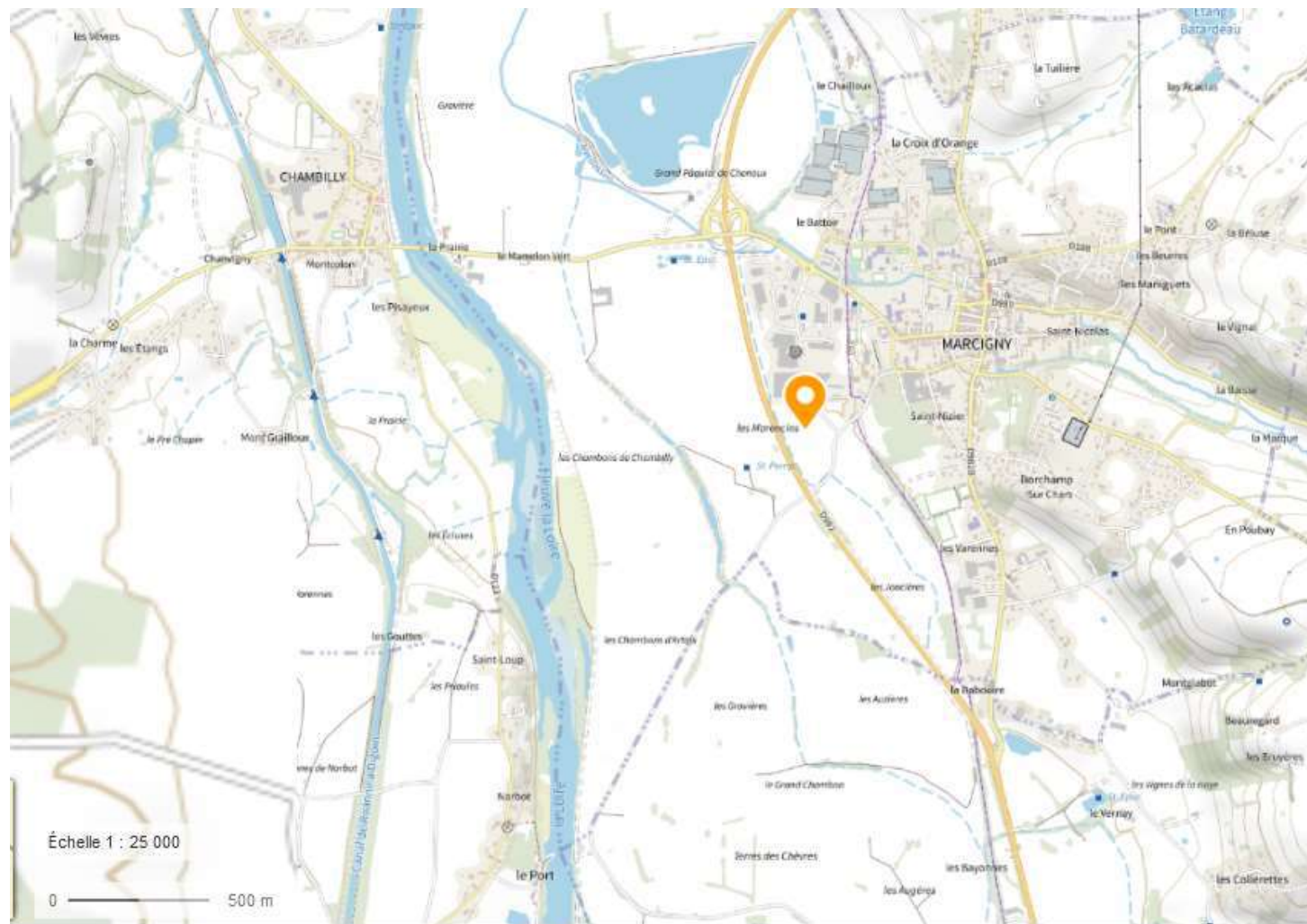


Annexes 3 à 8

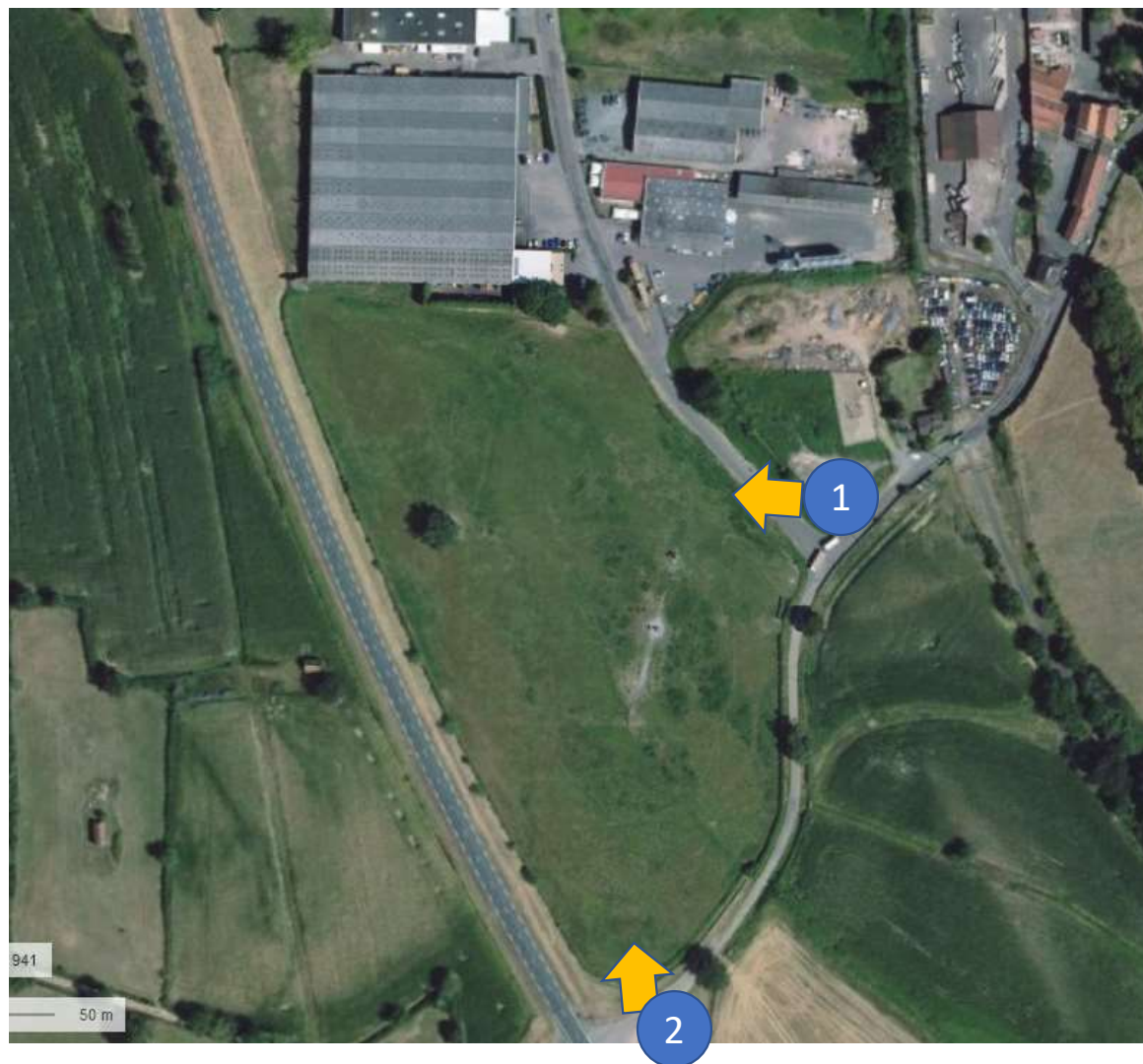
de la demande au Cas par Cas du projet
d'installation photovoltaïque au sol

commune de MARCIGNY

Annexe 3: plan de situation au 1/25000^{ème}



Annexe 4: prise de vue de la zone d'implantation



Annexe 4: prise de vue de la zone d'implantation (septembre 2022)

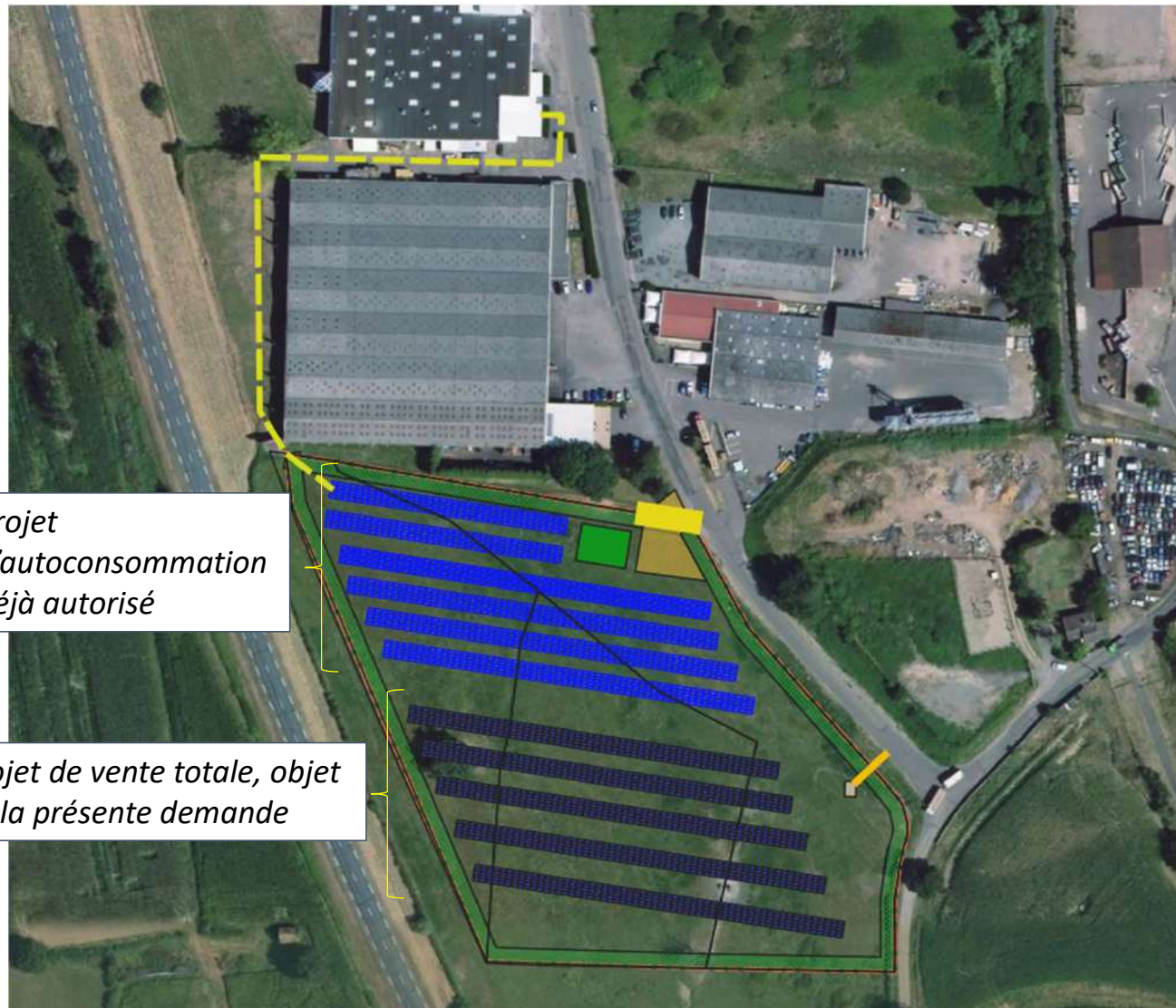


Annexe 4: prise de vue de la zone d'implantation (septembre 2022)

2



Annexe 5: plan du projet



Projet
d'autoconsommation
déjà autorisé

Projet de vente totale, objet
de la présente demande

✓	—	MARC_RACC Enedis
✓	—	MARC_RACC_privé autoconso
✓	—	MARC_portail
✓	—	MARC_Accès
✓	—	MARC_Foncier_EH
✓	—	MARC_pistes SDIS
✓	—	MARC_Limite cloture
✓	—	PdL
✓	—	MARC_bache SDIS
✓	—	MARC_tables Vente totale
✓	—	MARC_tables autoconsommation

- 1664 modules de 600 Wc = 998 kWc

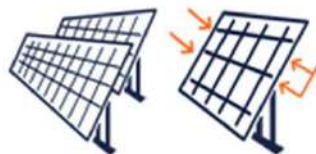
Annexe 5 : informations sur les modules

Exemple de modules pouvant être installé.

