sur-Arroux fournie par la DREAL Centre Val de Loire (auteur et producteur de mesures), courbe valable à partir du 01/01/2021.

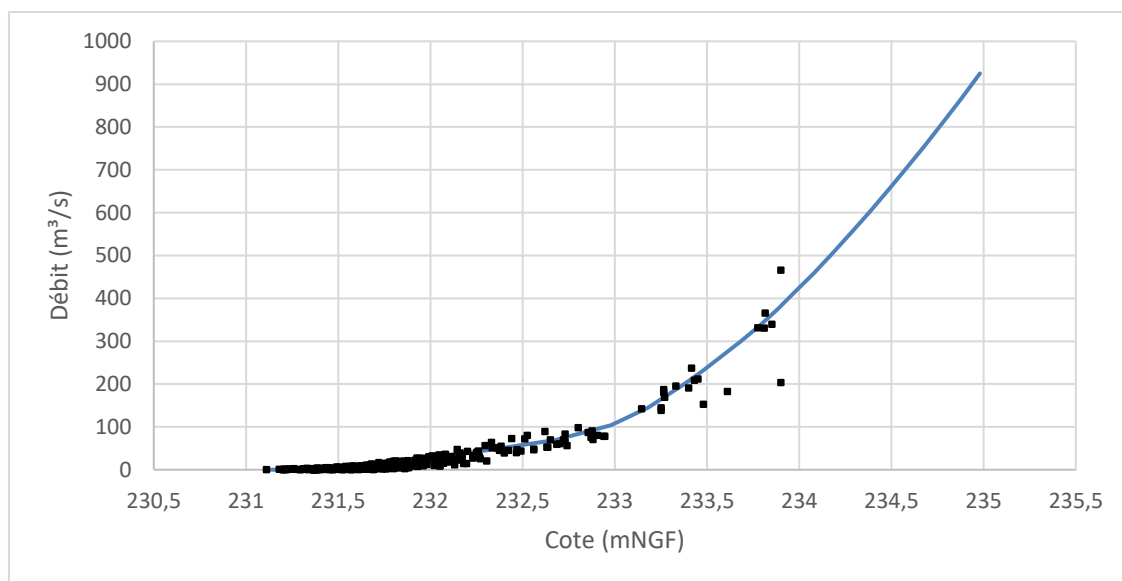


Figure 16 : Courbe de tarage aval (source : DREAL)

Les points de jaugeages sont identifiés sur la courbe de tarage, avec la valeur la plus forte à 466m<sup>3</sup>/s, correspondant à la crue de 2004. La courbe de tarage semble donc valide pour la gamme de débit modélisée dans le cadre de ce rapport.

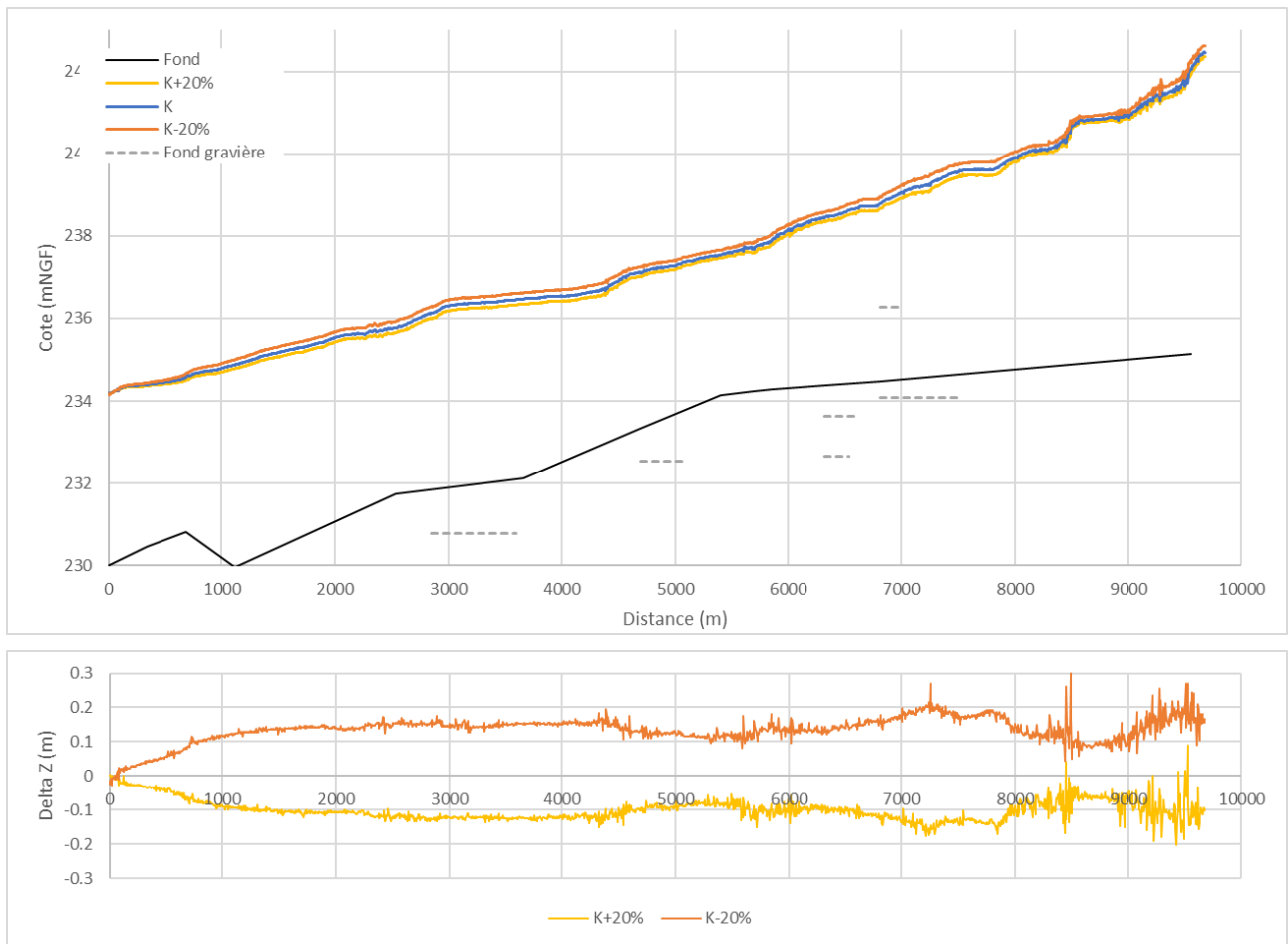
## 4.3 RESULTATS

### 4.3.1 TEST DE SENSIBILITE

N'ayant pas de données de calage sur la zone d'étude, il est nécessaire de quantifier l'impact du coefficient de Strickler sur les résultats de la modélisation.

Deux tests ont été effectués, le premier en minorant l'ensemble des coefficients de Strickler de 20%, le second en majorant cette fois ci les coefficients de Strickler de 20%. Le test de sensibilité a été mené pour un débit centennial de l'Arroux.

Les figures suivantes présentent les lignes d'eau obtenues dans le lit mineur de l'Arroux ainsi que les écarts en termes de cote d'eau entre les tests de sensibilité (K +20 % et K-20%) et la situation de référence (coefficient K).



**Figure 17 : Impact du coefficient de Strickler sur le niveau d'eau**

Le niveau d'eau dans l'Arroux peut varier de l'ordre de 20 cm pour des hauteurs d'eau de l'ordre de 4 m dans le lit mineur. La Figure 18 quantifie cet impact sur l'emprise de la zone inondable.

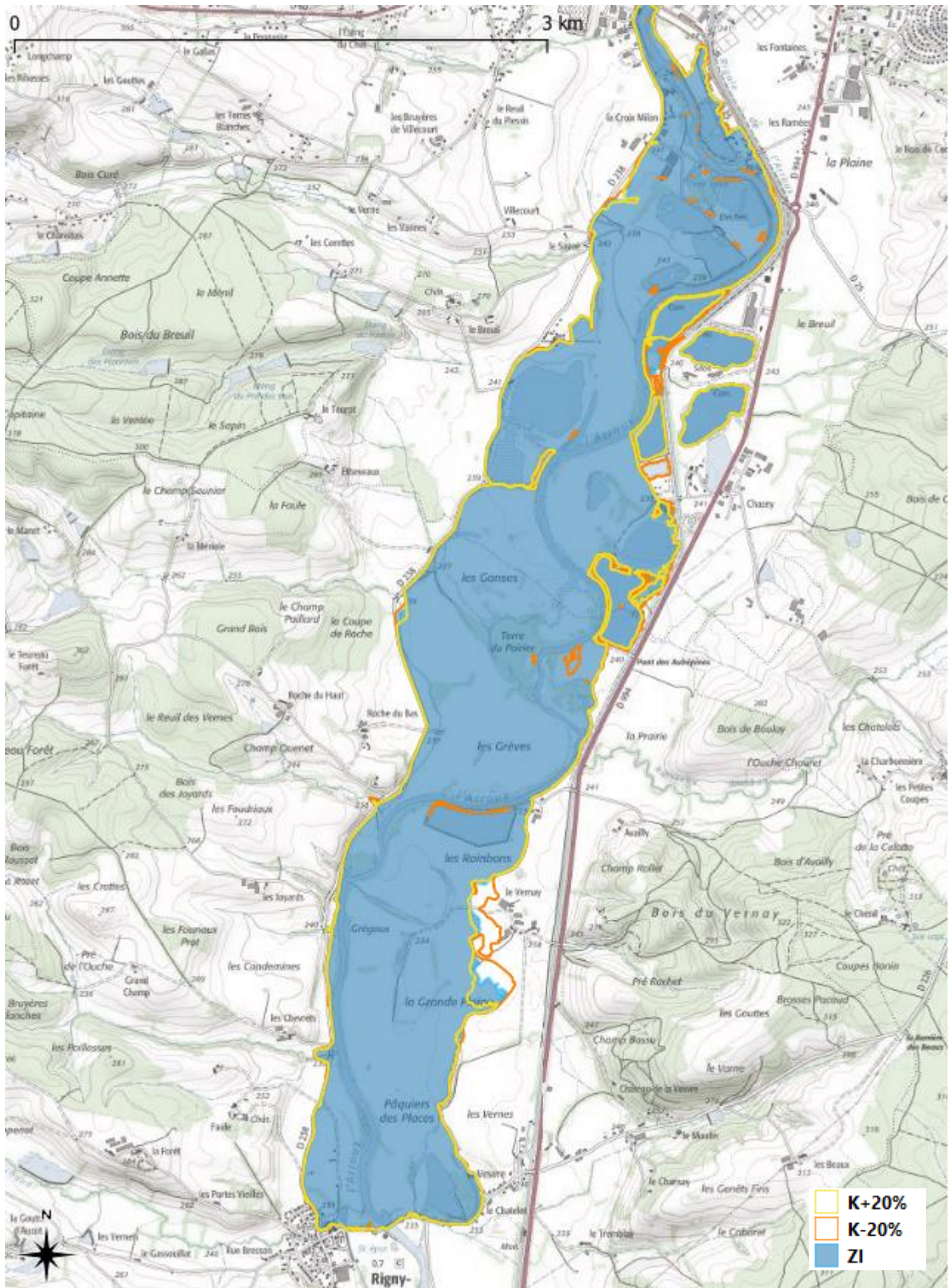


Figure 18 : Impact du coefficient de Strickler sur la zone inondable

Les zones principalement impactées sont celle située sur la rive gauche entre la gravière 3 et la gravière 4, et en aval de la gravière 6.

Pour un débit centennal, l'emprise de la zone inondable est contrainte sur la quasi-totalité du linéaire du modèle par les remblais routiers situés de part et d'autre de l'Arroux, et par les talus naturels du lit majeur. Ainsi, la surélévation de la ligne d'eau n'impacte que très légèrement la zone inondable. La sensibilité des résultats au coefficient de Strickler, aussi bien en termes d'emprise qu'en terme de niveau, est très faible. Les coefficients de Strickler exposés au § 4.2.3 sont donc conservés.

#### 4.3.2 SITUATION ACTUELLE

Le paragraphe ci-dessous vise à exposer les résultats hydrauliques en situation actuelle.

##### 4.3.2.1 Crue centennale

La crue centennale est estimée à environ 500 m<sup>3</sup>/s à Gueugnon. Les résultats au droit du secteur d'étude sont présentés sur l'image suivante où l'emprise de la zone inondable est tracée en rouge.