A titre indicatif et selon disponibilités au moment de la commande

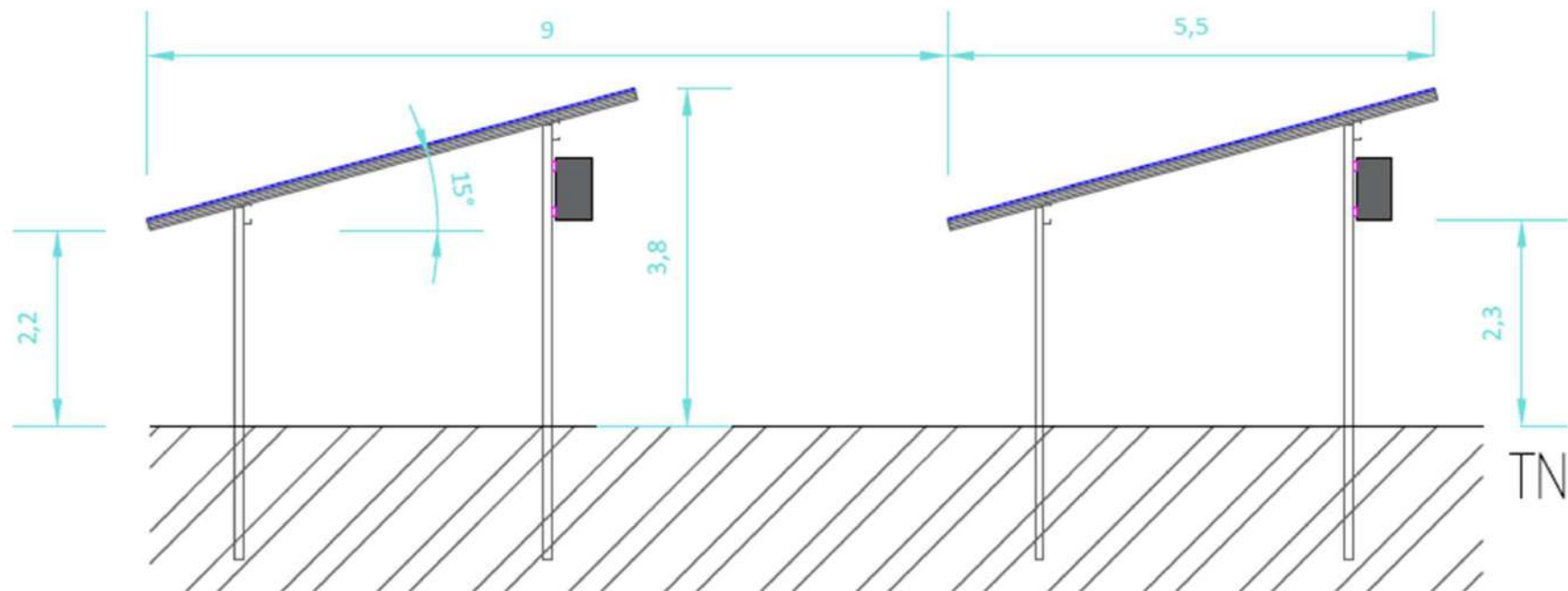


Gamme SYN11.227BT-ST



- **600 Watts**
- 2278x1134x30 mm
- 144 cellules
- Monocristallin/Type-N/TOPCon
- Bifacial

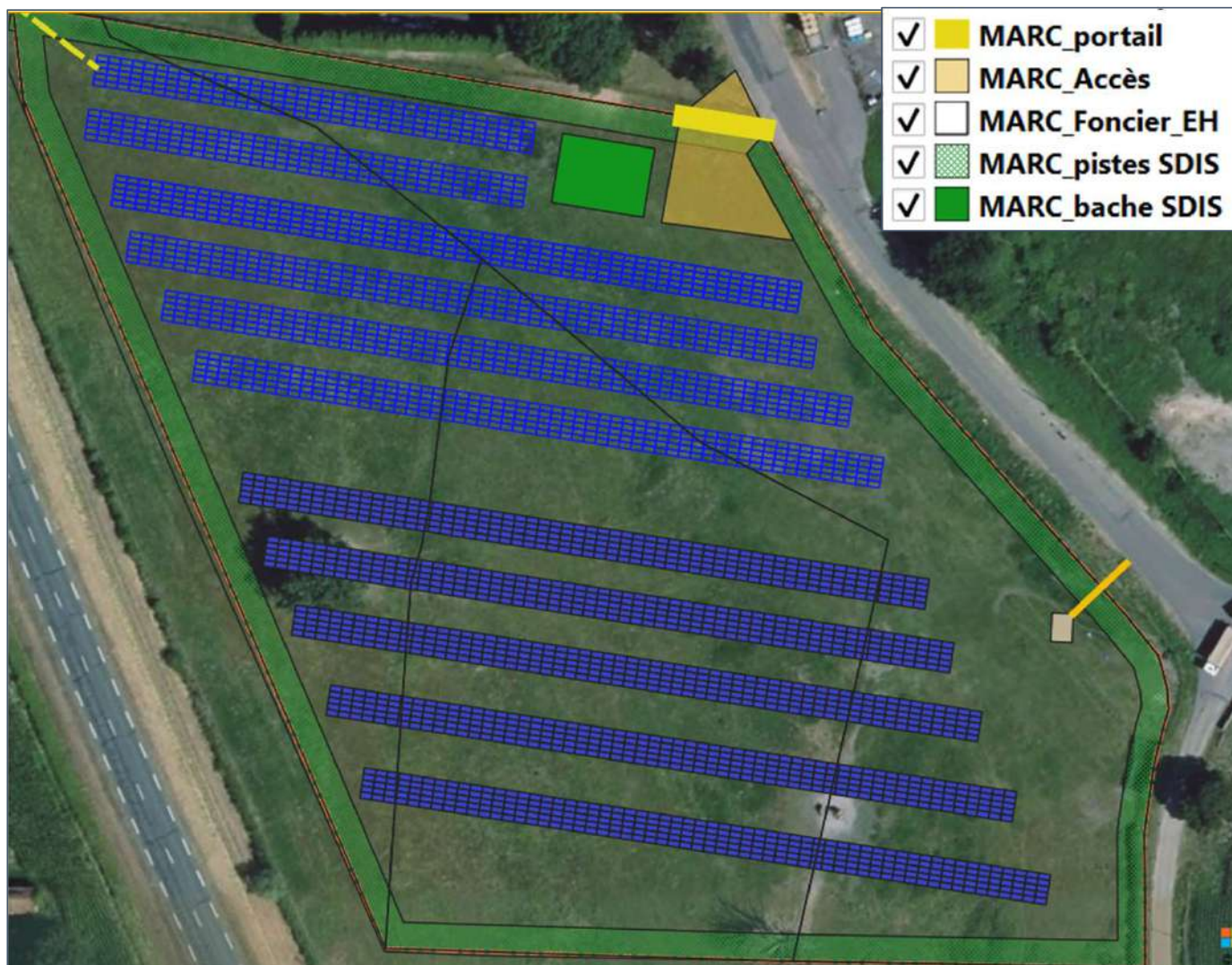
Annexe 5: La hauteur minimale sous panneaux sera de 2,2m (à confirmer par l'étude hydraulique) pour respecter le critère de 20cm au-dessus des PHEC (plus hautes eaux connues)



Coupe transversale des tables photovoltaïques

Les onduleurs seront fixés directement sur les structures métalliques

Annexe 5: Conformité avec les prescriptions du SDIS



Conformité SDIS:

- Piste périphérique de 3m de large: pistes légères sans apport de GNT, la piste sera uniquement nivelée et compactée
- Bache anti-incendie de 360m³, mutualisée avec le projet d'autoconsommation
- Accès à la zone d'implantation par un portail de 6m de large, accessible depuis la voirie publique

Annexe 5 : Autres éléments concernant le projet

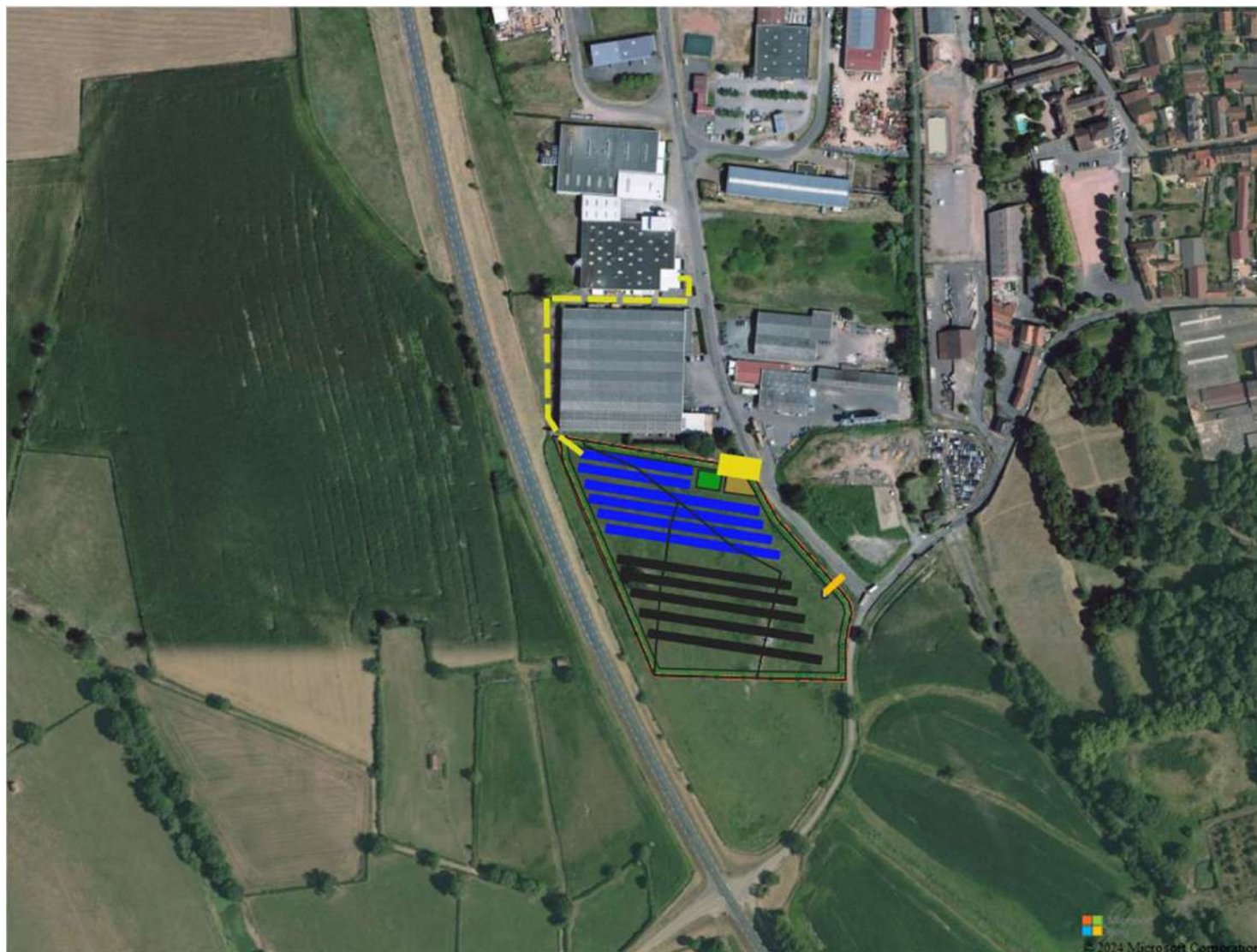
Questions	Réponses de MW Energies
Surface totale projetée	- La surface brute d'emprise du projet est de maximum 2ha - La surface projetée au sol est d'environ 5000m² (0,5 ha)
Câbles électriques	Câblage souterrain entre les tables puis vers le poste de livraison
Clôture	L'installation d'une clôture (et ses caractéristiques) sera précisée par l'étude hydraulique avec notamment le volet « embacles » de l'étude
Entretien de la parcelle et nettoyage des panneaux	La parcelle sera entretenue soit par de l'éco-pâturage ou par tout autre moyen mécanisé (tondeuse autonome par exemple). Les panneaux ne seront nettoyés que si nécessaire et selon le suivi et le retour d'expérience des 1ères années.
Haie	Une haie
Recyclage	Filière de recyclage existant avec l'éco-organisme PV Cycle

Annexe 5: plantation d'une haie pour occulter le projet depuis la D982

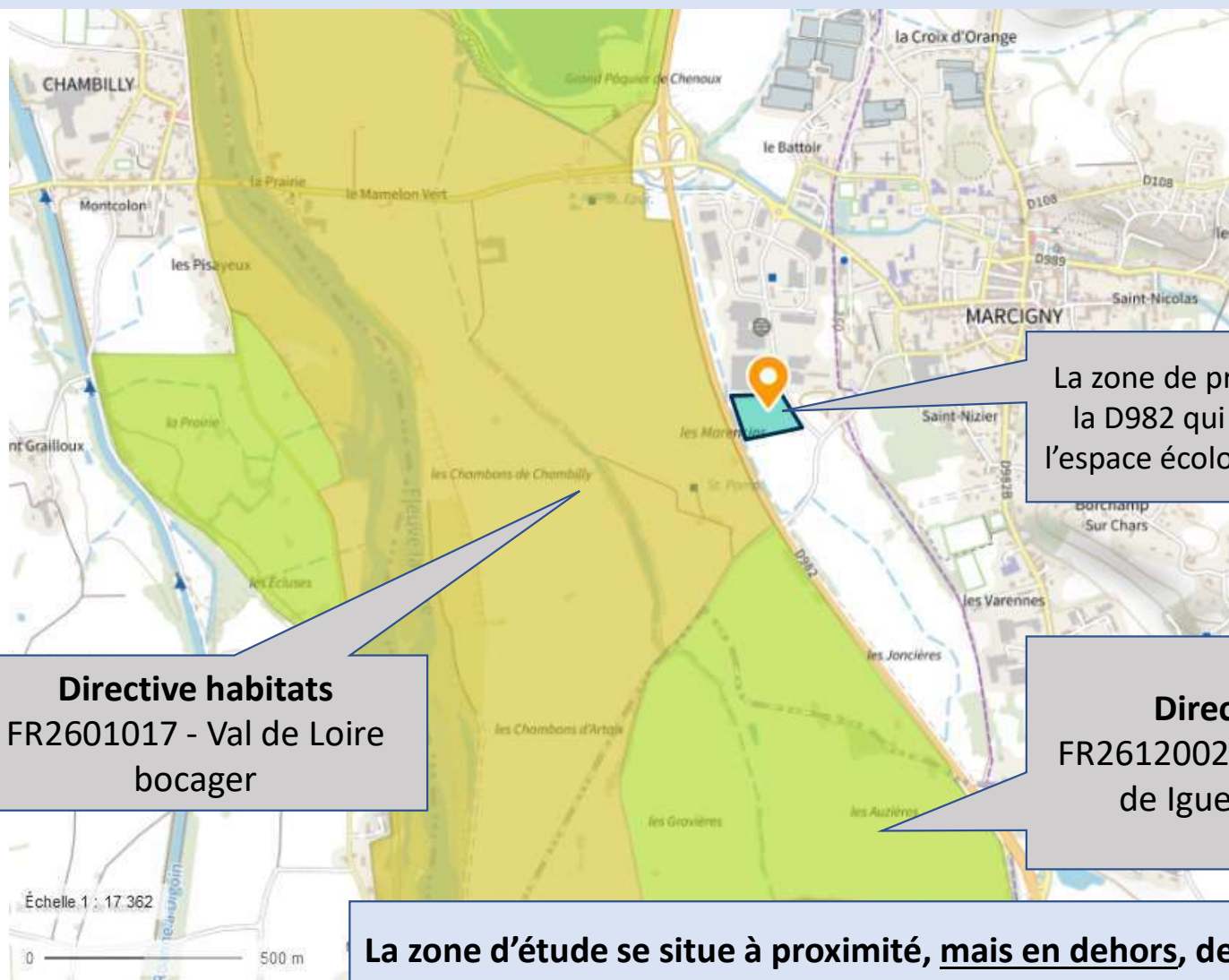
*Plantation d'une haie
pour occulter le projet
depuis la D982*