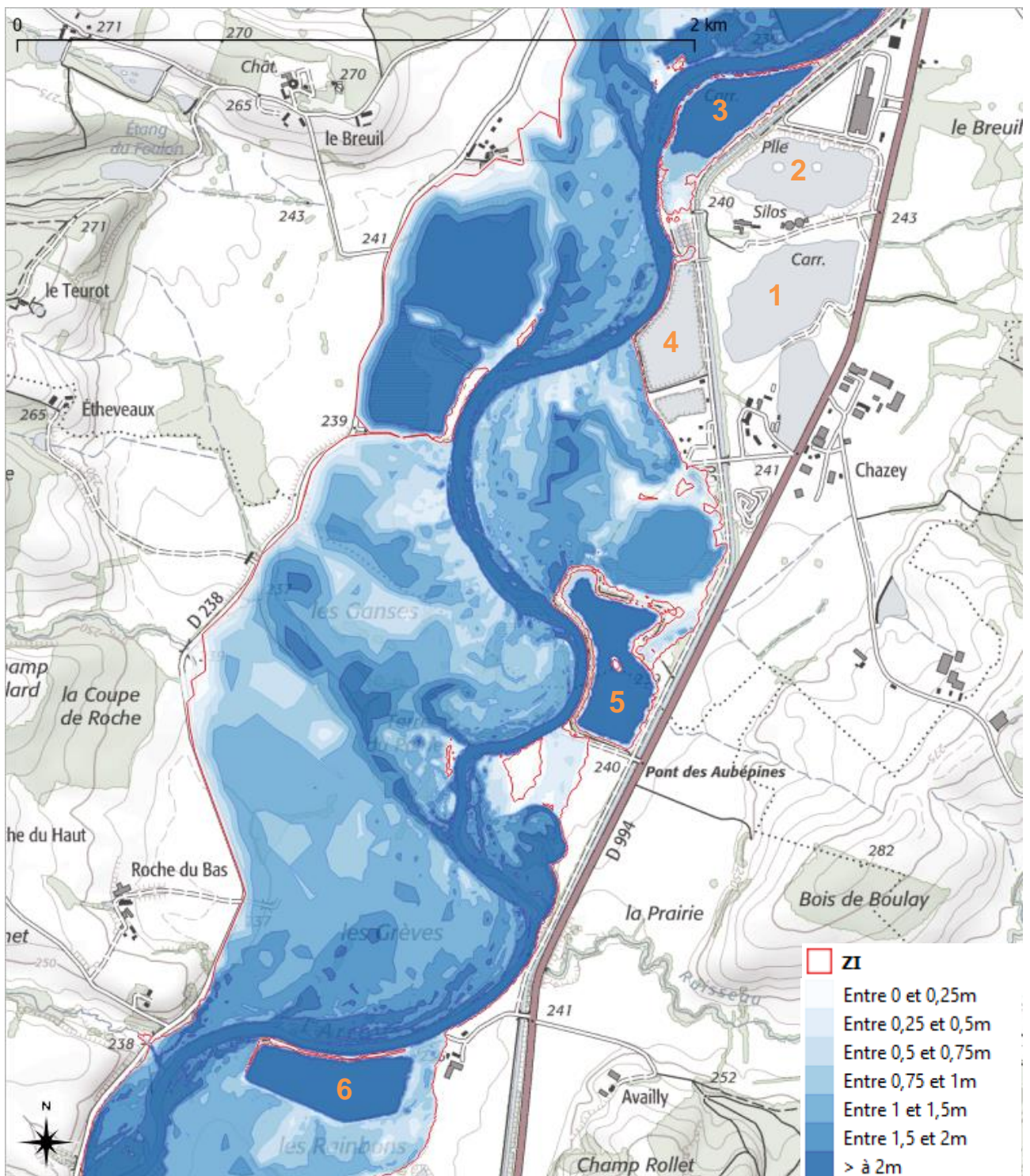


Figure 19 : Hauteur d'eau en état initial – crue centennale

Pour la crue centennale, les gravières 1, 2 et 4 ne sont pas comprises dans l'emprise de la zone inondable.

La figure suivante présente les vitesses issues de la modélisation.



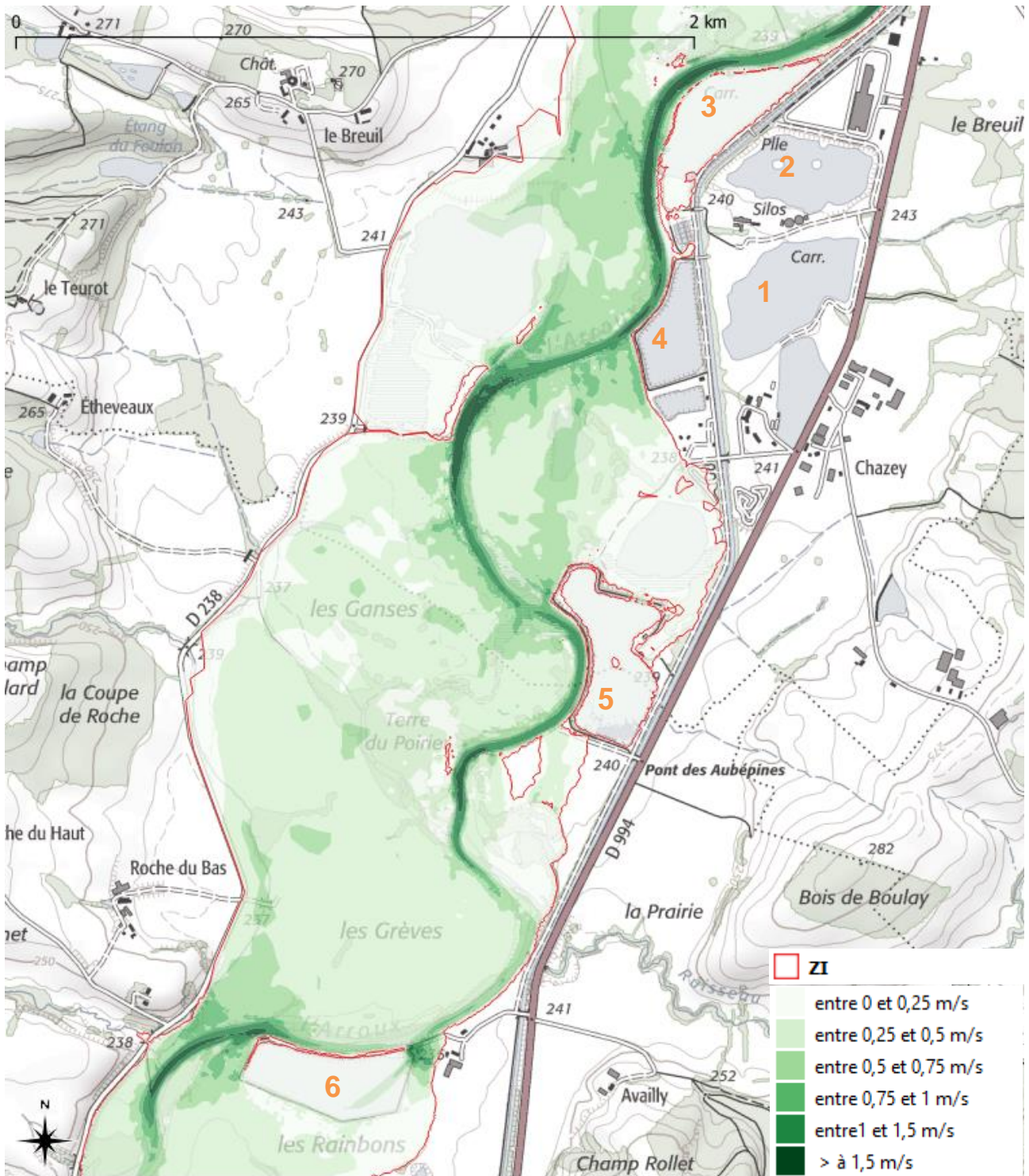


Figure 20 : Vitesse en état initial – crue centennale

En état actuel, les vitesses dans les gravières 3, 5 et 6 sont très faibles. La présence de remblai ceinturant les gravières permet de les isoler du lit majeur.

#### 4.3.2.2 Crue de référence

La crue de référence est estimée par la DDT à 650 m<sup>3</sup>/s. Les observations faites pour la crue centennale sont aussi observées pour la crue de référence : gravières hors d'eau, débit linéique très faible dans les gravières en eau.

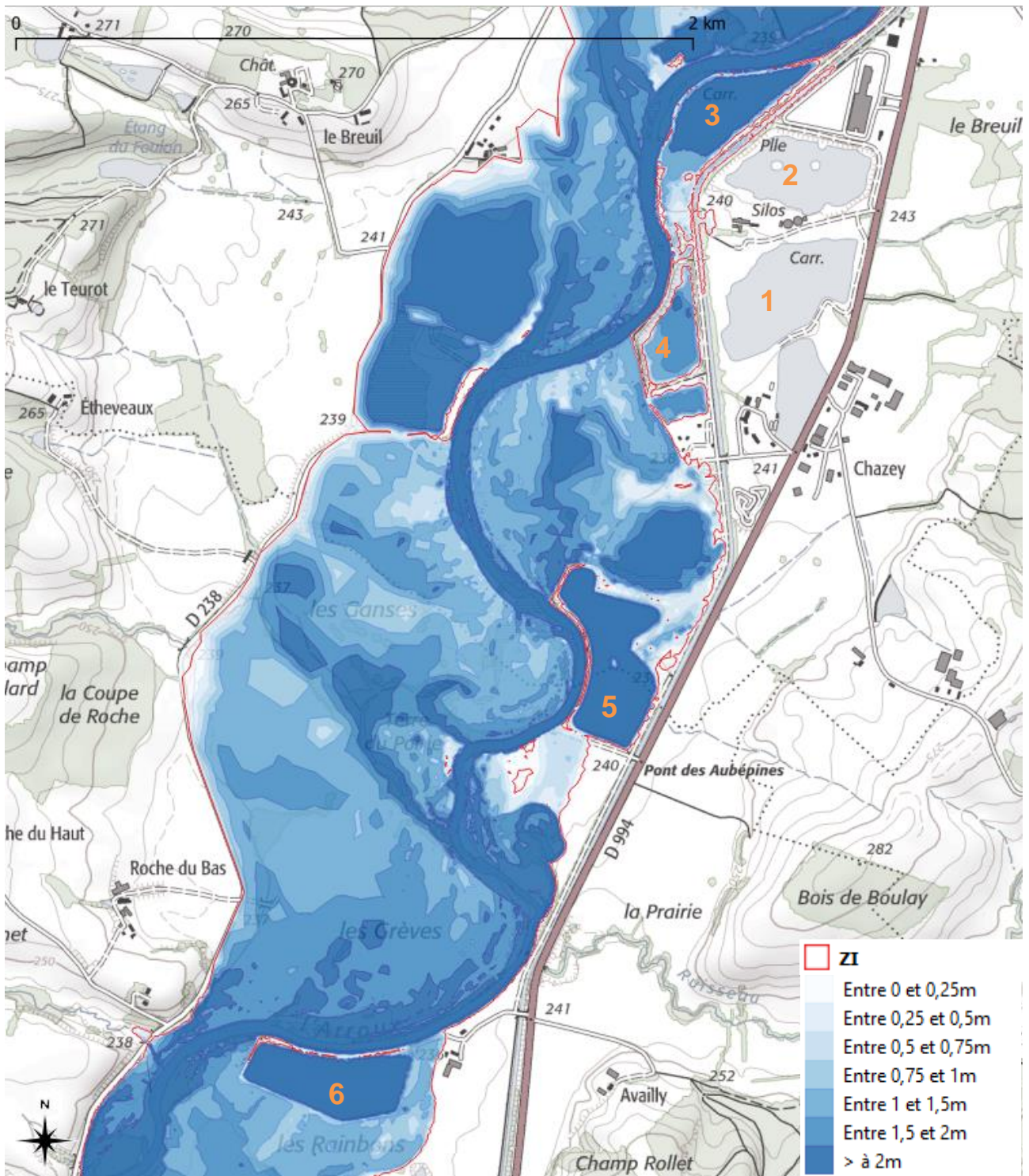


Figure 21 : Hauteur d'eau en état initial – crue de référence

idem

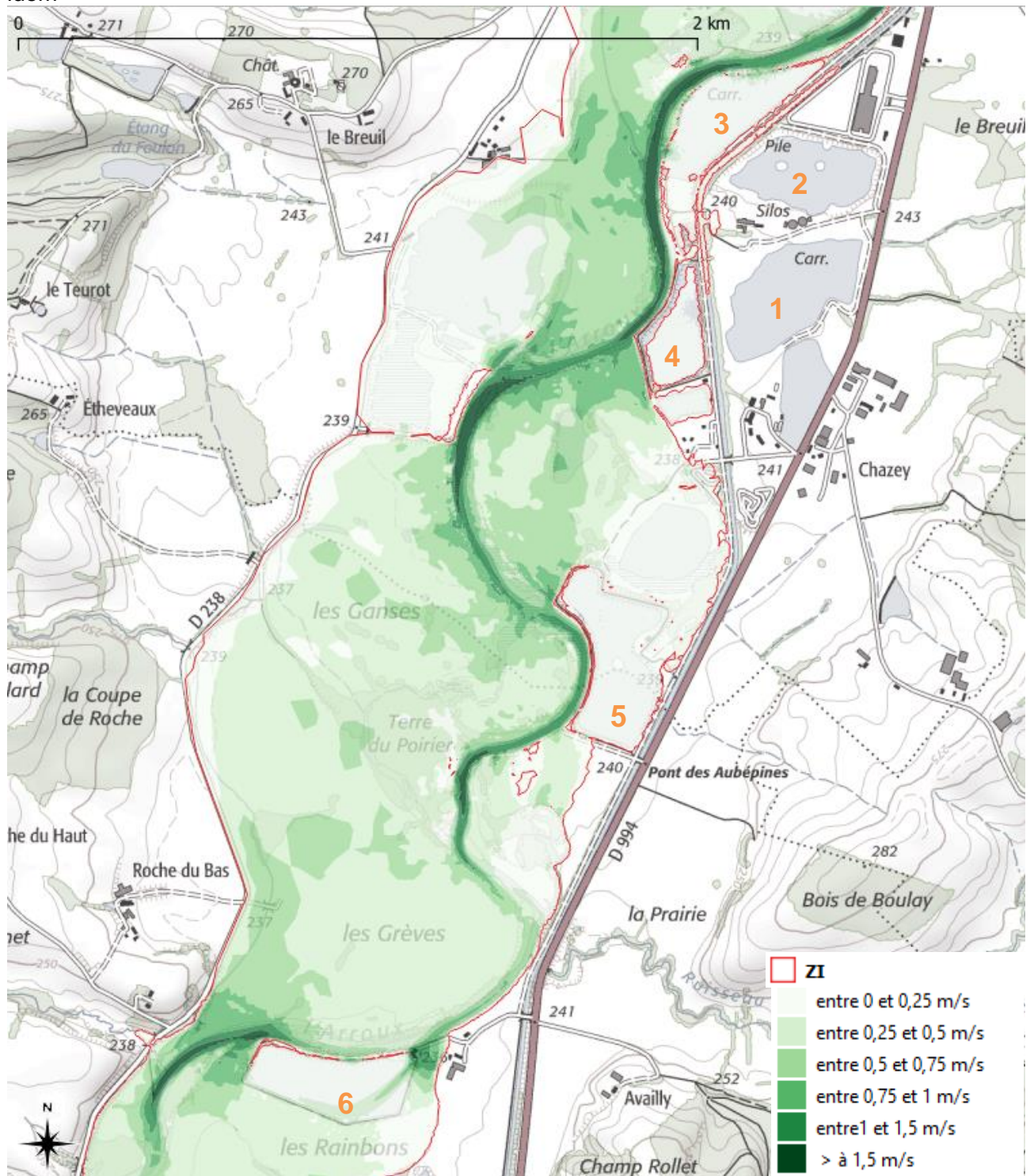


Figure 22 : Vitesse d'eau en état initial – crue de référence

L'analyse des vecteurs vitesse montre en effet que les vitesses sont faibles dans les gravières.