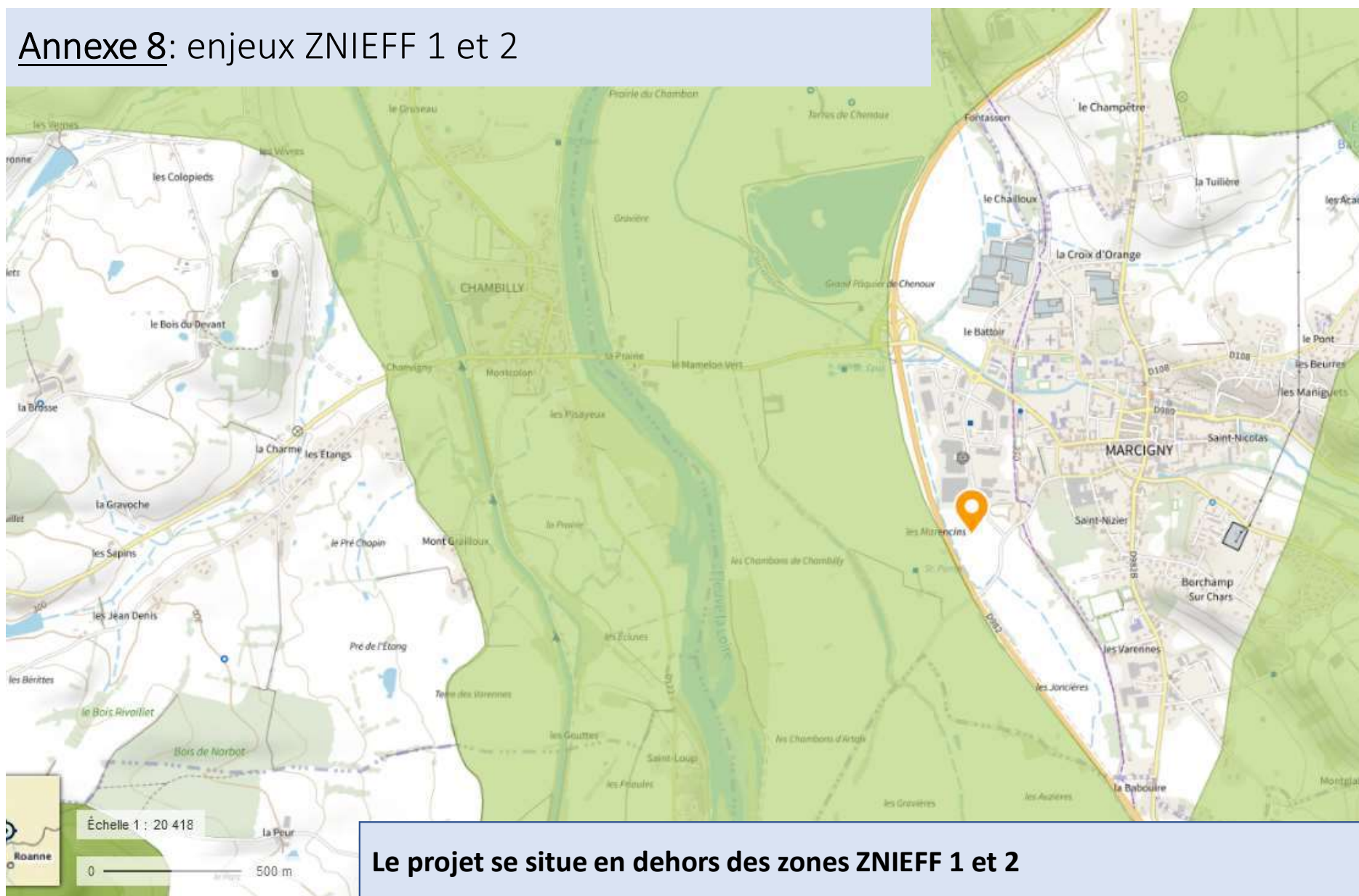
Annexe 6: plan des abords du projet



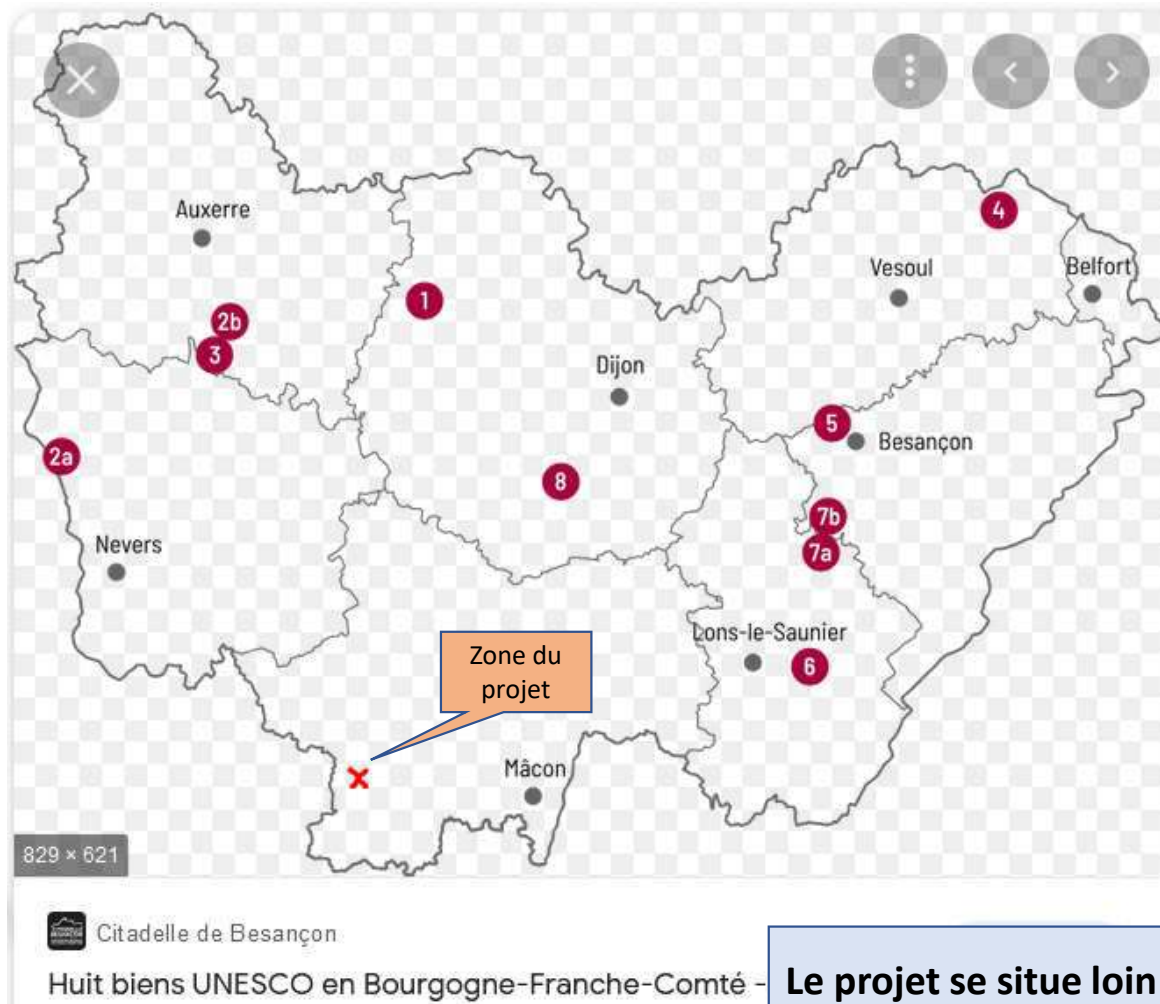
Annexe 7: enjeux Natura 2000



Annexe 8: enjeux ZNIEFF 1 et 2

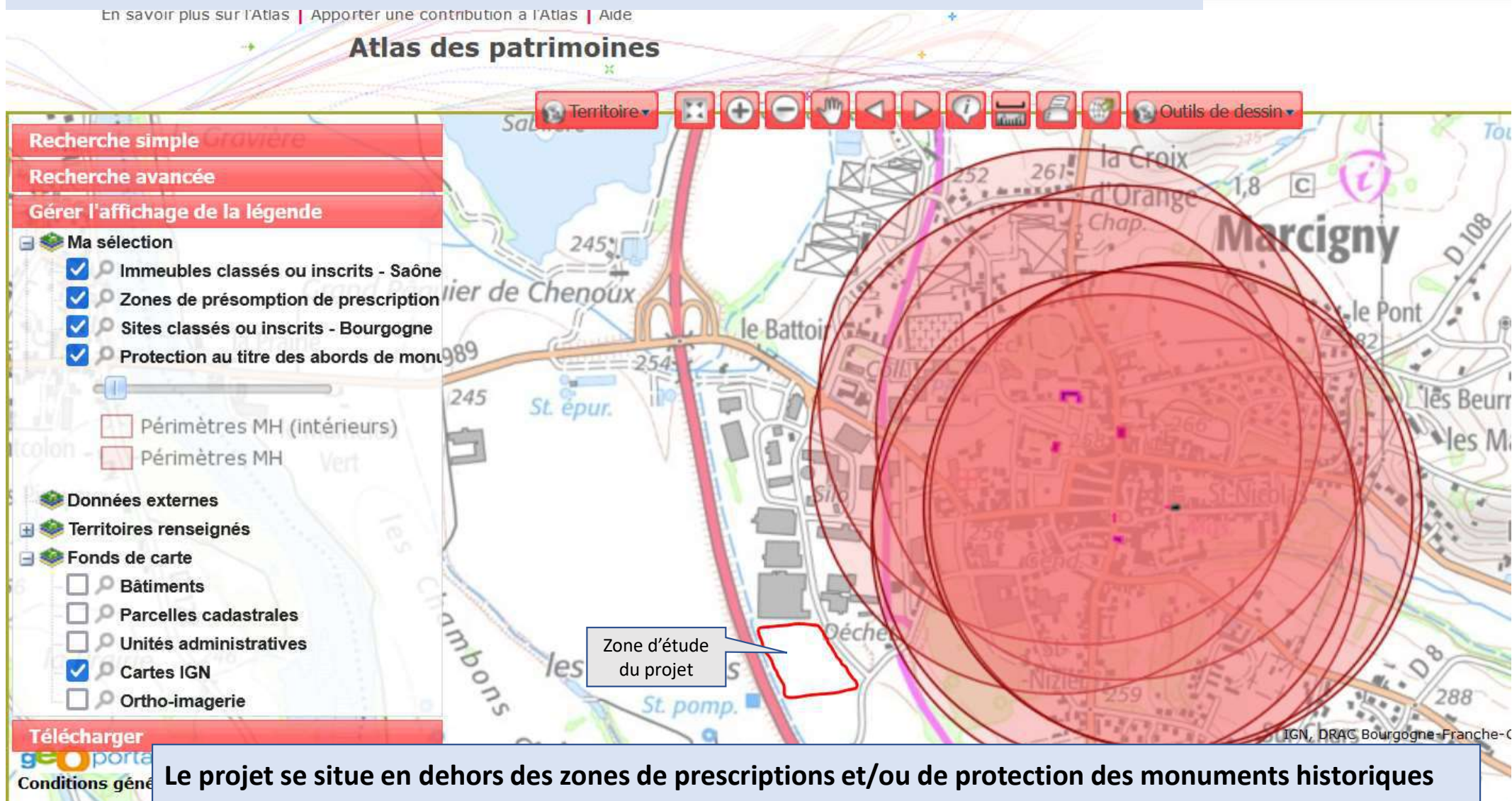


Annexe 8: enjeu des sites UNESCO



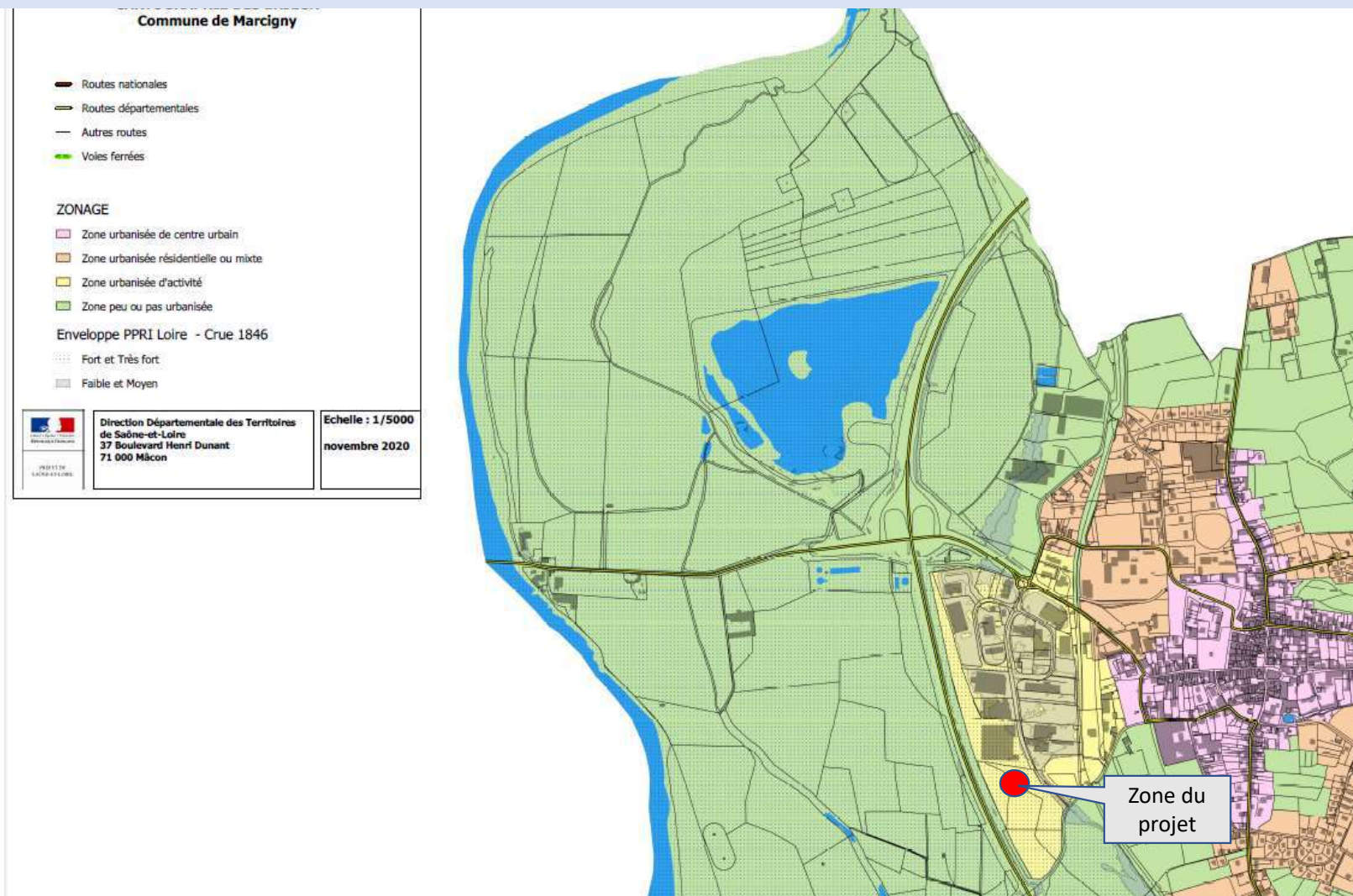
Le projet se situe loin des sites UNESCO de la Région BFC

Annexe 8: enjeux Monuments historiques, zones tampons, sites remarquables



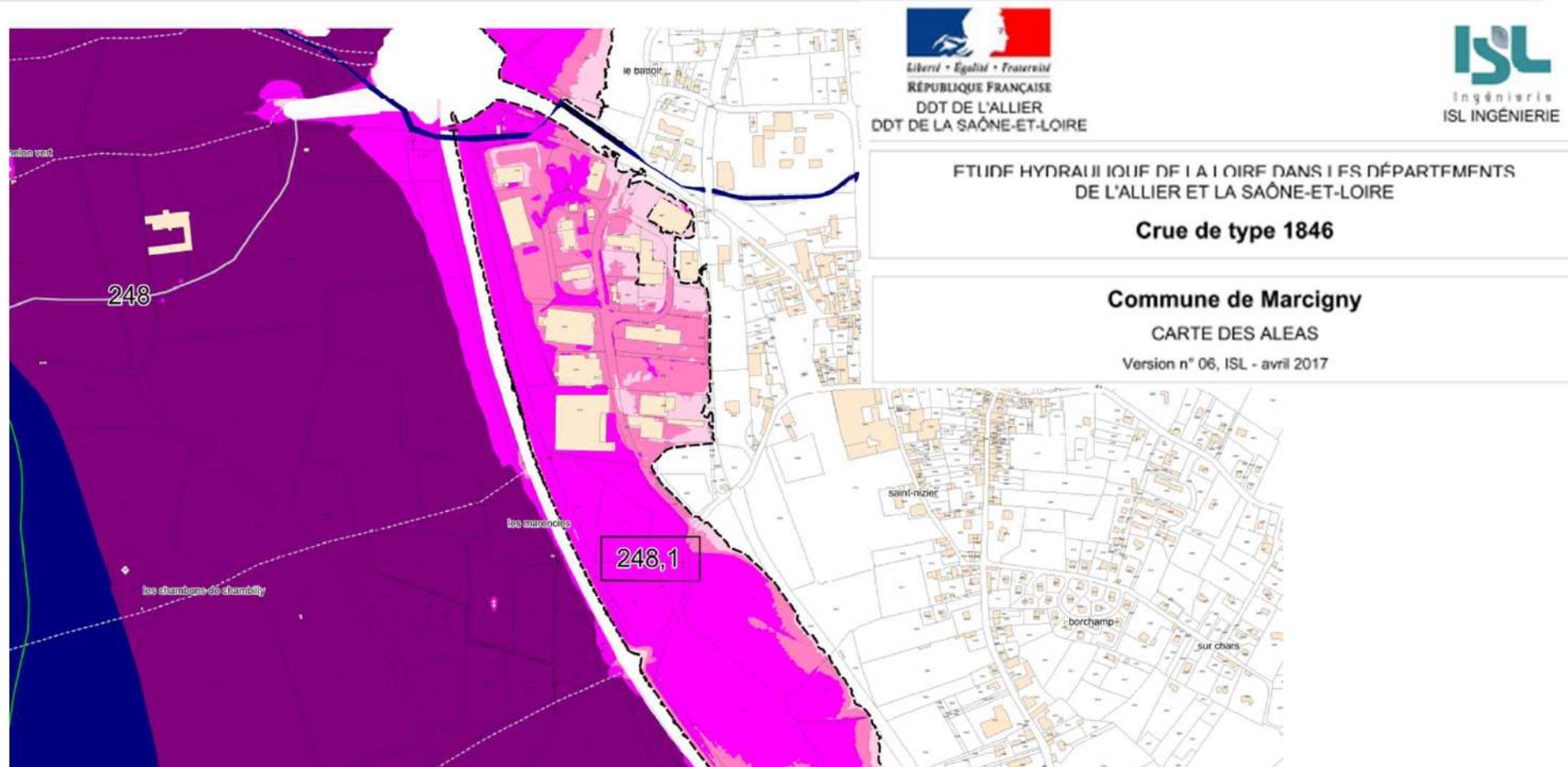
Annexe 8: Extrait PPRI de Marcigny

La zone d'étude du projet se situe en zone inondable (aléa fort), en zone urbanisée



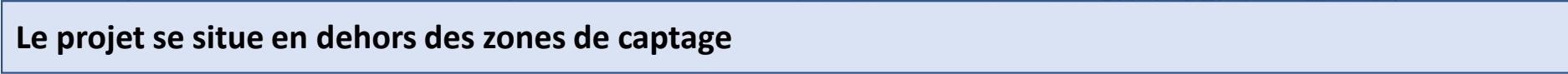
Annexe 8: Extrait PPRi de Marcigny

Niveau des plus hautes eaux connues



Au droit du projet, la cote des plus hautes eaux connues est de 248,1m et le niveau du terrain est à 246,1m. Le niveau d'eau (en référence à la crue de 1846) est donc 2,0m au-dessus du terrain naturel.

Annexe 8: périmètre de captage



Le projet se situe en dehors des zones de captage

Annexe 8: sites classés et inscrits



Absence de sites classés et sites inscrits à Marcigny et dans un rayon de 2km



Diagnostic zone humide
Commune de Marcigny (71)
Projet d'installation photovoltaïque au sol



02/05/2023

Diagnostic zone humide

Commune de Marcigny (71) – Projet d'installation photovoltaïque au sol

Indice	Date	Modifications	Etabli par	Vérifié par
V1	02/05/2023	Version initiale	L. Philippe	S. Nobilliaux

Maitre d'œuvre



MW Energies

Contact : Thibault Maniglier

Tél. 06 20 12 78 89

Expertise zone humide



ACER CAMPESTRE

Bureau d'études en écologie

1 cours de la République

69 100 Villeurbanne

Tél. : 04 78 03 29 20

acer@acer-campestre.fr

Responsable : Sabine Laval (gérante)

Responsable du dossier : Loucas Philippe
(ingénieur écologue)



Index

Sommaire

Index 3

Introduction 4

Méthodologie 5

Résultats 6

Discussion et conclusion 9

Index des tableaux

Tableau 1 : résultats des points d’analyse du sol et de la végétation 8

Index des illustrations

Illustration 1 : vue sur la zone d’étude 4

Illustration 2 : tableau « Geppa » définissant les différents types de sols dont ceux caractéristiques de zones humides..... 5

Illustration 3 : Partie est de la parcelle 6

Illustration 4 : fossé en bordure ouest du site 6

Index des cartes

Carte 1 : localisation de l’aire d’étude 4

Carte 2 : délimitation des zones humides 7

Introduction

« Parce qu’elles occupent une position particulière entre terre et eau, parce qu’elles sont source de qualité et de diversité biologique, parce qu’elles peuvent efficacement stocker l’eau en excès et la restituer lorsqu’elle fait défaut, les zones humides ont un rôle essentiel pour l’aménagement durable du territoire, le développement de fonctions sociales et économiques et la gestion équilibrée des ressources en eau et milieu aquatique ». Ce sont pour toutes ces raisons que la préservation et la gestion des zones humides sont une des priorités du SDAGE Loire Bretagne.

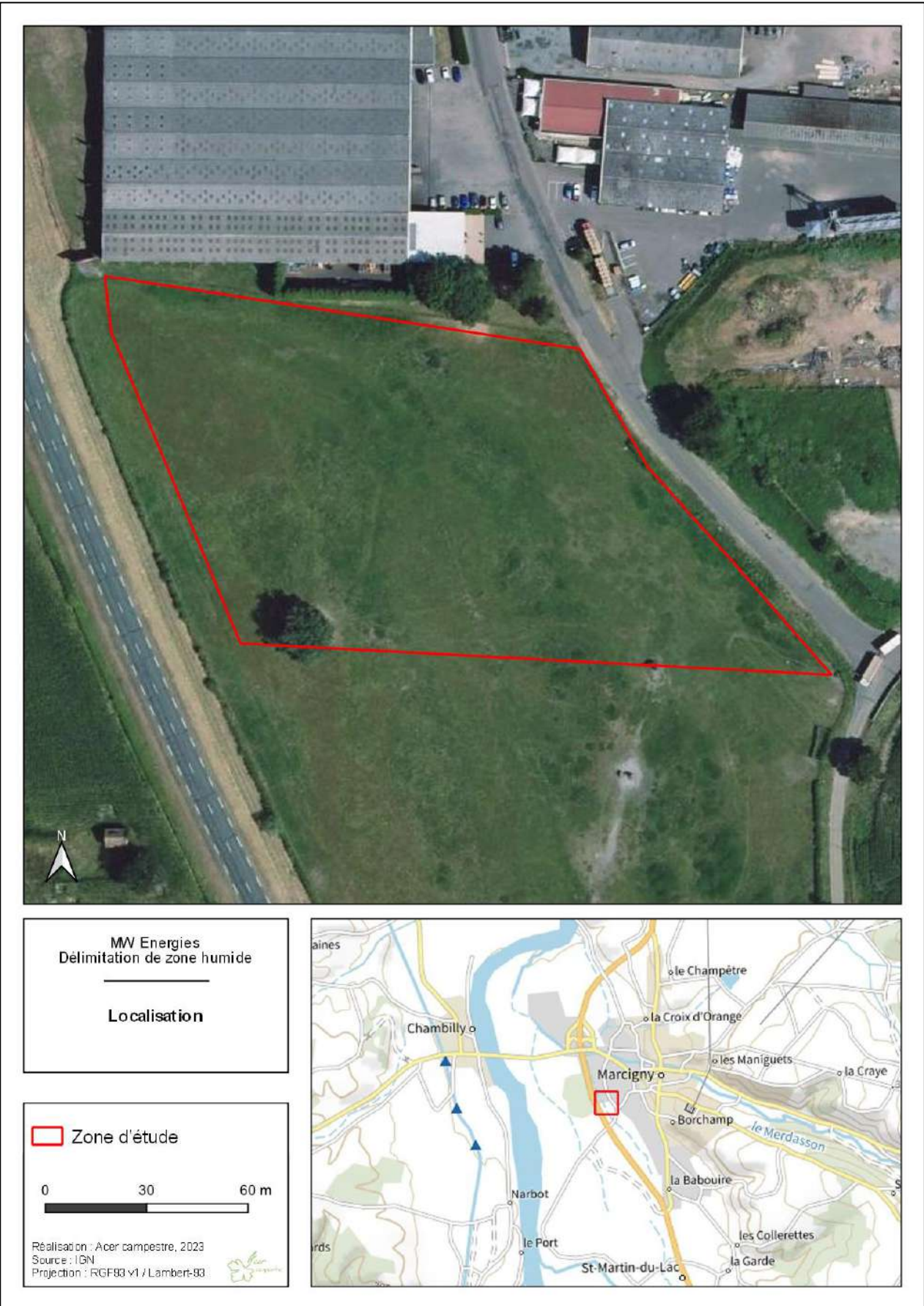
Dans le cadre d’un projet d’installation photovoltaïque au sol sur la commune de Marcigny (71), MW Energies a missionné Acer campestre pour la réalisation d’une expertise de délimitation des zones humides.