L'analyse de l'état initial montre que 3 gravières sur 6 sont situées hors de la zone d'écoulement de la crue de référence et que pour les 3 autres gravières les écoulements sont peu importants (faible hauteur d'eau et faibles vitesses). Ainsi, il est fortement probable que l'aménagement de panneaux photovoltaïques aient un impact très faible sur les écoulements.

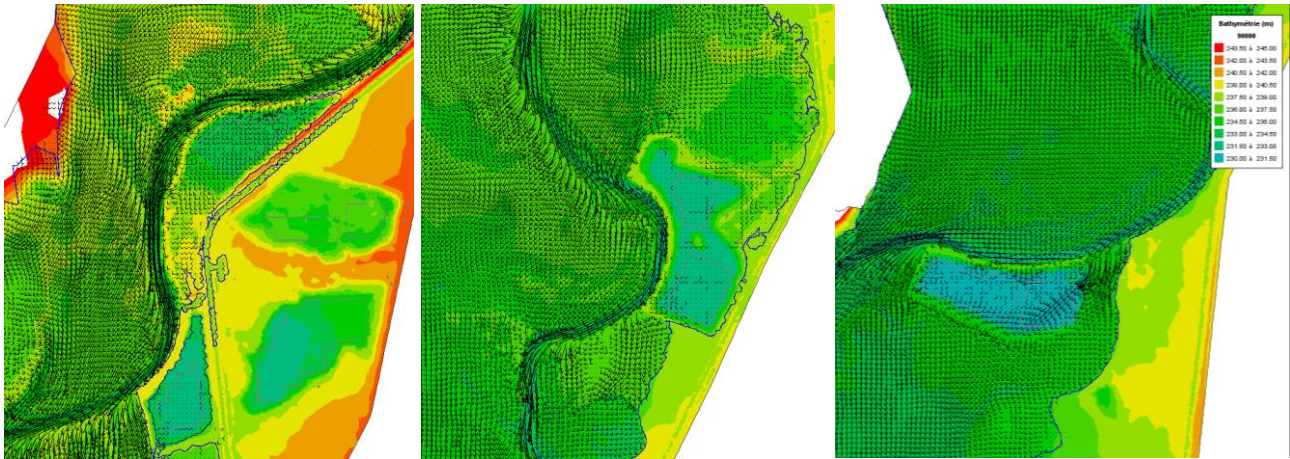


Figure 23 : Vecteurs vitesse d'eau en état initial – crue de référence

### 4.3.3 COMPARAISON AVEC L'AZI

L'atlas des zones inondables a été réalisé en 1996 sur la base d'un débit de 500 m<sup>3</sup>/s, débit estimé de la crue de 1965. L'hydrogramme de la crue de référence présenté au § 2.2.4. a été adapté pour correspondre au débit de pointe de 500 m<sup>3</sup>/s et injecté dans le modèle. L'emprise obtenue dans le cadre de notre étude est représentée en rouge sur la figure ci-dessous. Elle est superposée à l'atlas des zones inondables afin de comparer les résultats.




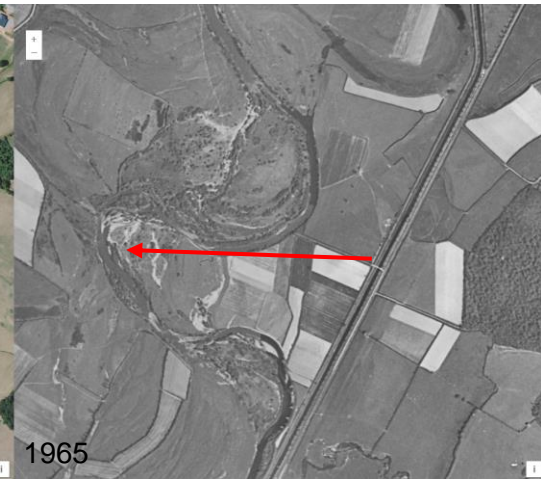


Figure 24 : Comparaison des zones inondables

Les écarts entre les emprises peuvent être dus à des différences méthodologiques (avec l'interpolation linéaire entre deux profils en travers pour les modèles 1D), et la mise à jour de données topographiques très précise grâce au RGEAlti.

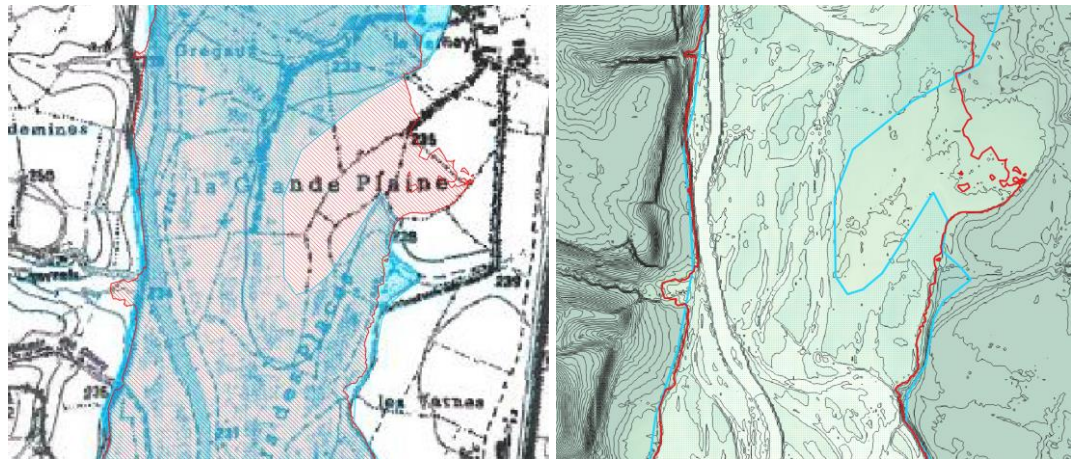
Quatre zones, entourées en orange présentent des écarts notables.

**Tableau 7 : Justifications des écarts AZI/ISL**

Justifications	
Zone 1	<p>En amont de la zone 1, le lit mineur de l'Arroux a été interpolé, en l'absence de données bathymétriques, ce qui peut expliquer les écarts concernant les débordements en lit majeur.</p>
Zone 2	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Entre les années 2000 et 2021, une nouvelle gravière a été exploitée, conduisant un une modification importante du terrain naturel dans le lit majeur</p>
Zone 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Entre 1965 et 2021, les orthophotos indiquent une mobilité de l'axe d'écoulement de l'Arroux. Le méandre observé en 1965 (flèche rouge sur l'image précédente) a été végétalisé et un tracé plus rectiligne s'est dessiné.</p> <p>Si les images indiquent une mobilité du lit entre 1965 et 2021, en l'absence de la création d'aménagements importantes ayant pu modifier la géométrie du lit et les nombreuses crues morphogènes de l'Arroux, on peut également supposer une mobilité du lit entre 1996 et 2021.</p> <p>Mobilité du lit mineur avec mobilité de l'axe d'écoulement de l'Arroux modifiant les conditions d'écoulement de l'Arroux</p>

## Justifications

### Zone 4



La zone inondable suit parfaitement les lignes de niveaux du scan utilisés en 1996. Or en superposant l'emprise de la zone inondable AZI sur le scan 25 actuel, on observe une incohérence avec les lignes de niveaux, il n'est donc possible de retrouver la même emprise. Le LIDAR permet d'affiner les résultats dans les zones peu pentues du lit majeur.

L'analyse des photos aérienne est issue du site [remonterletemps.ign.fr/](http://remonterletemps.ign.fr/)

Les différences méthodologiques et l'apport de précision grâce à un modèle bidimensionnel renseigné par des données topographiques extrêmement précises et les modifications du lit mineur et du lit majeur de l'Arroux justifient en grande partie les différences de zones inondables observées entre l'AZI et la modèle TELEMAC. Pour autant les écarts ne remettent pas en cause la représentativité de notre modèle.

## 5 IMPACTS HYDRAULIQUES DU PROJET

### 5.1 INTEGRATION DU PROJET

Les obstacles à l'écoulement des eaux des panneaux photovoltaïques flottants correspondent au tirant d'eau pluri-décimétrique des flotteurs

Pour quantifier l'impact des flotteurs sur les écoulements le coefficient de Strickler a été diminué au droit des panneaux photovoltaïques dans la modélisation 2D. La crue centennale et la crue de référence ont été simulées.

Il est précisé dans le document « *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains* » publié par le « *United States Geological Survey Water-Supply Paper* » qu'une obstruction appréciable de la section d'écoulement (entre 15 et 50 %) occasionne une diminution du coefficient de Strickler comprise entre 30 et 50.

Par mesure de sécurité une baisse du coefficient de frottement de 30, soit un Strickler de 20 sur les zones aménagées, a été retenue.

Une simulation a été réalisée pour la crue centennale et la crue de référence.

Le positionnement des structures flottantes a été fourni par OX2. Un total de 18,1 ha de structures flottantes a été rajouté au projet (réparties sur 6 gravières).

### 5.2 IMPACTS HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A L'ETAT ACTUEL

#### 5.2.1 IMPACT SUR LES HAUTEURS D'EAU

Pour la crue de référence, les impacts liés à l'installation des panneaux photovoltaïques en termes de hauteur d'eau sont inférieurs au centimètre (hauteurs de l'ordre de grandeur de la précision de la modélisation), on peut donc conclure qu'ils sont négligeables.

Le projet n'augmente pas l'emprise de la zone inondable et ne modifie pas les niveaux d'eau dans la zone inondable ni dans l'Arroux.

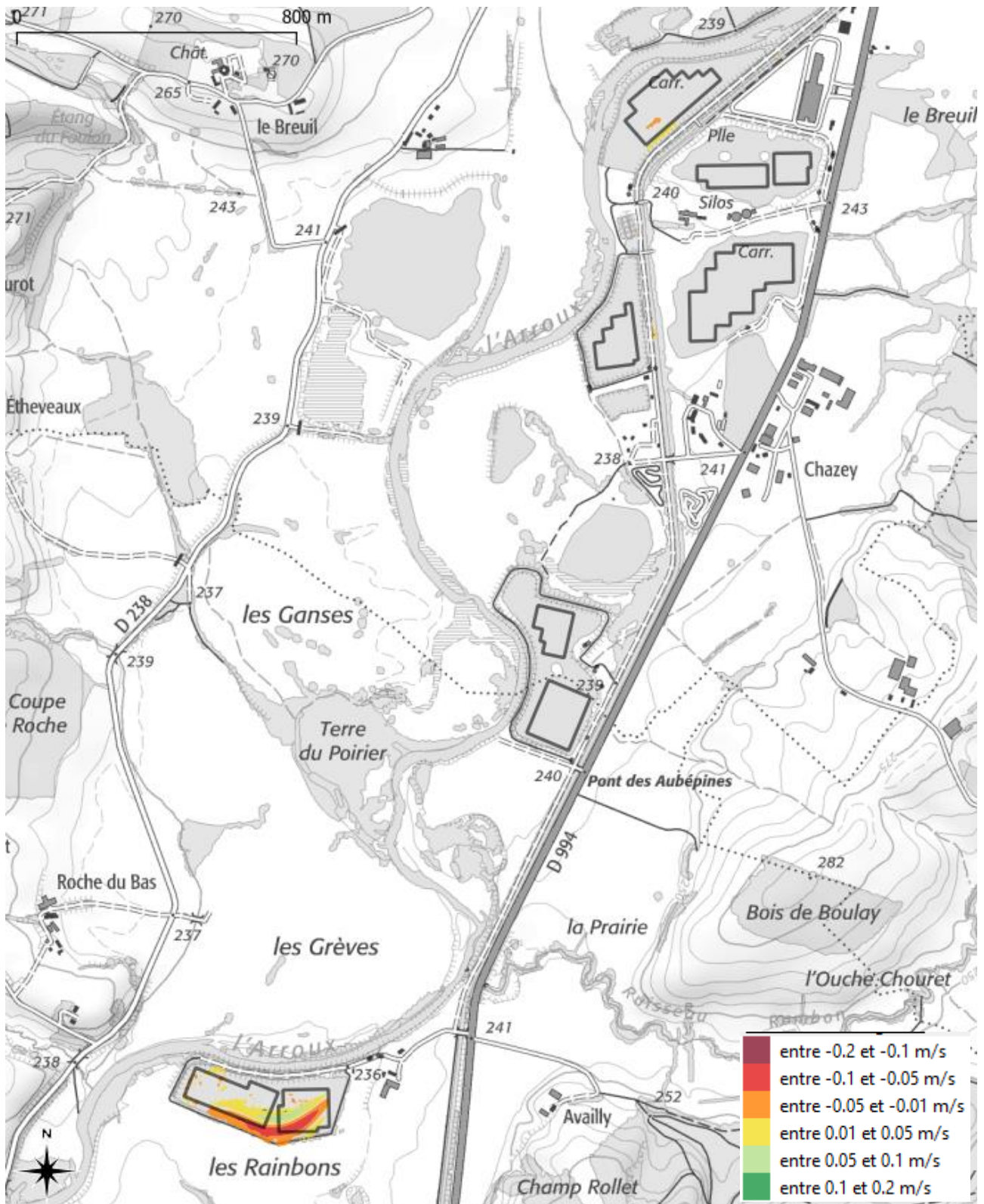
Les impacts pour les crues à faible période de retour sont inférieurs à 1cm, les aménagements n'ont donc pas d'impact significatif sur l'écoulement de l'Arroux.