L’aire d’étude s’étend sur trois parcelles cadastrales adjacentes (AR_0093, AR_0184, AR_0182), situées sur la partie ouest de la commune (Cf. carte 1). La surface totale de l’aire d’étude est de 1,5 ha. Elle s’inscrit dans un contexte hydraulique marqué par la présence de la Loire à proximité (900m à l’ouest). Le site est ainsi compris en zone inondable et côtoie les prélocalisations de zones humides réalisées par la DREAL Bourgogne qui se situent 100m à l’ouest, de l’autre côté de la route RD982. Acer campestre a réalisé une interventions le 18 avril 2023. Le présent rapport agrège les résultats obtenus.



Illustration 1 : vue sur la zone d’étude

Carte 1 : localisation de l’aire d’étude



Méthodologie

La loi sur l'eau de 1992 définit une zone humide comme « les terrains exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année. »

L'arrêté du 1er octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précise les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement. Ces documents listent les types de sols, les habitats naturels et les espèces végétales caractéristiques permettant de délimiter avec précision une zone humide.

Une zone humide est ainsi définie, d'un point de vue règlementaire, sur la base de différents critères :

- la présence de végétations hygrophiles (inféodées aux milieux humides) présentes de manière dominante ou la présence d'habitats naturels caractéristiques des zones humides ;
- la présence de sols hydromorphes, révélant la présence d'une nappe d'eau superficielle.

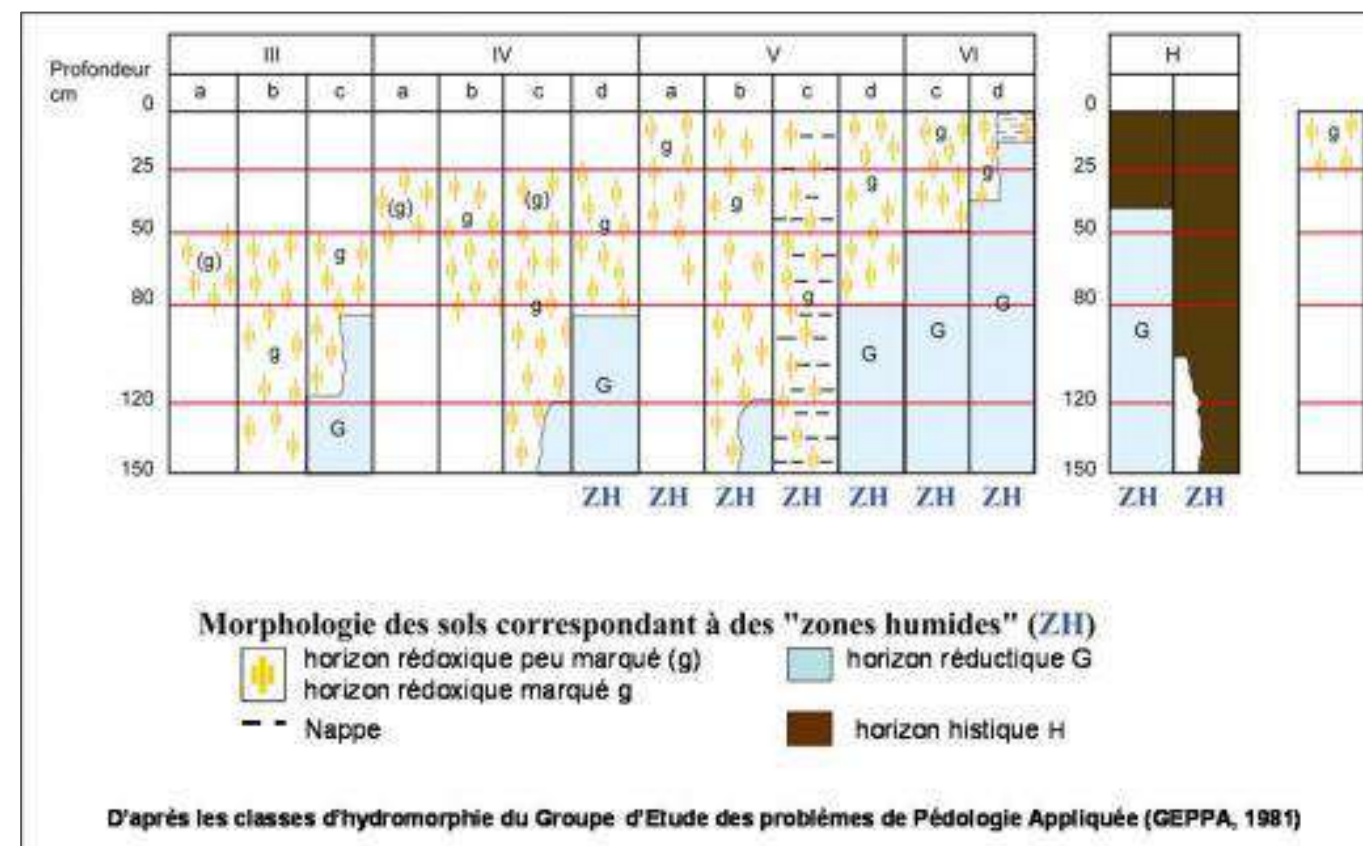


Illustration 2 : tableau « Geppa » définissant les différents types de sols dont ceux caractéristiques de zones humides

La présence et la délimitation de la zone humide s'est donc basée sur deux procédés :

- **Les relevés pédologiques** : des transects de prélèvements sont réalisés au sein des zones d'étude à l'aide d'une tarière. L'analyse des prélèvements de sol et le degré d'engorgement en eau permet de déterminer son éventuel caractère hygromorphe (traits d'oxydo-réduction à moins de 50 cm de la surface, réductisol en profondeur, présence de concrétions de fer et

de manganèse). L'analyse pédologique est préférentiellement utilisée lorsque le critère botanique n'est pas concluant.

- **Les relevés floristiques** : cette méthode est utilisée dans le cas de présence d'une végétation spontanée afin de définir la présence d'un habitat de zone humide (comme définis dans l'arrêté) ou la présence en position dominante (> 50 % de recouvrement) d'espèces indicatrices des zones humides (comme définies dans l'arrêté).

En parallèle, la topographie et l'hydrologie ont été analysées « à dire d'expert » afin de compléter les informations floristiques et pédologiques et affiner les délimitations.

Résultats

Le site est positionné sur la commune de Marcigny, en bordure de la route D982, à l'entrée de la zone industriel Saint-Nizier. Au sud on retrouve des parcelles agricoles dans la continuité du site tandis que le nord est marqué par un bâtiment industriel. L'est et l'ouest sont contraints respectivement par la D982 et la route d'accès à la ZI de Saint-Nizier. Le site ne présente pas de déclivité de manière générale mais on y observe des légères microtopographies très restreintes. Un important fossés, en eau au moment de l'expertise, longe l'ouest du site par l'extérieur. Ce dernier se forme sur les terres agricoles présentent plus en amont au sud puis rejoint la Loire 4 km plus bas.

L'analyse pédologique s'est appuyée sur la réalisation de 13 sondages. Les profondeurs d'apparition des premiers traits rédoxiques sont comprises entre 30 cm et 60 cm pour l'ensemble des points. Deux sondages (n°2 et n°7) ont montré des traces d'oxydation autour de 30 cm, se situant donc proche de la limite de la profondeur (25 cm) qui aurait permis de conclure à un sol humide selon la classe Vb du tableau Geppa.

L'ensemble des sondages permettent d'observer la présence de traits réductiques entre 70 cm et 95 cm mais aucun ne formant d'horizon à part entière à une profondeur inférieure à 120 cm. Aucune nappe d'eau n'a été détectée.

L'ensemble des sondages peuvent donc être rattachés, selon la profondeur d'apparition des traces d'oxydation, aux classes IIIC ou IVc du tableau Geppa, toutes deux non caractéristiques d'un sol hydromorphe.

L'analyse des végétations, réalisée sur 13 points, met principalement en évidence la présence d'une prairie de pâture mésophile à méso-hygrophile avec parfois des zones montrant une certaine eutrophisation, notamment sur la bordure nord de la zone d'étude. **Les points d'analyse ne révèlent la présence d'aucune végétations hygrophiles au sens de la réglementation.** Il est à rappeler que l'expertise a été menée en avril, période peu favorable à l'expression de la flore hygrophile.

Aucune zone humide n'a donc été délimitée sur la zone d'étude. La présence d'un fossé profond longeant la bordure ouest du site pourrait expliquer un certains assèchement de la parcelle qui a pu être humide sur sa partie ouest comme tendent à le montrer les points n°2 et n°7 dont les traces d'oxydation sont proches d'être concluantes. La dynamique hydraulique de la parcelle semble donc être plutôt à l'assèchement.

Le résultat des relevés pédologiques et floristiques, ainsi que leur répartition sont synthétisés dans la carte 2.



Illustration 3 : Partie est de la parcelle



Illustration 4 : fossé en bordure ouest du site

Carte 2 : délimitation des zones humides

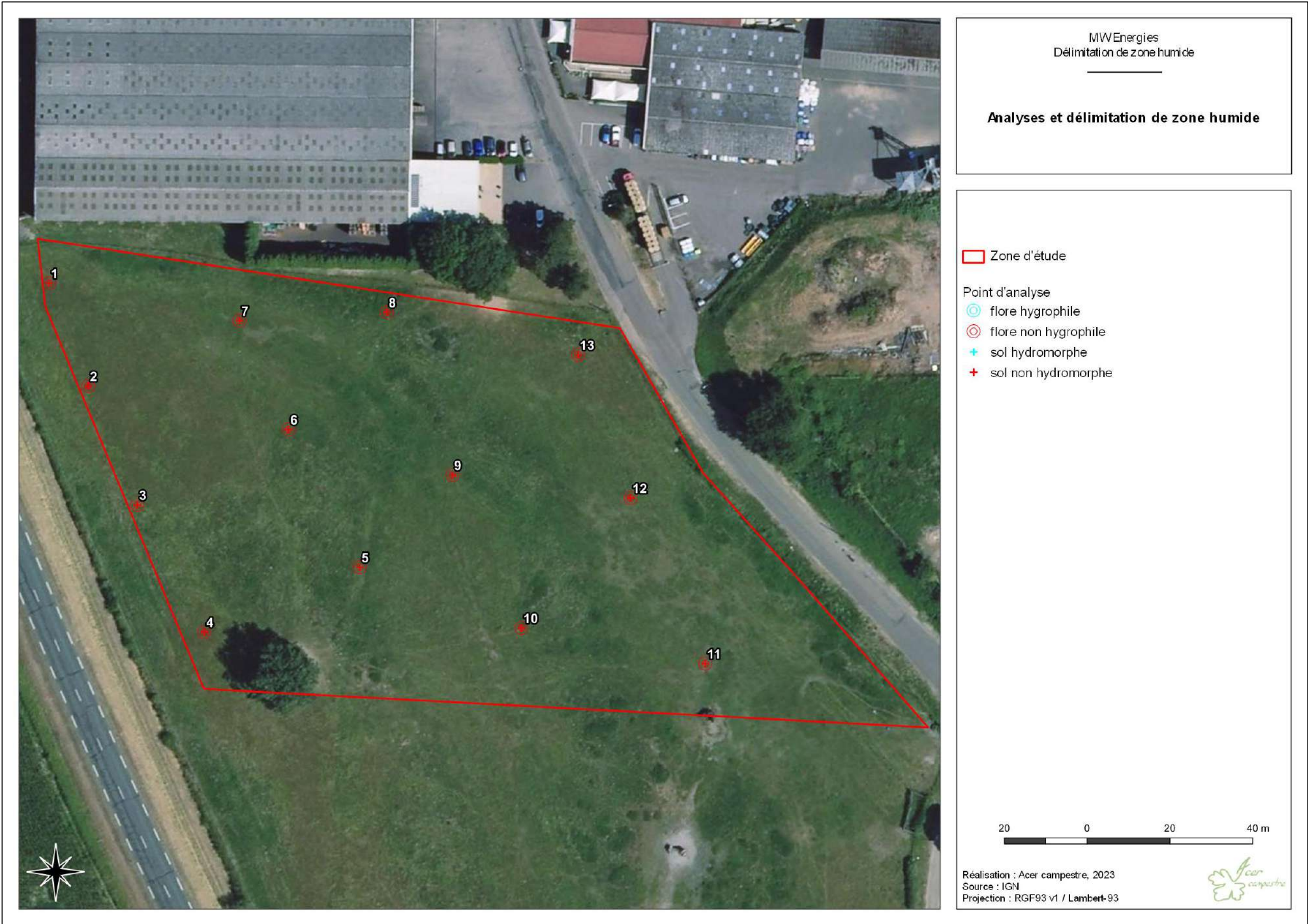


Tableau 1 : résultats des points d'analyse du sol et de la végétation

Numéro	Caractère indic. sol	Remarque relative au sol	Caractère indic. vég.	Remarque relative à la végétation	Prof. app. traits d'hydromorphie (cm)	Prof. max. sondage (cm)
1	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 50 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée méso-hygrophile présentant une couverture de Renoncule rampante non suffisante pour être caractéristique.	50	120
2	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 30 cm. Les traces ne s'accroissent qu'à partir de 80cm en en même temps qu'un fond de matrice réductrice. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée méso-hygrophile présentant une couverture de Renoncule rampante non suffisante pour être caractéristique.	30	120
3	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 50 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 70cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée méso-hygrophile présentant une couverture de Renoncule rampante non suffisante pour être caractéristique.	50	120
4	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 60 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	60	120
5	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 60 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile.	50	120
6	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 50 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	50	120
7	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 30 cm. Les traces s'accroissent en profondeur mais aucun trait rédoxique n'est observé jusqu'à la fin du sondage (ou trop faibles pour être caractérisés).	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	30	120
8	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 45 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Ourlet eutrophe mésophile à méso-hygrophile à Ortie dioïque.	45	120
9	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 45 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	45	120
10	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 60 cm. Les traces sont directement bien marquées et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 90cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	60	120
11	nh	Couche sableuse présentant des graviers et remblais (morceaux de tuile) sur 50cm puis couche argilo-limoneux. Le sable le marquant pas, les traces d'oxydation n'apparaissent qu'à la reprise du sol argilo-limoneux. Des traits réducteurs apparaissent entre 80 et 90cm mais sans formé d'horizons caractéristiques.	nh	Prairie pâturée mésophile.	55	120
12	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 30 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 80cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile.	30	120
13	nh	Sol très compact évoluant entre argilo-limoneux et limono-argileux. Traits rédoxiques apparaissant tôt mais concluant qu'à partir de 60 cm. Les traces s'accroissent en profondeur et se mêlent à un fond de matrice réductrice à partir de 90cm. Les traits réducteurs ne sont cependant pas concluants et ce jusqu'à la fin du sondage.	nh	Prairie pâturée mésophile à méso-hygrophile.	50	120

Caractère indicateur du sol : h = sol indicateur de zone humide, nh = sol non indicateur de zone humide ; **Caractère indicateur de la végétation :** h = végétation hygrophile, nh = végétation non hygrophile.