#### 5.2.2 IMPACT SUR LA DYNAMIQUE DE LA CRUE

Aucune modification n'est observée sur l'hydrogramme de crue en aval de la zone de projet. La mise en place des panneaux et des installations environnantes n'induisent donc aucun impact sur le dynamisme de la crue.

#### 5.2.3 IMPACT SUR LES VITESSES

Le projet entraîne uniquement une modification des vitesses au niveau de la gravière 6, où un écoulement plus important a lieu avec une entrée d'eau par la zone amont (cf. Figure 23). Cet impact est marginal dans la mesure où l'incrément de vitesse est très localisé et très faible.





## 6 ANALYSE DU RISQUE EMBACLE

L'analyse du risque embâcles est actuellement au stade de recherche, et est basé uniquement sur des formules empiriques. ISL travaille en collaboration avec l'INRAE afin de produire un guide de diagnostic et de recommandations sur les embâcles flottants. L'analyse faite dans cette étude est basée sur la recherche bibliographique réalisée dans le cadre de cette collaboration. Ce paragraphe vise donc uniquement à donner des ordres de grandeurs sur les volumes de bois captés par l'ensemble du bassin versant.

### 6.1 OBJECTIFS DE L'ANALYSE

Lors des crues, la production et le transport de bois flottants sont des processus naturels qui peuvent être à l'origine d'une augmentation des désordres associés aux inondations (sur-inondations, chocs, etc.).

L'objectif de ce chapitre est d'analyser le risque lié aux embâcles en amont ou au niveau du projet.

Cette analyse est menée en deux étapes :

- Etape 1 : Estimer la quantité de bois pouvant être produite en amont du projet en cartographiant la zone d'étude sous QGIS et en utilisant des formules empiriques ;
- Etape 2 : Sur la base des résultats de la modélisation hydraulique, évaluer à dire d'expert le risque d'arrivée d'embâcles sur le site du projet.

### 6.2 QUANTIFICATION DES BOIS FLOTTANTS SUR LE BASSIN VERSANT

#### 6.2.1 POINT DE CALCUL

Cette étude porte sur le risque embâcle au niveau de la zone de projet, mais il est nécessaire de considérer comme zone d'étude tout le bassin versant de l'Arroux, de sa source au site du projet. Le point d'étude choisi est le pont de la D25, limite amont du modèle Telemac.

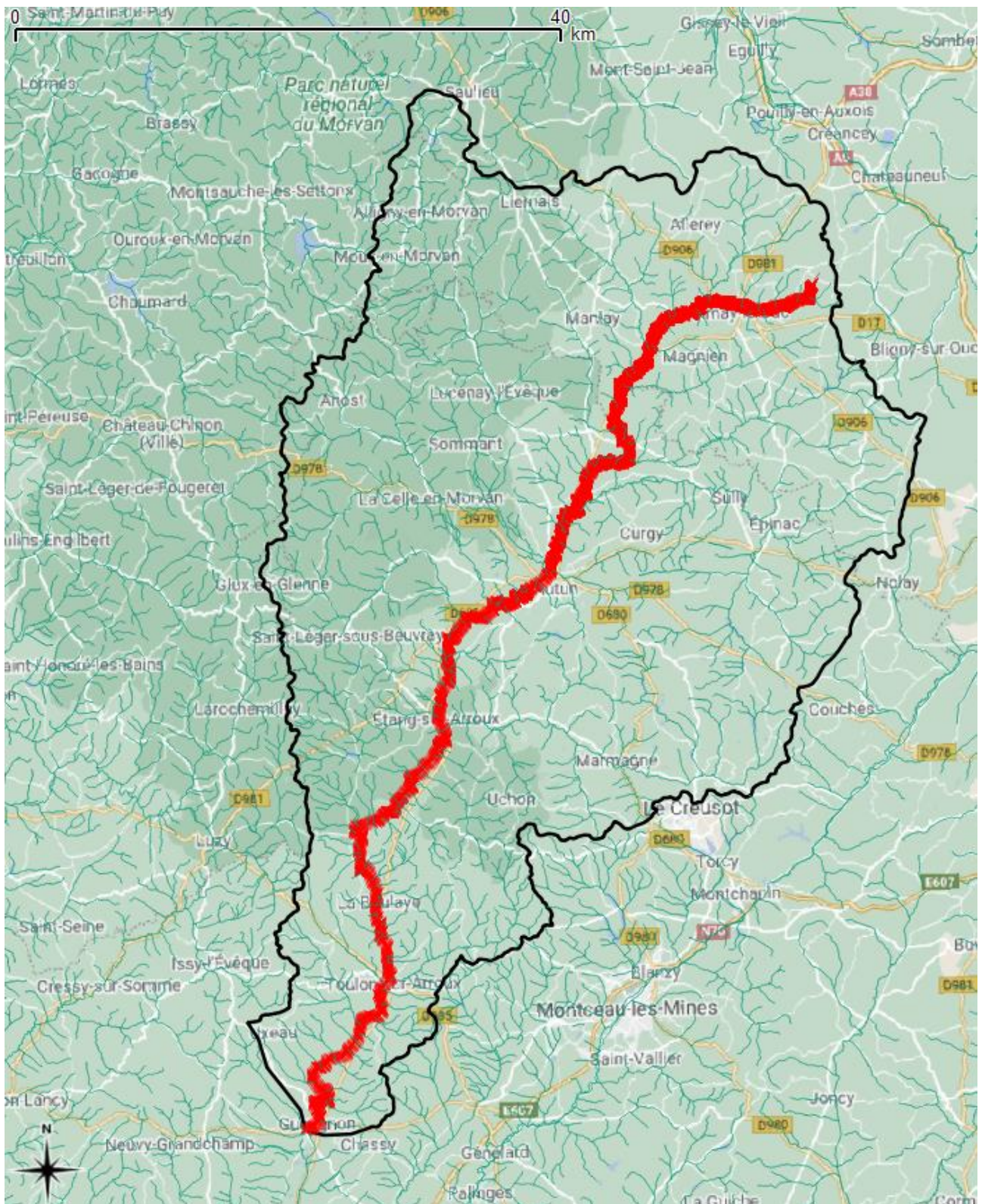


Figure 26 : Point de quantification du volume d'embâcles

NOTA : Le bassin versant de l'Arroux est de 2207 km<sup>2</sup> au point d'étude, la surface du bassin versant est supérieure à la plage de validité des formules, les résultats devront être pris avec précaution.

### 6.2.1.1 Méthode de quantification

Un travail de cartographie sous le logiciel QGIS permet de déterminer les paramètres nécessaires à l'élaboration d'une méthode de quantification basée sur des formules empiriques issues des recherches bibliographiques, et essentiellement du rapport du projet de recherche WoodFlow.

Les formules ne sont applicables qu'en considérant une crue précise, un point choisi pour les calculs et une zone d'étude bien déterminée. Les principaux paramètres pris en compte sont les suivants :

- Surface du bassin versant
- Longueur du chenal
- Largeur du chenal
- Volumes de crues et débits de pointe
- Longueur de chenal boisé
- Pentes du bassin versant
- Type de bois

### 6.2.1.2 Données

Afin de déterminer la valeur des paramètres listés précédemment, nous nous appuyons sur les bases de données suivantes :

- La Base de Données HYDRO © IGN 2020
- La Base de Données SYRAH (geo.data.gouv.fr)
- La Base de Données FORET © IGN
- Les données BanqueHYDRO pour les débits et les volumes de crues

### 6.2.1.3 Valeurs des paramètres

L'analyse des données SIG permet d'extraire la valeur des paramètres utilisés dans les formules empiriques du projet WoodFlow. Ces paramètres principaux sont considérés comme étant spécifiques au bassin versant étudié (surface du bassin versant, longueur du chenal, longueur du chenal boisé ...) et à un événement particulier (volume et débit de crue de la crue centennale).

**Tableau 8 : Valeurs des paramètres étudiés pour une crue centennale de l'Arroux**

	Valeur
Surface BV (km <sup>2</sup> )	2 207
Longueur cours d'eau (km)	109
Longueur chenal boisé (km)	22
Largeur cours d'eau (m)	27
Surface BV boisé (km <sup>2</sup> )	1 452
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	500
Volume de crue (m <sup>3</sup> )	40 754 717

## 6.2.2 RESULTATS

A l'aide de ces formules empiriques, nous pouvons donc estimer le volume de bois flottant susceptible d'arriver au niveau du point d'étude. Toutefois, elles ne fournissent que des ordres de grandeur, à utiliser avec précaution.

Le tableau suivant présente les estimations de bois flottants selon la formule utilisée (8 formules, basées chacune sur un paramètres déterminant), pour les centiles 10% , 50 % , 90 % et un scénario extrême.

Tableau 9 : Volume de bois flottants

Formule utilisée	Volume de bois flottants (m <sup>3</sup> )			
	10%	50%	90%	extrême
Surface BV (km <sup>2</sup> )	384	2 429	19 177	30 578
Longueur cours d'eau (km)	52	380	3 802	6 776
Longueur chenal boisé (km)	33	230	2 345	4 339
Largeur cours d'eau (m)		13 275		
Surface BV boisé	767	4 541	42 465	41 577
Débit de pointe (m <sup>3</sup> /s)	186	1 629	8 574	10 092
Volume de crue (m <sup>3</sup> )	151	1 132	9 812	16 481
Débit et volume de crue combinés	211	2 264	9 847	12 223

Les formules utilisées sont fournies en ANNEXE 2. La figure suivante présente les résultats obtenus grâce à l'application de ces formules empiriques au bassin versant de l'Arroux, pour une crue centennale. Quatre valeurs sont présentées pour chaque paramètre : les quantiles 10%, 50 % et 90%, ainsi qu'un scénario extrême. Cela permet d'obtenir une enveloppe des résultats.

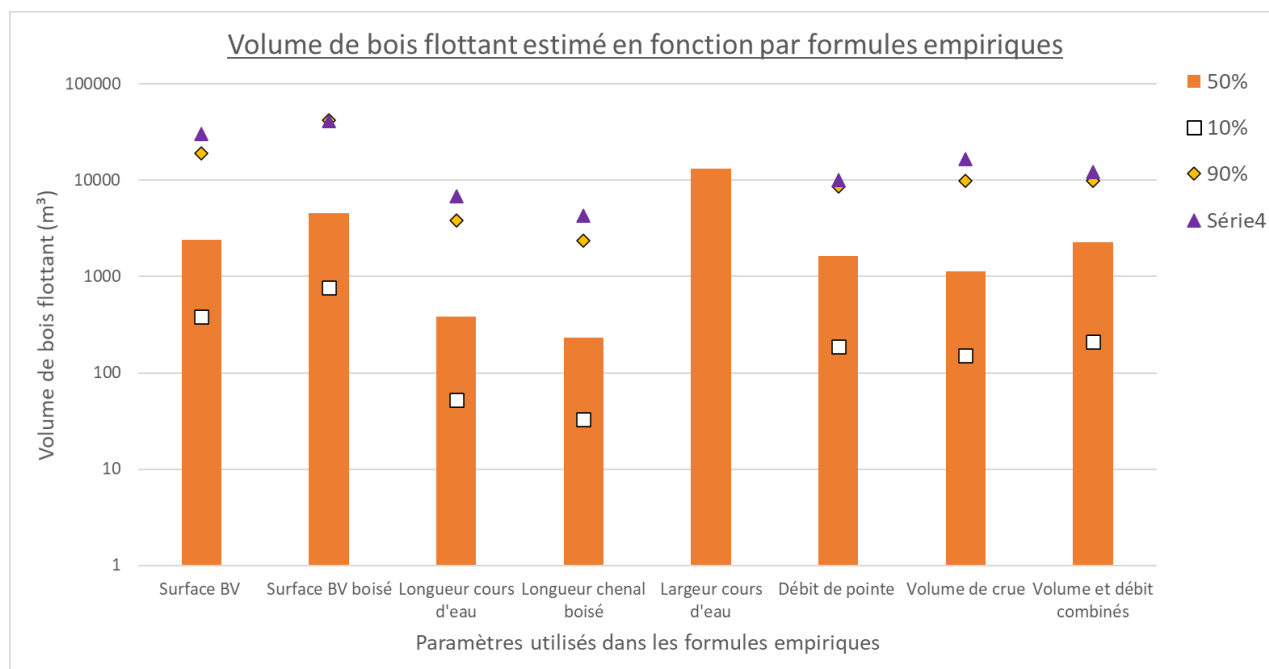


Figure 27: Volume de bois flottant susceptible d'arriver au niveau du point d'étude, estimé par différents paramètres, pour une crue centennale de l'Arroux

Selon la formule utilisée, les résultats sont très différents.

Pour un scénario moyen, correspondant au centile 50%, les valeurs varient entre 100 et 10 000 m<sup>3</sup> de bois flottant.

### 6.2.3 AMENAGEMENTS

Une fois le volume d'embâcles estimé, il est nécessaire d'évaluer la probabilité de transfert de ce volume sur le site. Cette estimation repose sur la présence d'obstacles à l'écoulement qui stopperaient le transfert des bois

Sur l'Arroux en amont de Gueugnon, on note la présence de cinq retenues d'eau (étangs), douze ouvrages en rivières (seuil, barrage, etc.) et quarante ponts, et plus de 300 ouvrages sur les affluents. Seulement sur la commune de Gueugnon, on note quatre ponts et trois seuils, ces obstacles à l'écoulement piégeront forcément un volume important de bois lors d'une crue centennale.

La figure suivante présente la localisation de ces obstacles à l'écoulement avec les zones de forêt répertoriées par le Corin Land Cover.

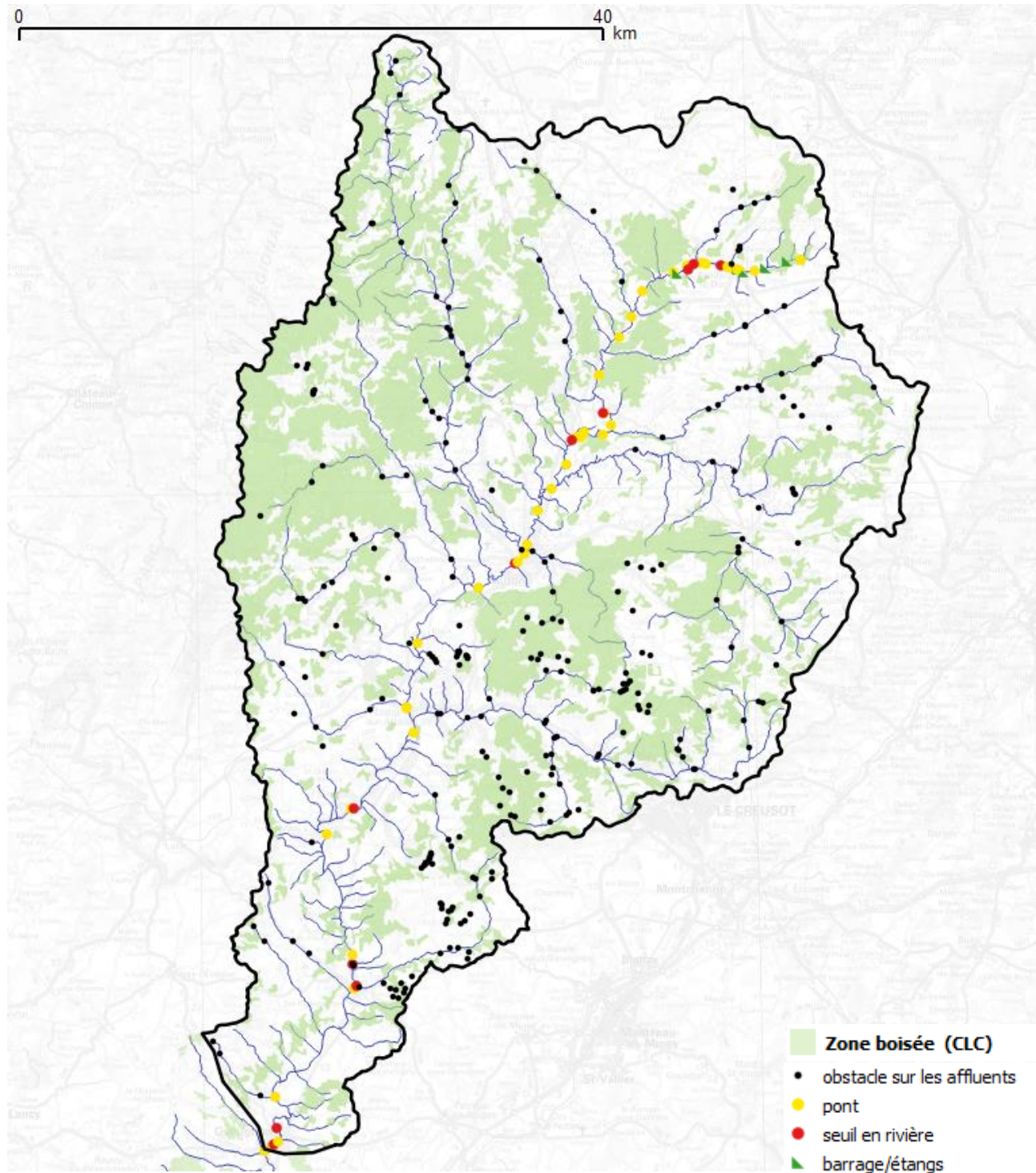


Figure 28 : Localisation des obstacles à l'écoulement et CLC

## 6.2.4 CONCLUSION

Ces formules de quantification permettent d'obtenir des ordres de grandeur du volume de bois flottant potentiellement produit lors d'une crue et transporté par l'Arroux. Toutefois, en réalité, seule une partie de ce volume de bois flottant atteint le point d'étude, généralement de nombreux bois flottants se retrouvent piégés en amont ou redéposés sur les berges. En fonction des caractéristiques des bois flottants (longueur, densité ...), de la morphologie du cours d'eau et des conditions d'écoulement, une quantité plus ou moins importante de bois flottant va réellement atteindre le point d'étude. Les ordres de grandeur indiqués ici sont donc largement majorants. Selon la littérature concernant les risques d'embâcles, ces formules de quantification des bois flottants permettent d'obtenir des ordres de grandeur cohérents, mais tout de même soumis à d'importantes incertitudes. Ainsi, les meilleurs résultats produits par ces formules correspondent à des bassins versants entre 5 et 200 km<sup>2</sup>. Pour des bassins versants plus étendus, comme celui de l'Arroux, le niveau d'incertitude augmente et le potentiel de bois flottant devient si important que la charge est potentiellement surévaluée.

Le quantile moyen 50 % est de 1800 m<sup>3</sup>. Il y a donc 50 % de chance qu'une crue centennale génère un volume d'embâcles supérieur ou égal à 1800 m<sup>3</sup>.

Cependant le transfert des bois sur le secteur d'études paraît peu probable compte tenu du nombre d'aménagements situés en amont immédiat du site.

## 6.3 PRODUCTION D'EMBACLES SUR LE SITE

### 6.3.1 PREAMBULE

L'estimation de bois flottant repose sur :

- **l'analyse morphologique** : analyse de l'évolution de la zone dans le temps, observation de la ripisylve et des possibilités de recrutement de bois flottants par érosion latérale ;
- **l'analyse courantologique** : étude des lignes de courant, champs de vitesses et hauteurs d'eau issus de la modélisation hydraulique.

### 6.3.2 ANALYSE MORPHOLOGIQUE

La majorité du bois flottant est produit par l'érosion des berges, dans l'extrados du cours d'eau. Etant donnée la configuration du site, les zones d'apports possibles vont se situer aux points repérés sur la Figure 29.

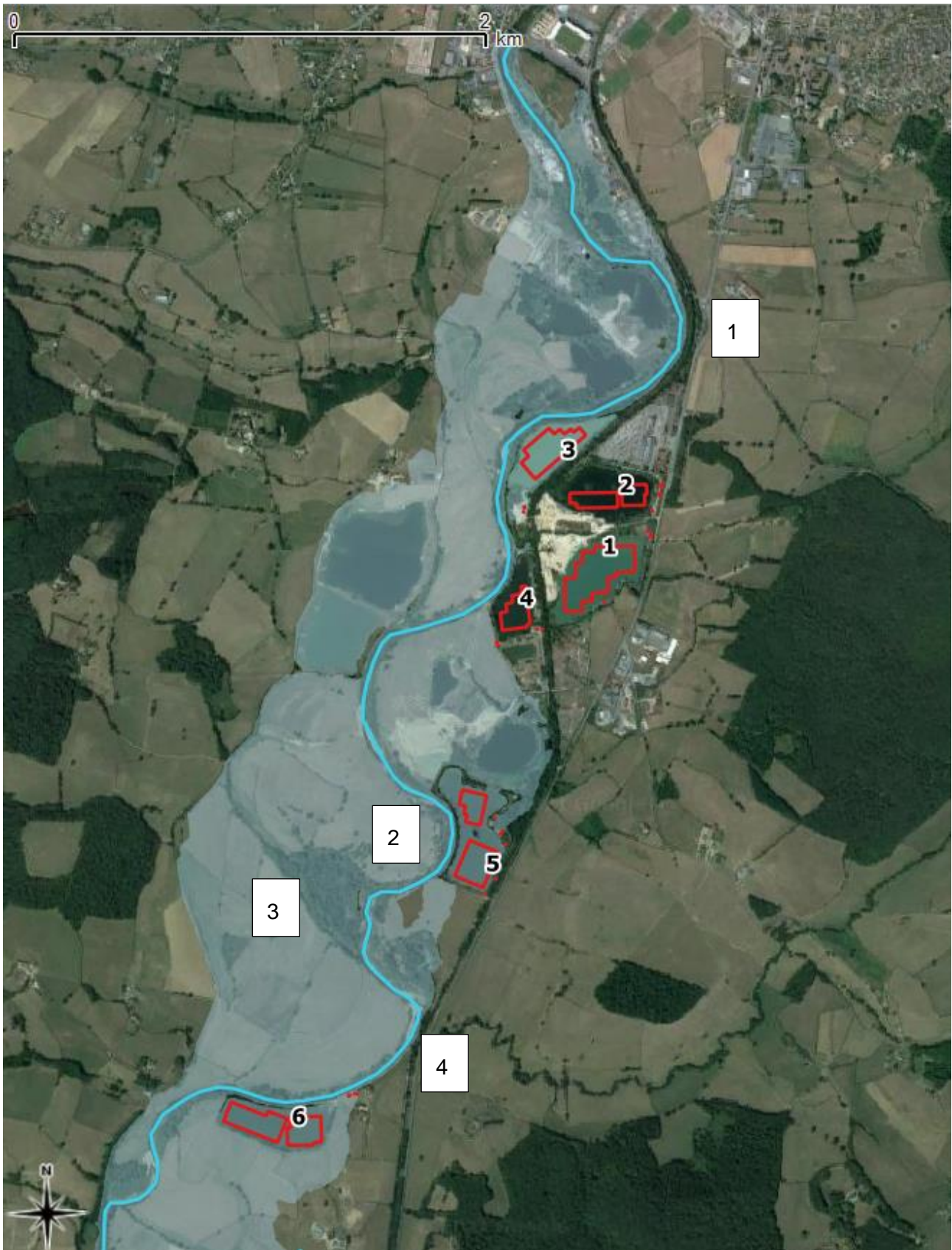


Figure 29 : Méandre de l'Arroux au droit du site

La plupart des méandres sont contraints par des remblais non submergés, l'érosion est donc peu probable. Le seul méandre qui peut contribuer aux embâcles est le méandre 3, qui est le court-circuit de l'ancien méandre de l'Arroux.