Discussion et conclusion

Notre expertise de terrain, principalement basée sur le critère pédologique, ne met en évidence la présence d'aucune zone humide au sein de l'aire d'étude. Le site présente cependant des traces d'oxydation parfois à la limite d'être concluantes (points n°2 et n°7). Cette observation est cohérente avec le contexte de la parcelle : situation en zone inondable de la Loire, zones humides prélocalisées par la DREAL Bourgogne 100 mètres à l'ouest, fossé en eau en bordure du site.

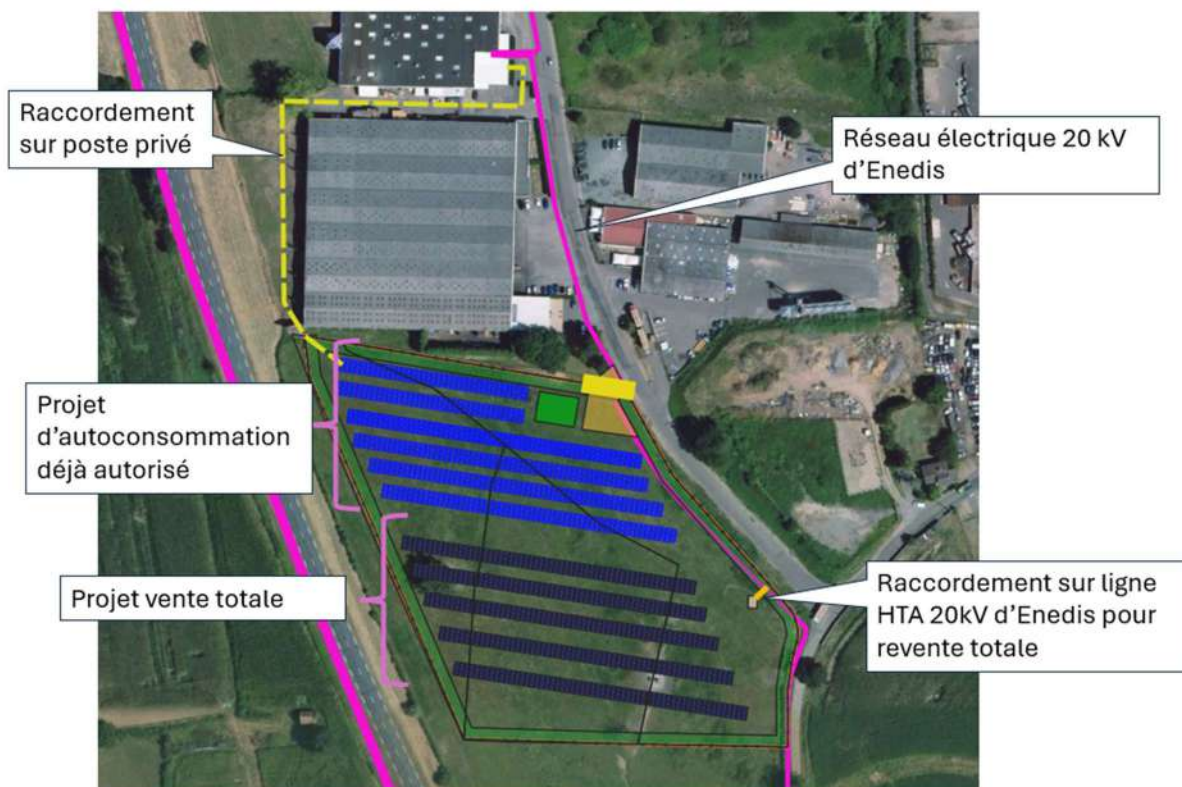
L'aire d'étude marque donc probablement la limite des zones humides alluviales liées à la Loire, sans en faire partie pour autant.

Annexe 10 Note explicative sur le projet photovoltaïque au sol de puissance de 998 kWc
--

Le présent projet photovoltaïque se situe sur une zone AU du PLU de Marcigny, limitrophe à un autre projet photovoltaïque implanté sur les mêmes parcelles et autorisé le 19 avril 2024.

Le nouveau projet, objet de la présente demande de cas par cas, est un projet photovoltaïque avec raccordement sur le réseau de distribution gérée par Enedis et pour une revente totale de l'électricité.

Il s'agit de deux projets distincts.



2. Caractéristiques du projet

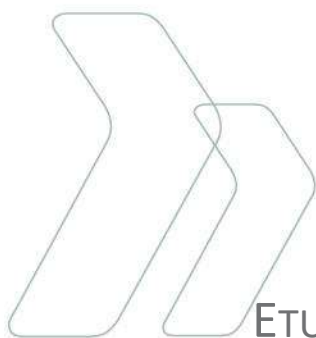
Les caractéristiques du présent projet sont similaires au projet d'autoconsommation, en particulier s'agissant des prescriptions sur la hauteur de l'installation pour limiter l'impact sur l'aléa inondation, autrement dit les modules seront surélevés de 220cm au dessus du terrain naturel.

3. Rubriques du CERFA

Ce nouveau projet n'est pas une extension du projet d'autoconsommation puisque celui-ci disposera d'une solution de raccordement distincte. Les parties titulaires du contrat de raccordement (CARD-i) sont distinctes :

- La SAS Emile HENRY dans le projet d'autoconsommation déjà autorisé
- La SAS MW Energies dans le 2nd projet de revente totale

C'est pourquoi la case NON a été cochée au 4.7.



MW ENERGIES

ETUDE HYDRAULIQUE PV MARCIGNY

Rapport

N° : 23F-033-RL-1

Révision n° : A

Date : 24/07/2023

Votre contact :
Adrien GUIHEUX
guiheux@isl.fr



// Analyse de l'impact d'un parc de
panneaux photovoltaïques

ISL Ingénierie SAS – LYON
83-85 boulevard Marius Vivier Merle
Immeuble LE DISCOVER
69003 – Lyon
France
Tel : +33.4.27.11.85.00
Fax : +33.1.40.34.63.36

www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 26/07/2023.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	24/07/2023	MLY	MLY	AGU	

AGU : GUIHEUX Adrien

MLY : THOMAS Madeleine

Rapport ISL
23F-033-RL-1
Revision A
Etude hydraulique PV Marcigny
<http://www.isl.fr/r.php?c=233202>



1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
1.1	CONTEXTE.....	1
1.2	OBJECTIFS	1
2	ETUDE HYDRAULIQUE.....	2
2.1	MODELE TELEMATAC PPRI 2011	2
2.2	MODIFICATION DU MODELE	4
2.2.1	Emprise	4
2.2.2	Données topographiques	7
2.2.3	Données de calage	7
2.2.4	Conditions limites	8
2.3	SITUATION ACTUELLE	8
3	IMPACTS HYDRAULIQUES DU PROJET	11
3.1	INTEGRATION DU PROJET	11
3.2	IMPACTS HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A L'ETAT ACTUEL	11
3.2.1	Impact sur les hauteurs d'eau	11
3.2.2	Impact sur la dynamique de la crue	12
3.2.3	Impact sur les vitesses	13
4	ANALYSE DU RISQUE EMBACLE	14
4.1	OBJECTIFS DE L'ANALYSE	14
4.2	QUANTIFICATION DES BOIS FLOTTANTS SUR LE BASSIN VERSANT	14
4.2.1	Point de calcul	14
4.2.1.1	Méthode de quantification	15
4.2.1.2	Données.....	15
4.2.1.3	Valeurs des paramètres	15
4.2.2	Résultats	16
4.2.3	Aménagements	17
4.2.4	Conclusion.....	17

4.3	PRODUCTION D'EMBACLES SUR LE SITE	18
5	CONCLUSION	19
	ANNEXE 1 LOGICIEL TELEMAT 2D	1
	ANNEXE 2 CARTOGRAPHIE	3
	ANNEXE 3 FORMULE EMPIRIQUES – BOIS FLOTTANTS.....	4

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Zone d'implantation du projet de panneaux photovoltaïques	1
Figure 2 : Hauteur d'eau de la crue de référence – modèle PPRI	3
Figure 3 : Emprise du modèle TELEMAT pour l'implantation des panneaux photovoltaïques	5
Figure 4 : Création du modèle TELEMAT - maillage 2023	6
Figure 5 : Zone dans laquelle la donnée topographique a évolué	7
Figure 6 : Coefficient de Strickler	7
Figure 7 : Conditions limites du modèle issues du PPRI de 2011 (hydrogramme amont – courbe de tarage aval).....	8
Figure 8 : Hauteur d'eau – crue de référence du PPRI en état actuel.....	8
Figure 9 : Vitesse de l'écoulement – crue de référence du PPRI en état actuel	9
Figure 10 : Lignes de courants - crue de référence du PPRI en état actuel.....	9
Figure 11 : Hauteur d'eau – crue de référence du PPRI en état aménagé	12
Figure 12 : Vitesse de l'écoulement – crue du PPRI en état aménagé	13
Figure 13 : Impact sur les vitesses – crue du PPRI ($dV = V_{\text{actuel}} - V_{\text{aménagé}}$, en m/s)	13
Figure 14 : Point de quantification du volume d'embâcles.....	14
Figure 15: Volume de bois flottant susceptible d'arriver au niveau du point d'étude, estimé par différents paramètres, pour la crue de référence.....	16
Figure 16 : Localisation des obstacles à l'écoulement et CLC.....	17
Figure 17 : Lignes de courant – crue de référence	18
Figure 18 : 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)	4

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des mailles du modèle 2D Telemac	6
Tableau 2 : Valeurs des paramètres étudiés pour une crue centennale de la Loire.....	15
Tableau 3 : Volume de bois flottants	16

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 CONTEXTE

MW Energies a confié à ISL la réalisation d'une étude hydraulique concernant le projet d'implantation de panneaux photovoltaïques sur la commune de Marcigny, dans le département de la Saône-et-Loire (71).

Plus précisément, le site se situe en rive droite de la Loire, derrière le remblai routier de la D982 sur le terrain de l'entreprise Emile Henry.

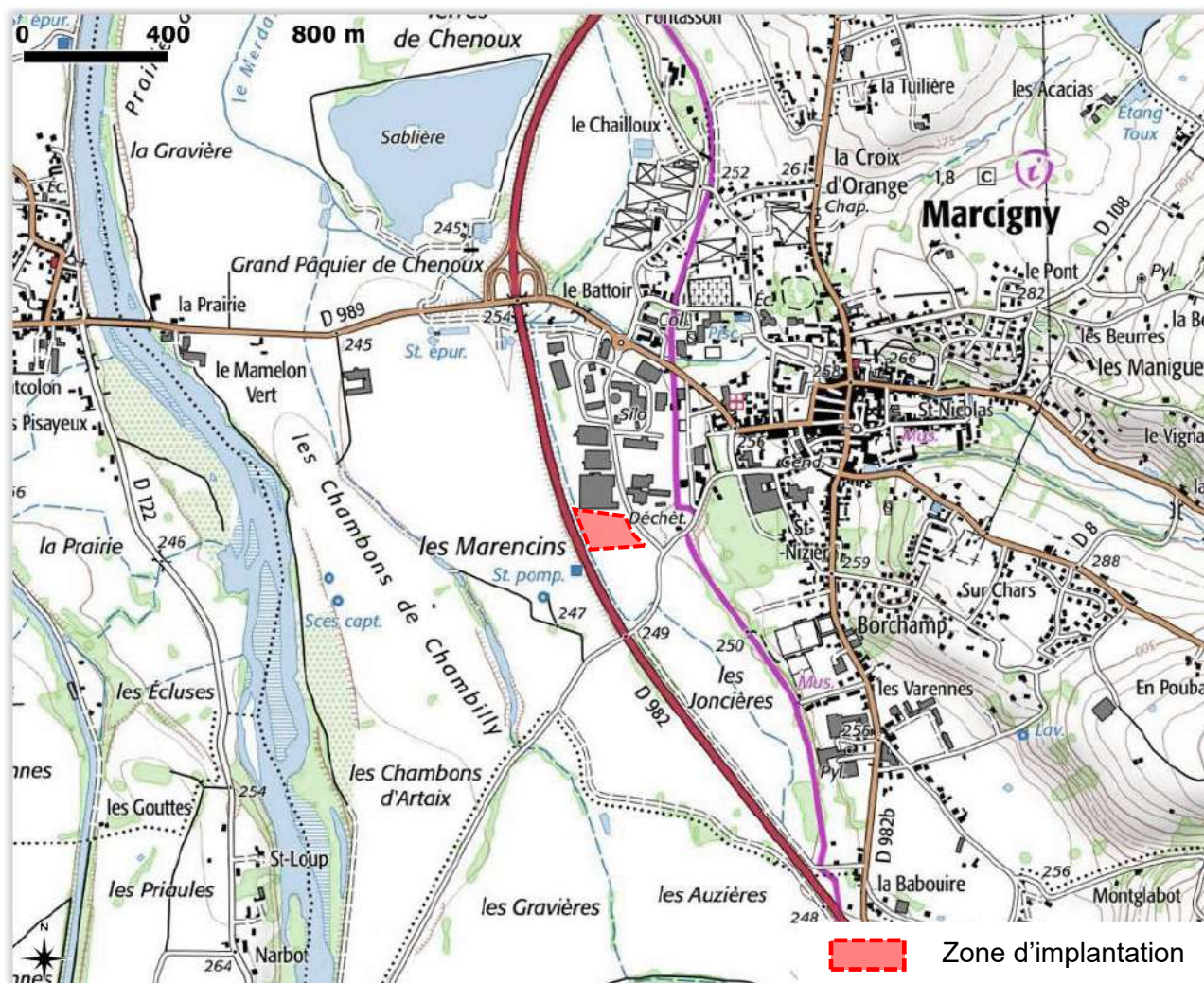


Figure 1: Zone d'implantation du projet de panneaux photovoltaïque

1.2 OBJECTIFS

L'étude a pour objectif d'apprécier les conditions d'écoulements de la Loire et leurs modifications au droit de la zone d'implantation du futur parc.