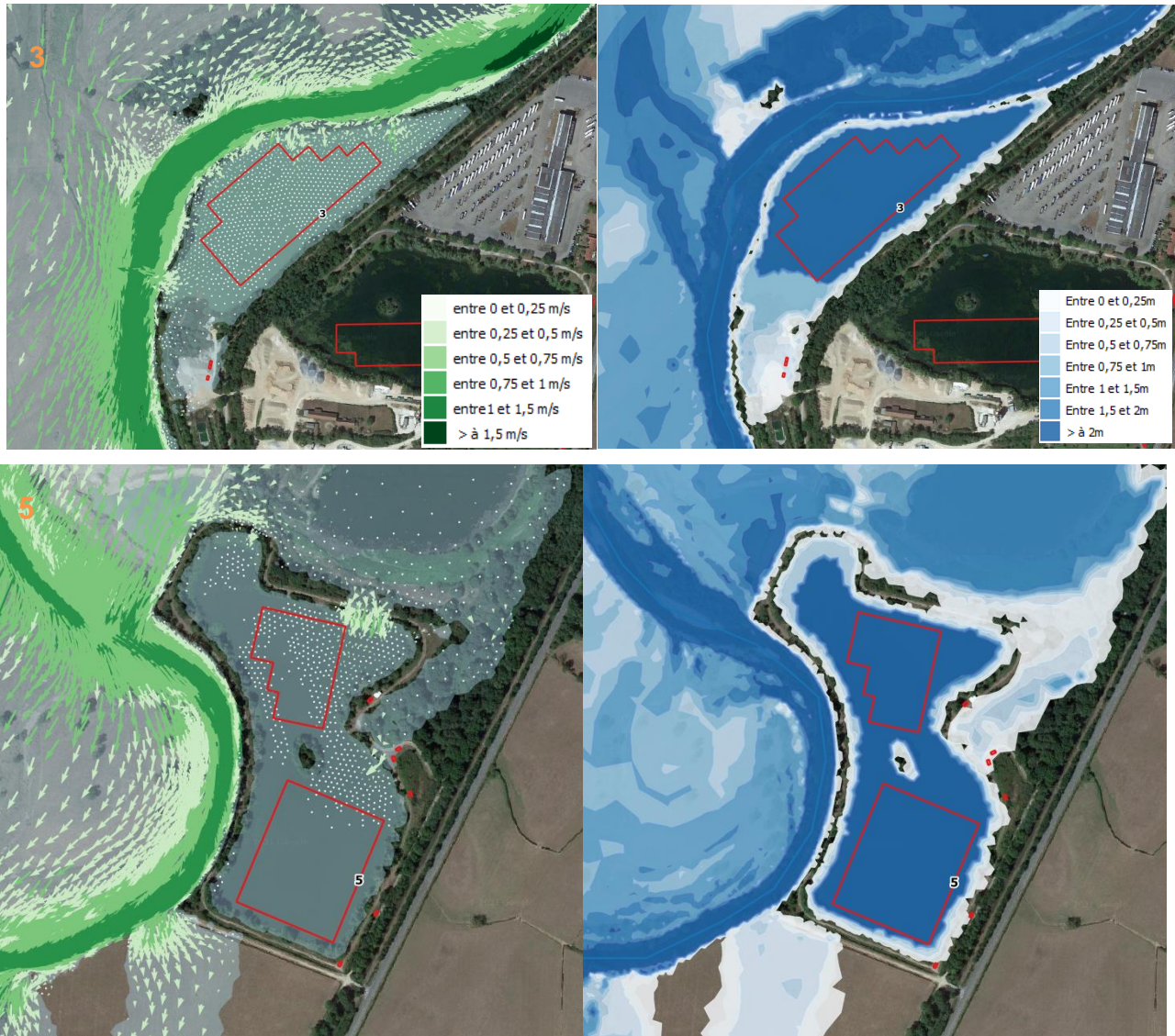
Ainsi, peu d'embâcles sont susceptibles d'être produits au droit du site, seul l'ancien lit pourrait fournir du bois flottant suite à l'érosion des berges.

### 6.3.3 ANALYSE COURANTOLOGIQUE

L'analyse courantologique se base sur les hauteurs et vitesses maximales sur la crue centennale.

Les gravières 1, 2 et 4 sont hors de la zone inondable, le risque embâcle est donc nul.

Les figures suivantes présentent les résultats du modèle au droit des gravières 3, 5 et 6.





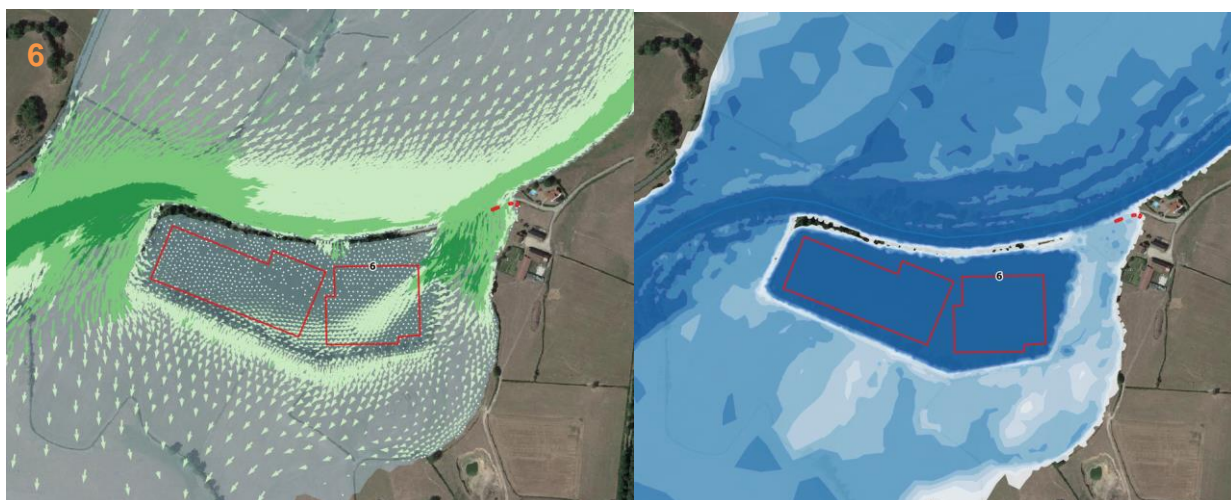


Figure 30 : Lignes de courant – crue centennale

◆ Gravière 3 :

L'entrée d'eau en amont de la gravière se fait par-dessus le remblai en aval d'un petit extradoss. La lame d'eau est inférieure à 50 cm au dessus du remblai, l'arrivée d'embâcles flottants volumineux dans la gravière est donc peu probable, seuls des très petits sujets peuvent entrer.

◆ Gravière 5

L'arrive d'eau dans la gravière 5 se fait sur une zone éloignée du lit mineur de l'Arroux, zone présentant des lames d'eau et des vitesses extrêmement faibles. La probabilité de présence de bois flottant dans cette gravière est faible.

◆ Gravière 6

L'entrée d'eau se fait sur la partie amont, avec une arrivée assez frontale, les vitesses sont importantes, avec une lame d'eau comprise entre 50 cm et 1 m. Dans le cas où des embâcles seraient produits en amont, ils pourraient donc arriver sur le site. Vu les hauteurs d'eau modélisées et en considérant un seuil de flottaison égal au diamètre des flottants<sup>3</sup>, seuls les petits sujets (diamètre inférieur à 50 cm) pourrait être transportés. Les autres resteraient bloqués dans le lit mineur. De plus, les flottants pourraient de plus être stoppés par la végétation présente au droit de la gravière.

<sup>3</sup> Cf. « floatation threshold » - Bocchiola et al - doi:10.1029/2006WR005846



**Figure 31 : Végétation sur la partie amont de la gravière 6**

#### 6.3.4 CONCLUSION

Le risque d'arrivée d'embâcles par l'Arroux sur les différents sites est faible sur les gravières 3, 5 et 6 et inexistant sur les gravières 1, 2 et 4.. Ce faible risque ne nous semble pas nécessiter d'infrastructures lourdes de type piège à embâcles ou drome pour les apports pouvant provenir du cours d'eau principal.

En revanche, lors de la visite de terrain, il a été identifié :

- une végétation dense sur les berges des gravières,
- la présence d'arbres imposants, certains étant de plus bien inclinés,
- la présence de bois morts sur la partie amont de la gravière 6,
- des zones d'érosion sur les berges ayant nécessité la mise en œuvre de technique de végétalisation pour assurer la stabilité des berges.

Le risque d'embâcles pourrait donc provenir directement des ripisylves des gravières elles-mêmes. Cependant ces embâcles ont peu de chance d'endommager les installations compte tenu des faibles vitesses des écoulements dans les gravières et de la zone tampon existante entre les panneaux photovoltaïques et les berges.

Pour traiter ce risque, il sera important d'entretenir la ripisylve sur les talus des gravières, de tailler les arbres et d'évacuer les branches mortes. La végétation ne doit pas pour autant être supprimée car le système racinaire des arbres permet de consolider les talus : l'arrachage ou la coupe franche des arbres présents peut fragiliser la stabilité de la digue. Il est essentiel de pérenniser la végétation existante et d'entretenir la végétation en place pour éviter la chute d'arbres lors d'un épisode de crue.



**Figure 32 : Végétation dense à proximité des gravières (ISL, photos septembre 2021)**

## 7 REGLEMENTAIRE

### 7.1 PROCEDURES REGLEMENTAIRES

L'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur des structures flottantes et la mise en œuvre de ce projet peut relever de plusieurs codes législatifs et réglementaires :

- Code de l'environnement,
- Code de l'énergie,
- Code forestier,
- Code de l'urbanisme,
- Code rural et de la pêche maritime.

#### 7.1.1 RAPPEL DES DONNEES TECHNIQUES DU PROJET

Le projet vise à produire de l'énergie électrique à partir de panneaux photovoltaïques flottants. Cependant, leurs installations et leur exploitation nécessitent de modifier des surfaces au sol autour des anciennes gravières.

Les valeurs du tableau de synthèse, ci-dessous, sont issues des données SIG :

Installation / ouvrage	Surface affectée (ha)	Surface imperméabilisée (ha)	Surface au dessus du TN (ha)
Pistes lourdes (2240 ml)	1,12	Perméable	Non
Aires de mise à l'eau	1,16	Perméable	Non
Aires de stockage/assemblage	1,25	Perméable	Non
Aires de croisement SDIS	0,047	Perméable	Non
Postes de transformation	0,036	0,036	0,036
Poste de livraison	0,005	0,005	0,005
Locaux de stockage	0,011	0,011	0,011
<b>TOTAL Surface</b>	<b>4,15</b>	<b>0,05 (520 m<sup>2</sup>)</b>	<b>0.05 (520 m<sup>2</sup>)</b>

#### 7.1.2 CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Les plans d'eau sont situés dans le département de Saône-et-Loire qui n'est pas exempt d'enjeux environnementaux puisqu'il est inclus entièrement dans les ZNIEFF :

N°	Libellé	Surface (ha)	Type
260030401	Basse vallée de l'Arroux	1 764	1
260014852	L'Arroux d'Autun à Digoin	7 111	2

**Tableau 10 : Espaces d'intérêt écologique situés sur la zone des projets**

Toutefois, aucune réglementation n'interdit l'installation de panneaux photovoltaïques dans cette zone. Seules des interdictions sont émises pour les cas suivants :

- dans le périmètre de protection d'un immeuble classé ou inscrit au titre des monuments historiques selon l'article L621-30 du Code du patrimoine ;
- dans un site inscrit ou classé selon les articles L341-1 et L 341-2 du Code de l'environnement ;
- au cœur d'un parc national délimité selon l'article L331-2 du même code ;
- dans les sites patrimoniaux remarquables (article L631-1 du Code du patrimoine).

Ces périmètres ne sont pas présents sur ou autour des sites du projet.

#### 7.1.2.1 Dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau

Le projet de construction d'une centrale photovoltaïque flottante sur les plans d'eau de Gueugnon entre dans le champ d'application des articles L.214-1 à L.214-6 et R.214-1 du Code de l'environnement.

#### Titres des rubriques retenues au titre de l'article R214-1 du Code de l'environnement

Le tableau ci-dessous détaille les rubriques susceptibles d'être levées par le présent projet

Titres des rubriques retenues			
Titre de rubriques	Intitulé	Projet concerné	Commentaires
TITRE I	Prélèvements	Non Concerné	Aucun prélèvement n'est prévu dans le cadre du projet
TITRE II	Rejets	Non Concerné	Aucun rejet n'est prévu dans le cadre du présent projet
TITRE III	Impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité publique	Non concerné	Aucun rejet n'est prévu dans le cadre du présent projet : voir détail ci-après.
TITRE IV	Impacts sur le milieu marin	Non Concerné	Le projet ne prévoit pas de travaux en milieu marin
TITRE V	Régimes d'autorisation valant autorisation au titre des articles L. 214-1 et suivants du code de l'environnement	Non Concerné	Le projet ne concerne pas des travaux : - de recherche ou de prospections géothermiques, - de recherche ou de stockages souterrains, - d'exploitation ou de recherche de mines, - de développement de l'énergie hydraulique, - de comblement de fossés, écoulement des eaux nuisibles, rectification, régularisation et curage des cours d'eau non domaniaux

Tableau 11 : Titres des rubriques concernées par le projet

Le projet va concerner le titre III des rubriques de la Loi sur l'eau. Les différentes rubriques de ce titre sont détaillées dans le paragraphe ci-après.

Il est à noter que dans certains dossiers, la rubrique suivante est parfois prise en compte :

*« 2. 1. 5. 0. Rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant :*

*1° Supérieure ou égale à 20 ha (A) ;*

*2° Supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha (D). »*

Cependant, l'intégralité des eaux interceptées par les panneaux ou les différentes structures est restituée sur place ou dans les plans d'eau quelque soit la phase du projet, il n'y a donc pas de modification des écoulements et aucune réelle interception des eaux pluviales. Les bâtiments à créer quant à eux représentent au global moins de 1 ha et restituent les eaux au droit des installations (pas de collecte d'eaux pluviales). De plus les pistes d'accès et les aires de chantier n'ont pas besoin d'être imperméabilisées (tout au moins sur toutes leurs surfaces) et peuvent permettre l'infiltration des eaux comme à l'état actuel.

Cette rubrique n'est donc pas retenue de fait pour ce projet (520 m<sup>2</sup> de bâtiments) et peut embarquer une procédure de déclaration si les surfaces étaient imperméabilisées (< 20 ha).

#### Rubriques prises en considération dans le titre III

Le tableau ci-après détaille les rubriques du Titre III de l'article R214-1 concernées ou non par le présent projet :

Rubriques étudiés					
Type/ Code rubriques	Intitulé	Classes	Procédure	Projet concerné	Commentaires
<b>Titre III</b>					
<b>IMPACTS SUR LE MILIEU AQUATIQUE OU SUR LA SÉCURITÉ PUBLIQUE</b>					
	Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant :				
3. 1. 1. 0.	1° Un obstacle à l'écoulement des crues (A) ;		Autorisation	Non concerné	<p>La construction du parc photovoltaïque flottant se situe dans un site avec plusieurs plans d'eau aux abords de l'Arroux, mais sans connexion directe avec le cours d'eau.</p> <p>De ce fait, les structures flottantes ne se trouveront pas dans le « lit mineur » du cours d'eau.</p> <p>L'écoulement des eaux, notamment en crue, n'est pas intercepté par les installations photovoltaïques et ouvrages associés. Cet écoulement reste toujours possible. (cf. rapport ISL 21F130_RL1_RevA : étude spécifique des incidences du projet sur les conditions d'écoulement des crues, de sécheresse, d'évaporation, et risque d'embâcles).</p> <p>Ce projet ne constitue pas un obstacle à l'écoulement en période de crue, cette rubrique n'est donc pas retenue pour ce projet.</p>

	<p>2° Un obstacle à la continuité écologique : Au sens de la présente rubrique, la continuité écologique des cours d'eau se définit par la libre circulation des espèces biologiques et par le bon déroulement du transport naturel des sédiments.</p>	<p>a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation (A) ;</p>	Autorisation	Non concerné	<p>La construction du parc photovoltaïque flottant n'aura aucune incidence sur la continuité écologique de l'Arroux voisine.</p> <p>L'ensemble des structures sera installé dans des plans d'eau déconnectés du cours d'eau.</p> <p>Ce projet ne constitue pas un obstacle à la continuité écologique, cette rubrique n'est donc pas retenue pour ce projet.</p>
		<p>b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation</p>	Déclaration	Non concerné	
3. 1. 2. 0.	<p>Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3. 1. 4. 0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau : Le lit mineur d'un cours d'eau est l'espace recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant débordement</p>	<p>1° Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m</p>	Autorisation	Non concerné	<p>Le profil en long ou en travers de l'Arroux ne sera pas modifié dans le cadre des travaux. Les ancrages étant dans les plans d'eau, les installations d'interfèrent pas avec le cours d'eau et ses berges en lit mineur.</p> <p>Cette rubrique n'est pas retenue pour ce projet.</p>
		<p>2° Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m</p>	Déclaration	Non concerné	



3. 1. 3. 0.	Installations ou ouvrages ayant un impact sensible sur la luminosité nécessaire au maintien de la vie et de la circulation aquatique dans un cours d'eau sur une longueur :	1° Supérieure ou égale à 100 m	Autorisation	Non concerné	La construction du parc photovoltaïque flottant n'est pas réalisée en cours d'eau <sup>4</sup> .
		2° Supérieure ou égale à 10 m et inférieure à 100 m	Déclaration	Non concerné	Il recouvre en partie les plans d'eau et les modalités de construction permettent la diffusion de lumière sur les zones non aménagées, mais aussi partiellement au droit des structures installées.  Cette rubrique n'est pas retenue du fait que le projet ne constitue pas un ombrage défini comme un impact au maintien de la circulation aquatique ou de la vie dans le cours d'eau (Arroux).
3. 1. 4. 0	Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes :	1° Sur une longueur supérieure ou égale à 200 m	Autorisation	Non concerné	L'arrêté de prescriptions <sup>5</sup> renvoie essentiellement à des opérations relatives en cours d'eau. Ce qui n'est pas le cas de ce projet.  Rappelons aussi que l'ensemble des structures sera fixé par un système d'ancrages immergés dans les plans d'eau, et ne nécessitent pas de consolidation ou de protection des berges.
		2° Sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m (D).	Déclaration	Non concerné	Cette rubrique n'est donc pas retenue pour ce projet.

<sup>4</sup> Arrêté du 13 février 2002 fixant les prescriptions générales applicables aux installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.1.3.0 (2°) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.

<sup>5</sup> Arrêté du 13 février 2002 fixant les prescriptions générales applicables aux consolidations, traitements ou protections de berges soumis à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.1.4.0 (2°) de la nomenclature annexée décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié.

3. 1. 5. 0.	Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet <sup>678</sup> :	1° Destruction de plus de 200 m <sup>2</sup> de frayères (A) ;	Autorisation	Non concerné	La construction du projet photovoltaïque flottant n'est pas susceptible d'induire un impact sur des zones de frayères, de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, dans l'Arroux.
		2° Dans les autres cas (D).	Déclaration	Non concerné	Une analyse de la typologie de la végétation rivulaire au droit des mises à l'eau doit permettre d'éviter les herbiers qui pourraient impacter la reproduction du brochet si ce dernier est présent dans les plans d'eau qui semblent fortement eutrophisés.  Cette rubrique n'est donc pas retenue pour ce projet, les espaces sensibles aquatiques étant préservés selon les éléments avancés par OX2..

<sup>6</sup> Arrêté du 30 septembre 2014 fixant les prescriptions techniques générales applicables aux installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.1.5.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

<sup>7</sup> Arrêté du 23 avril 2008 fixant la liste des espèces de poissons et de crustacés et la granulométrie caractéristique des frayères en application de l'article R. 432-1 du code de l'environnement

<sup>8</sup> Articles R432-1 à R432-1-5 du CE

3. 2. 2. 0.	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau : (Au sens de la présente rubrique, le lit majeur du cours d'eau est la zone naturellement inondable par la plus forte crue connue ou par la crue centennale si celle-ci est supérieure. La surface soustraite est la surface soustraite à l'expansion des crues du fait de l'existence de l'installation ou ouvrage, y compris la surface occupée par l'installation, l'ouvrage ou le remblai dans le lit majeur)	1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m <sup>2</sup> (A) ;	Autorisation	Non concerné	Le projet prévoit la mise en place des structures diverses autour des plans d'eau : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Locaux divers (520 m<sup>2</sup>),</li> <li>○ Pistes lourdes (1,12 ha au TN)</li> <li>○ Bases de stockage du matériel et des engins, et d'assemblages (1,25 ha au TN)</li> <li>○ Aires de mise à l'eau (1,16ha au TN),</li> <li>○ Aires de croisement (470 m<sup>2</sup> au TN).</li> </ul> Seuls 255 m <sup>2</sup> au-dessus du TN (locaux) seront implantés dans la zone inondable de l'Arroux.
		2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m <sup>2</sup> et inférieure à 10 000 m <sup>2</sup> (D).	Déclaration	Non concerné	Des plateformes provisoires vont être créées pour permettre l'assemblage des panneaux flottants, leur mise à l'eau et le stockage, mais aussi pour assurer le passage d'engins. Ces surfaces planes peuvent se faire au niveau du TN et ne pas modifier la zone d'expansion des crues de l'Arroux.  Cette rubrique n'est pas retenue au vu de la surface affichée.
3. 3. 1. 0.	Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais, la zone asséchée ou mise en eau étant :	1° Supérieure ou égale à 1 ha (A) ;	Autorisation	Non concerné	Le projet n'est pas de nature à provoquer un assèchement, une mise en eau, l'imperméabilisation ou le remblai de zones humides ou de marais de manière permanente. Cette rubrique n'est pas retenue.

		2° Supérieure à 0,1 ha, mais inférieure à 1 ha (D).	Déclaration	Non concerné	
--	--	---	-------------	--------------	--

Aucune autre rubrique du titre III ne porte le projet en procédure d'autorisation ou de déclaration de fait au vu des éléments présentés par OX2.

Les modalités de réalisation des aires de stockage/assemblage, de mise à l'eau et des pistes lourdes détermineront les procédures à mettre en œuvre au titre de la nomenclature IOTA. A ce stade, ces pistes étant perméables et établies au TN, elles ne constituent pas une perte de surface en crue ou une surface imperméabilisée.

Il est à noter que plusieurs études d'impact de projet de parc solaire flottant étudiées à titre de comparaison pour ce projet font mention qu'ils ne relèvent pas du Régime d'Autorisation ou de Déclaration au titre de la Loi sur l'Eau (IOTA).

#### 7.1.2.2 Evaluation environnementale au titre du R122-2 du CE

L'application de l'article R122-2 du Code de l'environnement et de son annexe, relatif à la mise en œuvre d'une évaluation environnementale, de façon systématique ou après un examen au cas par cas, et en application du II de l'article L. 122-1, peut soumettre le projet à Evaluation environnementale.

Elle nécessitera la rédaction d'une étude d'impact selon les prescriptions de l'article R122-5 du même code et par conséquent, soumet aussi le projet à une enquête publique conformément aux dispositions des articles L.123-1 et R.123-1 et suivants du Code de l'Environnement.

CATEGORIES de projets	PROJETS soumis à évaluation environnementale	PROJETS soumis à examen au cas par cas
<b>30. Ouvrages de production d'électricité à partir de l'énergie solaire.</b>	<b>Installations au sol d'une puissance égale ou supérieure à 250 kWc.</b>	Installations sur serres et ombrières d'une puissance égale ou supérieure à 250 kWc.

Bien que le projet d'implantation d'un parc solaire sur les plans d'eau ne soit pas une installation littéralement « au sol », compte tenu de l'importance du projet et de ses incidences potentielles sur l'environnement, celui-ci est soumis souvent à une étude d'impact et à un avis de l'autorité environnementale par analogie aux installations au sol.

La puissance du projet de parc solaire photovoltaïque sera supérieure à 250 kWc. Il est donc soumis à la réalisation d'une étude d'impact si on considère que ce dernier est installé au sol.

L'étude d'impact constitue une des pièces constitutives du permis de construire.

Les rubriques suivantes ne seront pas retenues car comme pour les éléments du R214-1, la rubrique ne s'y prête pas ou les seuils sont trop importants et non opposables au projet :

CATEGORIES de projets	PROJETS soumis à évaluation environnementale	PROJETS soumis à examen au cas par cas
10. Canalisation et régularisation des cours d'eau.		<p>Ouvrages de canalisation, de reprofilage et de régularisation des cours d'eau s'ils entraînent une artificialisation du milieu sous les conditions de respecter les critères et seuils suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m ;</li> <li>-consolidation ou protection des berges, par des techniques autres que végétales vivantes sur une longueur supérieure ou égale à 200 m ;</li> <li>-installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet pour la destruction de plus de 200 m<sup>2</sup> de frayères ;</li> <li>-installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à la dérivation d'un cours d'eau sur une longueur supérieure ou égale à 100 m.</li> </ul>
21. Barrages et autres installations destinées à retenir les eaux ou à les stocker.	Barrages et autres installations destinées à retenir les eaux ou à les stocker de manière durable lorsque le nouveau volume d'eau ou un volume supplémentaire d'eau à retenir ou à stocker est supérieur ou égal à 1 million de m <sup>3</sup> ou lorsque la hauteur au-dessus du terrain naturel est supérieure ou égale à 20 mètres.	<p>Barrages et autres installations destinées à retenir les eaux ou à les stocker de manière durable non mentionnés à la colonne précédente :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Barrages de classes B et C pour lesquels le nouveau volume ...</li> <li>c) ...</li> <li>d) Installations et ouvrages destinés à retenir les eaux ou à les stocker, constituant un obstacle à la continuité écologique ou à l'écoulement des crues, entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval du barrage ou de l'installation.</li> <li>e) ...</li> <li>f) ...</li> </ul>
39. Travaux, constructions et opérations d'aménagement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Travaux et constructions qui créent une surface de plancher au sens de l'article R. 111-22 du code de l'urbanisme ou une emprise au sol au sens de l'article <a href="#">R. * 420-1 du code de l'urbanisme</a> supérieure ou égale à 40 000 m<sup>2</sup>.</li> <li>b) Opérations d'aménagement dont le terrain d'assiette est supérieur ou égal à 10 ha, ou dont la surface de plancher au sens de l'article R. 111-22 du code de l'urbanisme ou l'emprise au sol au sens de l'article R. * 420-1 du code de l'urbanisme est supérieure ou égale à 40 000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Travaux et constructions qui créent une surface de plancher au sens de l'article <a href="#">R. 111-22</a> du code de l'urbanisme ou une emprise au sol au sens de l'article R. * 420-1 du code de l'urbanisme comprise entre 10 000 et 40 000 m<sup>2</sup>.</li> <li>b) Opérations d'aménagement dont le terrain d'assiette est compris entre 5 et 10 ha, ou dont la surface de plancher au sens de l'article R. 111-22 du code de l'urbanisme ou l'emprise au sol au sens de l'article R. * 420-1 du code de l'urbanisme est comprise entre 10 000 et 40 000 m<sup>2</sup>.</li> </ul>

47. Premiers boisements et déboisements en vue de la reconversion de sols.	a) Défrichements portant sur une superficie totale, même fragmentée, égale ou supérieure à 25 hectares.	a) Défrichements soumis à autorisation au titre de l'article L. 341-3 du code forestier en vue de la reconversion des sols, portant sur une superficie totale, même fragmentée, de plus de 0,5 hectare.
	b) Pour La Réunion et Mayotte, dérogations à l'interdiction générale de défrichement, mentionnée aux articles L. 374-1 et L. 375-4 du code forestier, ayant pour objet des opérations d'urbanisation ou d'implantation industrielle ou d'exploitation de matériaux.	b) Autres déboisements en vue de la reconversion des sols, portant sur une superficie totale, même fragmentée, de plus de 0,5 hectare. En Guyane, ce seuil est porté à : -20 ha dans les zones classées agricoles par un plan local d'urbanisme ayant fait l'objet d'une évaluation environnementale ou, en l'absence d'un tel plan local d'urbanisme, dans le schéma d'aménagement régional ; -5 ha dans les autres zones.
		c) Premiers boisements d'une superficie totale de plus de 0,5 hectare.