Plus précisément, l'étude consiste à modéliser les écoulements (hauteur, vitesse) en état actuel et état projet pour la crue de référence du PPRI en vigueur sur la zone d'étude.

2 ETUDE HYDRAULIQUE

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 ;

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.

2.1 MODELE TELEMAC PPRI 2011

Le modèle TELEMAC utilisé dans le cadre de cette étude est celui réalisé par ISL dans le cadre du PPRI de la Loire en 2011 pour le compte de la DDT de l'Allier. L'ensemble des hypothèses ont été conservées. Le modèle dit « amont » allant de Iguerande à Gilly-sur-Loire a été repris.

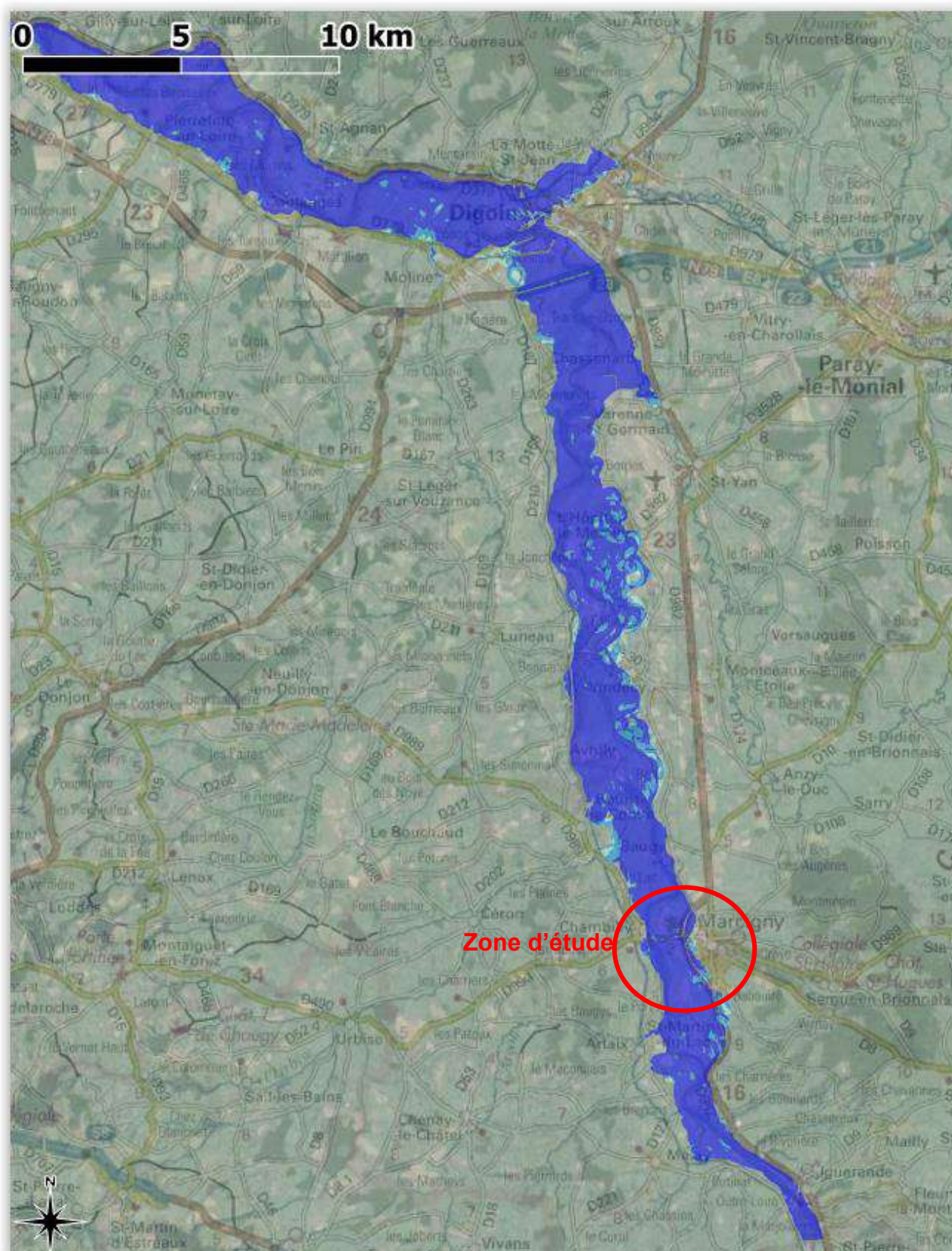


Figure 2 : Hauteur d'eau de la crue de référence – modèle PPRI

Dans le cadre du PPRI de la Loire réalisé en 2011 pour le compte de la DDT de l'Allier, les débits caractéristiques de la crue de référence (octobre 1846) ont été déterminés. La crue de 1846 est la plus forte connue et de période de retour supérieure à 100 ans (sans influence du barrage de Villerest). Dans le secteur d'étude, aucun affluent n'est pris en compte pour la crue de 1846, le débit de pointe de la Loire atteint environ 4775 m³/s.

Pour autant, afin de pouvoir répondre aux objectifs de cette présente étude, un nouveau modèle a dû être fait sur la base des hypothèses et des résultats du modèle de 2011, les caractéristiques du nouveau modèle sont décrites dans le paragraphe ci-dessous.

2.2 MODIFICATION DU MODELE

2.2.1 EMPRISE

Le modèle doit être maillé finement au droit de la zone d'étude afin de représenter au mieux la zone d'implantation et respecter la surface d'implantation des panneaux, de modéliser au mieux les remblais routiers pour analyser les entrées d'eau dans les casiers. Le linéaire de modélisation a été réduit en ne conservant uniquement que la zone d'étude et ses abords, ceci permet donc de réduire le temps de calcul de 38h environ à 4h.

NOTA : il avait initialement été prévu de poursuivre la modélisation jusqu'au pont de la D130, or l'analyse des écoulements avec une partie en surverse sur le remblai routier ne permettait pas la définition d'une courbe de tarage fiable.

L'emprise du modèle est présentée en rouge sur la figure ci-après.

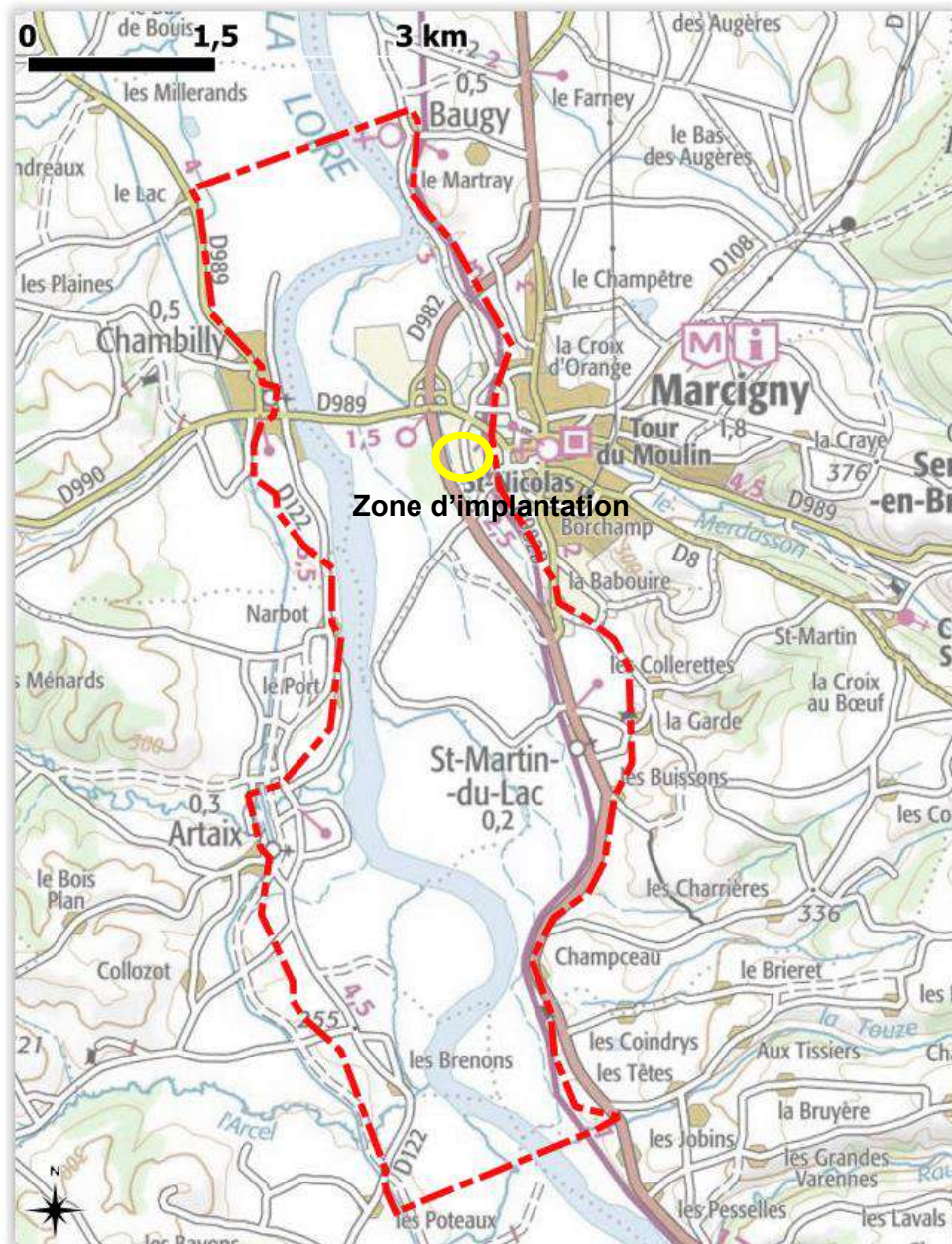


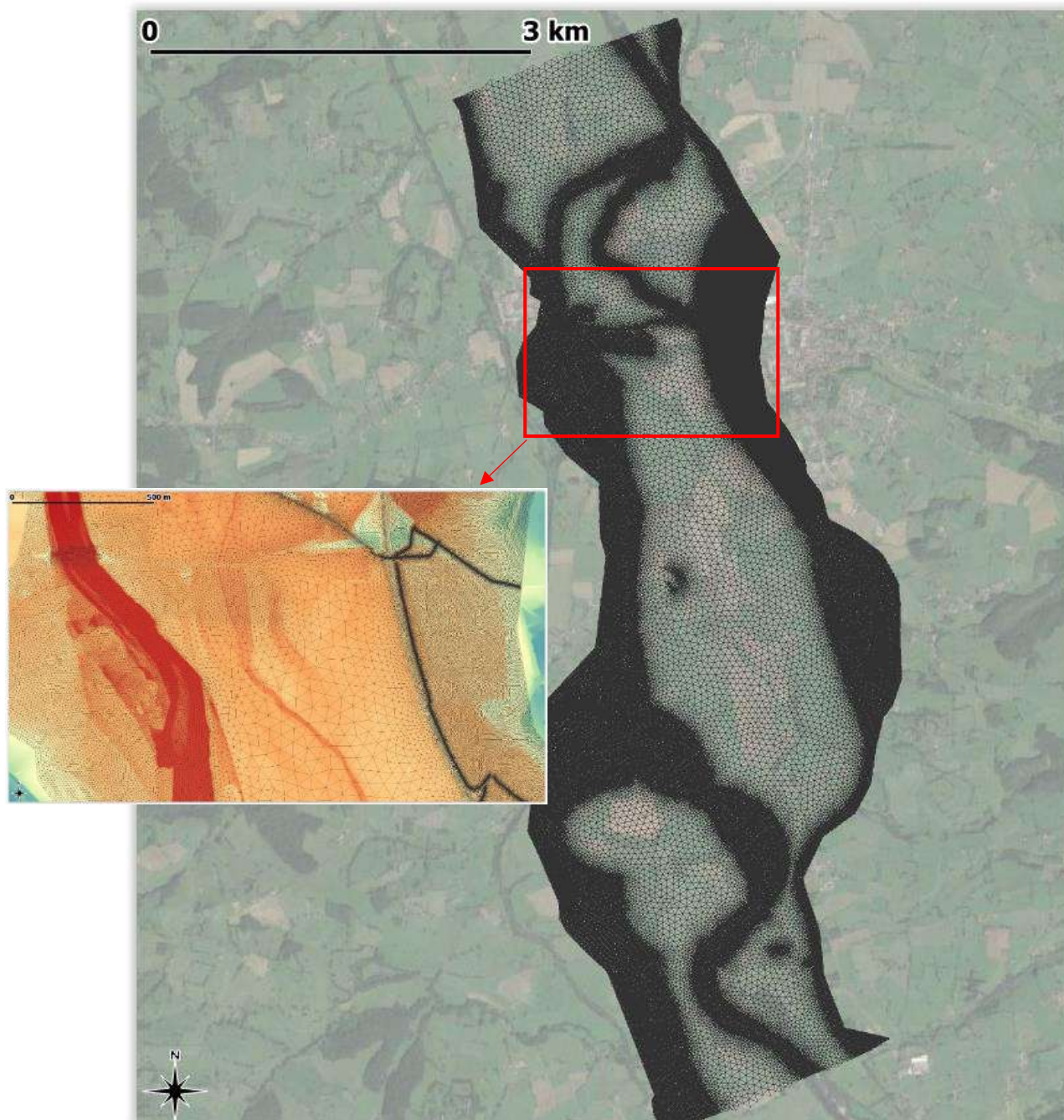
Figure 3 : Emprise du modèle TELEMAT pour l'implantation des panneaux photovoltaïques

Le modèle est arrêté 2km en aval du pont de la D989, au droit de ce profil, l'écoulement est uniforme et permet l'obtention d'une courbe de tarage unique sur tout le linéaire du lit de la Loire.