### 7.1.3 CODE FORESTIER

Les routes d'accès existent, et il n'est pas nécessaire de créer de nouvelles pistes d'accès pour que les engins de chantier atteignent les zones de chantier au droit des plans d'eau.

En absence de boisement sur le secteur intéressé par ces installations, il semble que seules seraient nécessaires des coupes d'arbres ou élagage pour accéder dans le plan d'eau. Si cette absence de terrains boisés (ou pas de changement de la destination des terrains) est confirmée, ce projet ne nécessitera pas une autorisation de défrichement selon les articles L341-1 et 2 du code forestier, dont le dossier est établi selon l'article R341-1 du code forestier (avec formulaire Cerfa 13632).

En cas d'ancrage des flotteurs en berge, suivant les modalités de réalisation, une demande d'autorisation de défrichement pourra être demandée. En cas d'ancrage en fond, cette autorisation ne sera pas nécessaire.

Il est à noter que dans le cadre d'un dossier de demande d'autorisation environnementale, ce point est traité comme une pièce intégrante du dossier selon l'article D181-15-9 du code de l'environnement et permet de mutualiser la procédure. Cependant, les seuils ne sont pas modifiés et ne soumet toujours pas le projet à une autorisation de défrichement.

### 7.1.4 CODE DE L'URBANISME

Le décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité procure un cadre réglementaire pour les **installations photovoltaïques au sol** (permis de construire, étude d'impact, enquête publique).

Le permis de construire concerne les projets de puissance installée supérieure à 250 kWc (ou supérieure à 3 kWc soumis s'ils se trouvent dans des secteurs protégés).

Pour les ouvrages de production d'énergie, non destinée principalement à une utilisation directe par le demandeur, le permis relève de la compétence du préfet en application de l'article R.422-2 du Code de l'Urbanisme.

Dans la circulaire du 18 décembre 2009, relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol, les conditions d'installation visent à limiter les possibilités d'occuper les terres agricoles et doivent se conformer aux zonages d'urbanisme dans les Plans d'Occupation des Sols (POS) ou Plans Locaux d'Urbanisme (PLU).

Le projet de centrale photovoltaïque flottante ne se situe pas dans une zone cultivée, mais au niveau d'anciennes gravières. Ce projet n'affecte donc pas des terrains agricoles.

Par ailleurs, un permis de construire est nécessaire pour toute construction nouvelle ayant une surface de plancher supérieure est à 20 m<sup>2</sup>, y compris les bâtis nécessaires au parc solaire. La surface plancher totale créée dans le cadre de ce projet est définie à 520 m<sup>2</sup>.

Dans plusieurs dossiers examinés, étant donné la taille du projet et dans un souci de concertation, les pétitionnaires ont parfois fait le choix d'effectuer les démarches de permis de construire pour l'ensemble du projet en incluant, la centrale photovoltaïque flottante ainsi que pour les locaux techniques et autres éléments nécessaires à son fonctionnement.

## 8 CONCLUSION

### **Risque sècheresse**

L'analyse du profil en long de l'Arroux permet de voir que les gravières 1, 3, 4, 5 et 6 peuvent être alimenté par l'Arroux, le risque sècheresse est donc faible.

Concernant la gravière 2, l'étude de l'évaporation et de sa possible augmentation en prenant en compte le changement climatique n'est pas à l'échelle des hauteurs d'eau dans la gravière.

Au vu des éléments en notre possession et l'absence d'assèchement observé par l'exploitant des gravières, le risque sècheresse sur l'ensemble des six gravières est faible.

### **Impact Hydraulique**

Les différents sites d'implantation des panneaux photovoltaïques sont envisagés dans des gravières dont trois sont situés dans le lit majeur de l'Arroux.

La présence de remblai autour des gravières réduit considérablement la débitance au sein de ses plans d'eau : les vitesses sont très faibles et les entrées d'eau sont ponctuelles. Ainsi, la mise en place de panneau n'a quasiment pas d'impact sur les niveaux d'eau et les vitesses de l'écoulement.

La modélisation a montré que l'impact du projet sur les écoulements pour la crue de référence était extrêmement localisé et très faible.

### **Embâcles**

Il existe une très faible possibilité d'arrivée d'embâcles dans les gravières depuis l'Arroux. En revanche, des mesures ont été préconisées pour limiter le risque de bois flottants depuis la ripisylve des gravières elles-mêmes puisqu'une forte végétation a été observée sur le terrain.

### **Code de l'Environnement**

Au regard des éléments présentés ci-dessus, plusieurs réflexions et actions sont à envisager avant d'adresser une demande de cadrage :

- Au titre du code de l'environnement, la portée de l'article R122-2 est bien définie et ne porte pas à interprétation. Le projet est soumis à étude d'impact au titre de la catégorie de projet n°30 de l'annexe du présent article.
- Pour l'article R214-1 du même code, plusieurs rubriques pouvaient intéresser le projet par rapport aux travaux connexes à l'installation des panneaux photovoltaïques. Cependant les modalités de réalisation ou la localisation des différents locaux permettent de ne pas mobiliser une procédure au titre de la « loi sur l'eau ».



Dans le cadre de plusieurs dossiers étudiés pour préparer ce document, on note que la Loi sur l'eau n'est pas retenue et qu'ainsi les rubriques sur la luminosité et sur les berges ne sont donc pas prises en compte, ni celle sur les incidences sur la faune aquatique. Pour la première rubrique sur l'écoulement des crues et la continuité écologique, cette rubrique est plus spécifique à cette installation sur un « cours d'eau », mais les conditions de réalisation et les modalités de la phase d'exploitation ne sont pas de nature à créer des incidences sur l'écoulement des crues, la continuité écologique ou encore sur une modification du lit mineur. Aucune consolidation de berge n'est prévue, les ancrages seront immergés dans les plans d'eau.

Cependant les emprises et les modalités de réalisation des pistes lourdes, des zones de stockage / assemblage, voire des aires de mise à l'eau, permettent de ne pas modifier les zones en interaction avec les crues ou les eaux pluviales. Les procédures de déclaration à autorisation sont ainsi évitées.

Il est à noter aussi que les résultats de l'étude Faune, Flore et Habitats naturels doit permettre d'identifier les risques au regard des espèces animales et végétales et définir ainsi la nécessité de mettre en œuvre une étude de dérogation à la destruction d'espèces protégées au titre de l'article L.411-2 du Code de l'environnement.

## ANNEXE 1 LOGICIEL TELEMACH2D

Le logiciel TELEMACH-2D résout les équations de Barré de Saint-Venant (1871) à deux dimensions d'espace horizontales. TELEMACH-2D est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) de la Direction des Recherches et Développements d'EDF.

Le code TELEMACH-2D résout simultanément les quatre équations hydrodynamiques suivantes :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(h) + h \operatorname{div}(\vec{u}) = S_h \quad \text{continuité}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(u) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{l}{h} \operatorname{div}(h v_t \vec{\nabla} u) \quad \text{Dynamique selon x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(v) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{l}{h} \operatorname{div}(h v_t \vec{\nabla} v) \quad \text{Dynamique selon y}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(T) = S_T + \frac{l}{h} \operatorname{div}(h v_T \vec{\nabla} T) \quad \text{Conservation du traceur}$$

avec :

- h (m) hauteur d'eau
- u,v (m/s) composantes de la vitesse
- T (g/l or °c) traceur passif
- g (m/s<sup>2</sup>) accélération de la pesanteur
- vt,vT (m<sup>2</sup>/s) coefficients de diffusion de la vitesse et du traceur
- Z (m) cote de la surface libre
- t (s) temps
- x,y (m) composantes d'espace horizontales
- Sh (m/s) source ou puits de fluide
- Sx, Sy (m/s<sup>2</sup>) termes source ou puits des équations dynamiques (vent, force de Coriolis, frottement sur le fond, etc.)
- ST (g/l/s) source et puits de traceur

h, u, v et T sont les inconnues.

La viscosité turbulente peut être donnée par l'utilisateur, ou déterminée à partir d'un modèle de transport des quantités turbulentes k (énergie cinétique turbulente) et Epsilon (dissipation turbulente) dont les équations sont :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(k) = \frac{l}{h} \operatorname{div}\left(h \frac{v_t}{\sigma_k} \vec{\nabla} k\right) + P - \varepsilon + P_{kv}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(\varepsilon) = \frac{l}{h} \operatorname{div}\left(h \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \vec{\nabla} \varepsilon\right) + \frac{\varepsilon}{k} (c_{1\varepsilon} P - c_{2\varepsilon} \varepsilon) + P_{\varepsilon v}$$

Les seconds membres de ces équations étant des termes de production et de destruction des quantités turbulentes (énergie et dissipation).

Ses résultats principaux sont, en chaque point du maillage de résolution, la hauteur d'eau et la vitesse moyenne sur la verticale. TELEMAC-2D trouve ses applications en hydraulique à surface libre, maritime ou fluviale, et est capable de prendre en compte les phénomènes physiques suivants :

- Propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires,
- Frottement sur le fond,
- Influence de la force de Coriolis,
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,
- Turbulence,
- Ecoulements torrentiels et fluviaux,
- Influence de gradients horizontaux de température ou de salinité sur la densité,
- Coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- Zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrant et plaines inondables,
- Entraînement par le courant et diffusion d'un ou plusieurs traceurs, avec des termes de création ou de disparition,
- Suivi de flotteurs et dérives lagrangiennes,
- Traitement de singularités: seuils, digues, buses.
- Prise en compte des forces de traînée des structures verticales.
- Prise en compte des phénomènes de porosité.
- Prise en compte des courants de houle.
- Couplage avec le transport sédimentaire

## ANNEXE 2 FORMULES EMPIRIQUES – BOIS FLOTTANTS

Les formules empiriques utilisées pour estimer les ordres de grandeurs du volume de bois flottants potentiellement recrutés dans le paragraphe de la présente note, sont principalement issues du Guide OFEV (2019), dont un extrait est présenté ci-dessous.

Paramètre	Scénario bas (quantile 10%)	Ajustement moyen	Scénario haut (quantile 90%)	Courbe enveloppe haute	n	[/3;*3]	Qualité
E	$6 E^{0.54}$	$38 E^{0.54}$	$300 E^{0.54}$	$558 E^{0.52}$	209	50%	***
W	$13 W^{0.56}$	$77 W^{0.56}$	$720 W^{0.56}$	$1460 W^{0.46}$	179	52%	**
L	$5.5 L^{0.48}$	$40 L^{0.48}$	$400 L^{0.48}$	$860 L^{0.44}$	177	41%	*
$L_w$	$7 L_w^{0.5}$	$49 L_w^{0.5}$	$500 L_w^{0.5}$	$925 L_w^{0.5}$	175	44%	*
$P_{vol}$	$0.04 P_{vol}^{0.46}$	$0.3 P_{vol}^{0.46}$	$2.2 P_{vol}^{0.46}$	$8 P_{vol}^{0.41}$	164	51%	**
$V_w$	$0.04 V_w^{0.47}$	$0.3 V_w^{0.47}$	$2.6 V_w^{0.47}$	$6.2 V_w^{0.45}$	167	50%	*
$Q_{max}$	$0.65 Q_{max}^{0.91}$	$5.7 Q_{max}^{0.91}$	$30 Q_{max}^{0.91}$	$115 Q_{max}^{0.72}$	77	58%	***
F	$0.04 F^{0.65}$	$0.2 F^{0.65}$	$1.4 F^{0.65}$	$1.4 F^{0.7}$	196	56%	***
$Q_{max} V_w$	$0.3 Q_{max}^{0.35} V_w^{0.25}$	$0.4 Q_{max}^{0.46} V_w^{0.33}$	$14 Q_{max}^{0.35} V_w^{0.25}$	$87 Q_{max}^{0.26} V_w^{0.19}$	166	51%	**
E, F	$0.06 E^{0.22} F^{0.56}$	$0.2 E^{0.23} F^{0.6}$	$1.8 E^{0.22} F^{0.56}$	$1.7 E^{0.23} F^{0.61}$	196	56%	***

**Figure 33 : estimation du volume de bois flottant selon les formules empiriques proposées par le Guide OFEV (Bois flottant dans les cours d'eau, Office fédéral de l'environnement, Berne, Suisse, 2019)**

Avec :

- $V_{reg}$  le volume de bois flottant estimé ( $m^3$ )
- $E$  la superficie du bassin versant ( $km^2$ )
- $W$  la superficie forestière ( $km^2$ )
- $L_w$  la longueur de chenal boisé (km)
- $L$  la longueur du chenal (km)
- $F$  la charge sédimentaire ( $m^3$ )
- $V_w$  le volume d'eau écoulé ( $m^3$ )
- $Q_{max}$  le débit de pointe ( $m^3 s^{-1}$ )
- $P_{vol}$  le volume total de précipitations ( $m^3$ )
- n = nombre de données dans l'échantillon
- [/3 ; \*3] : pourcentage de valeurs observées comprises dans l'intervalle 1/3\* Valeur prédite - 3\* Valeur prédite