Le modèle comprend ainsi 167 850 nœuds dont les tailles varient entre 1 m dans les secteurs les plus détaillés et 50 m selon les critères définis dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques des mailles du modèle 2D Telemac

Taille de mailles	Eléments
10 m	Lit mineur de la Loire
1 à 2,5 m	Lit mineur des petits affluents
50 m	Lit majeur par défaut
3 à 10m	Remblai routier
5 m	Zone d'implantation du projet

**Figure 4 : Création du modèle TELEMAC - maillage 2023**

2.2.2 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

Les données topographiques disponibles sont les données Lidar RGEAlt (grille de pixel 1 m) couvrant l'ensemble du territoire d'étude, fournies par l'IGN et dont la version date de 2021 (le relevé ayant été effectué antérieurement). La mise à jour des données topographiques est faite sur la base de ces données dans le lit majeur. Une comparaison a été faite par ISL par rapport aux données utilisées dans le cadre du PPRI, aucune modification majeure n'a été observée dans la zone d'aménagement entre les deux données.

Seul un remblai, le long de la D982 au niveau du lieu-dit des Chailloux est nouvellement présent. Celui-ci situé derrière le remblai et en aval de la zone d'étude n'a pas d'impact sur les résultats.



Figure 5 : Zone dans laquelle la donnée topographique a évolué

2.2.3 DONNEES DE CALAGE

Le calage du modèle a été réalisé dans le cadre du PPRI de l'Allier en 2011, les conditions d'écoulement n'ayant pas changé, il sera considéré comme valide pour la présente étude. Les coefficients de Strickler (coefficients de frottement) sont donc conservés.

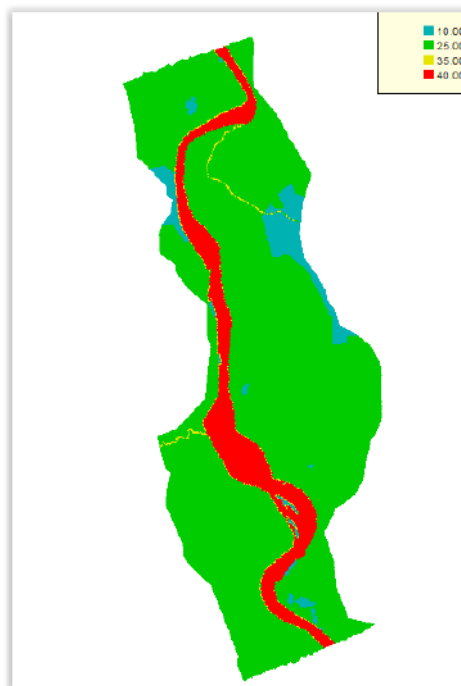


Figure 6 : Coefficient de Strickler

2.2.4 CONDITIONS LIMITES

Le débit de la Loire est injecté en amont du modèle, au droit de Melay.

La condition limite aval est une courbe de tarage qui a été déterminée à partir des résultats du modèle réalisé dans le cadre du PPRI 2011. La limite aval du modèle est suffisamment éloignée de la zone d'étude pour minimiser les erreurs dues à cette condition.

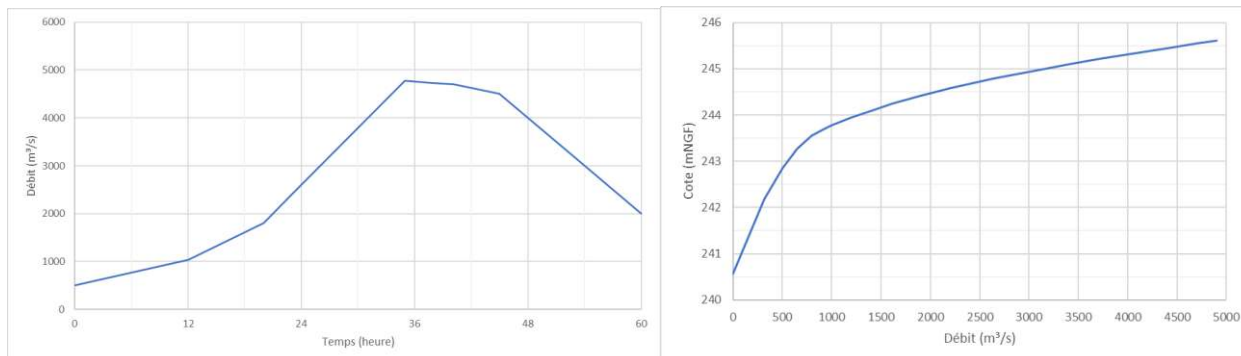


Figure 7 : Conditions limites du modèle issues du PPRI de 2011 (hydrogramme amont – courbe de tarage aval)

2.3 SITUATION ACTUELLE

Le paragraphe ci-dessous vise à exposer les résultats hydrauliques en situation actuelle pour la crue de 1846. Le débit de pointe de la Loire lors de la crue de 1846 est estimé à environ 4775 m³/s au droit du pont de Marcigny.

Les résultats au droit du secteur d'étude sont présentés sur les images suivantes.

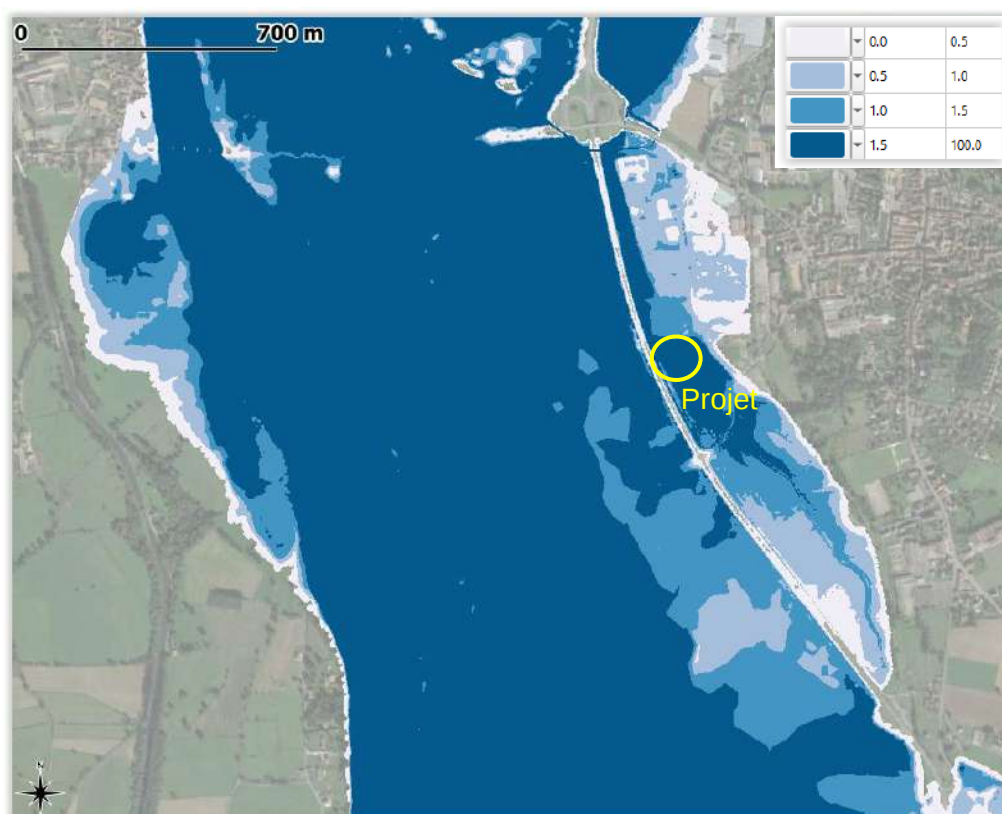


Figure 8 : Hauteur d'eau – crue de référence du PPRI en état actuel

Le niveau d'eau au droit de la zone d'implantation est de 248 mNGF (soit une hauteur d'eau de plus de 1m80 au droit de la zone d'implantation).

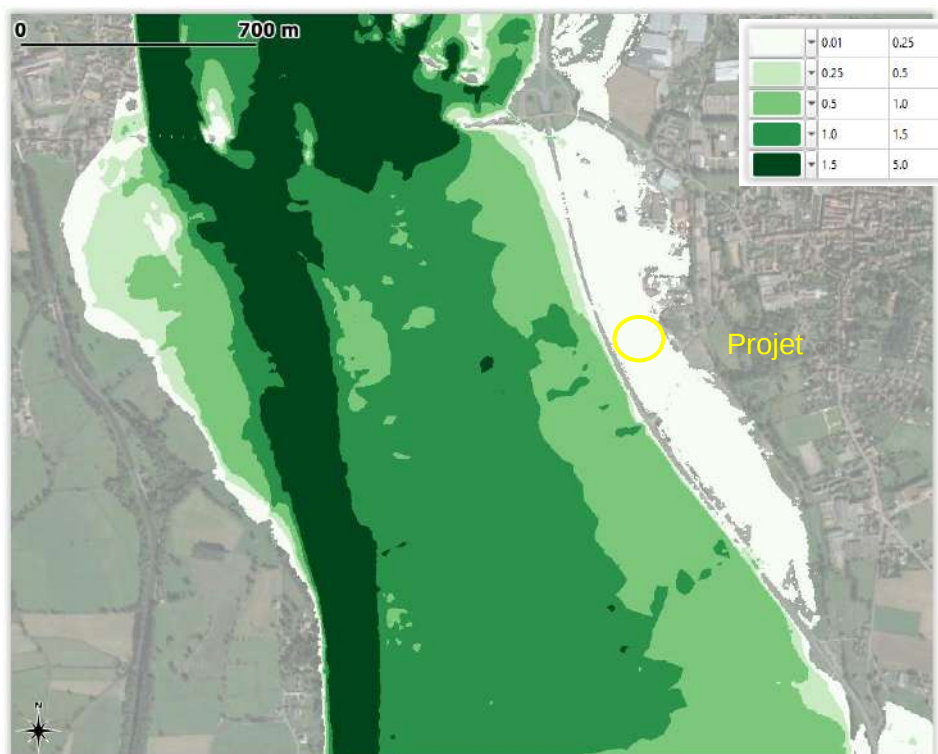


Figure 9 : Vitesse de l'écoulement – crue de référence du PPRI en état actuel



Figure 10 : Lignes de courants - crue de référence du PPRI en état actuel

En analysant les lignes de courant, courbes qui permettent de décrire le mouvement de l'eau, on note que l'écoulement dans la zone d'implantation vient principalement de la remontée de la Loire dans le Merdasson. Une légère surverse a lieu sur le remblai routier de la D982 avec une estimation

d'un déversement de 14 m³/s dans le casier. Les vitesses d'écoulement au droit de la zone d'implantation sont particulièrement faibles (< à 0,1 m/s).

3 IMPACTS HYDRAULIQUES DU PROJET

3.1 INTEGRATION DU PROJET

Les obstacles à l'écoulement des eaux, causés par les panneaux photovoltaïques terrestres, correspondent aux pieux, le panneau étant installé au-dessus du niveau d'eau.

Pour quantifier l'impact des panneaux sur les écoulements, le coefficient de Strickler a été diminué au droit de la zone d'implantation dans la modélisation 2D, coefficient qui permet de traduire la capacité d'écoulement du terrain. On considère le champ de panneaux assimilé à une zone boisée pour lesquels le niveau d'eau n'atteint pas les branches, le coefficient préconisé par B.LACHAT¹ est compris entre 6 et 10 m^{1/3}/s, la valeur médiane de 8 m^{1/3}/s est retenu.

Le positionnement des structures flottantes a été fourni par MW Energies, sur une surface de 1,3 ha.

Le modèle en état projeté est donc modifié en prenant en compte la réduction du coefficient de Strickler sur la zone d'implantation.

3.2 IMPACTS HYDRAULIQUES PAR RAPPORT A L'ETAT ACTUEL

3.2.1 IMPACT SUR LES HAUTEURS D'EAU

Pour la crue de 1846, en termes d'hauteur d'eau, les impacts liés à l'installation des panneaux photovoltaïques sont inférieurs au centimètre (hauteurs de l'ordre de grandeur de la précision de la modélisation), on peut donc conclure qu'ils ont un impact négligeable.

Le projet ne modifie ni les niveaux d'eau, ni l'emprise de la zone inondable.

¹ B. LACHAT, Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales, 1994



Figure 11 : Hauteur d'eau – crue de référence du PPRI en état aménagé

La simulation réalisée ne met pas en évidence des impacts perceptibles (écarts inférieurs à 2 mm) dans le casier, les impacts sont plus faibles que les incertitudes inhérentes aux calculs. La carte d'impacts des hauteurs d'eau n'est donc pas présentée.

En effet, les panneaux sont situés :

- dans une zone protégée par un remblai routier où la zone inondable est causée par remontée de la Loire dans le Merdasson ;
- au-dessus du niveau d'eau atteint lors de la crue : les seuls obstacles sont les pieux.

Les vitesses d'écoulement sont très faibles, et la surface obstruée par les pieux n'a donc pas d'impact sur les niveaux d'eau.

3.2.2 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'induit donc pas non plus d'impact sur la dynamique de la crue.

3.2.3 IMPACT SUR LES VITESSES

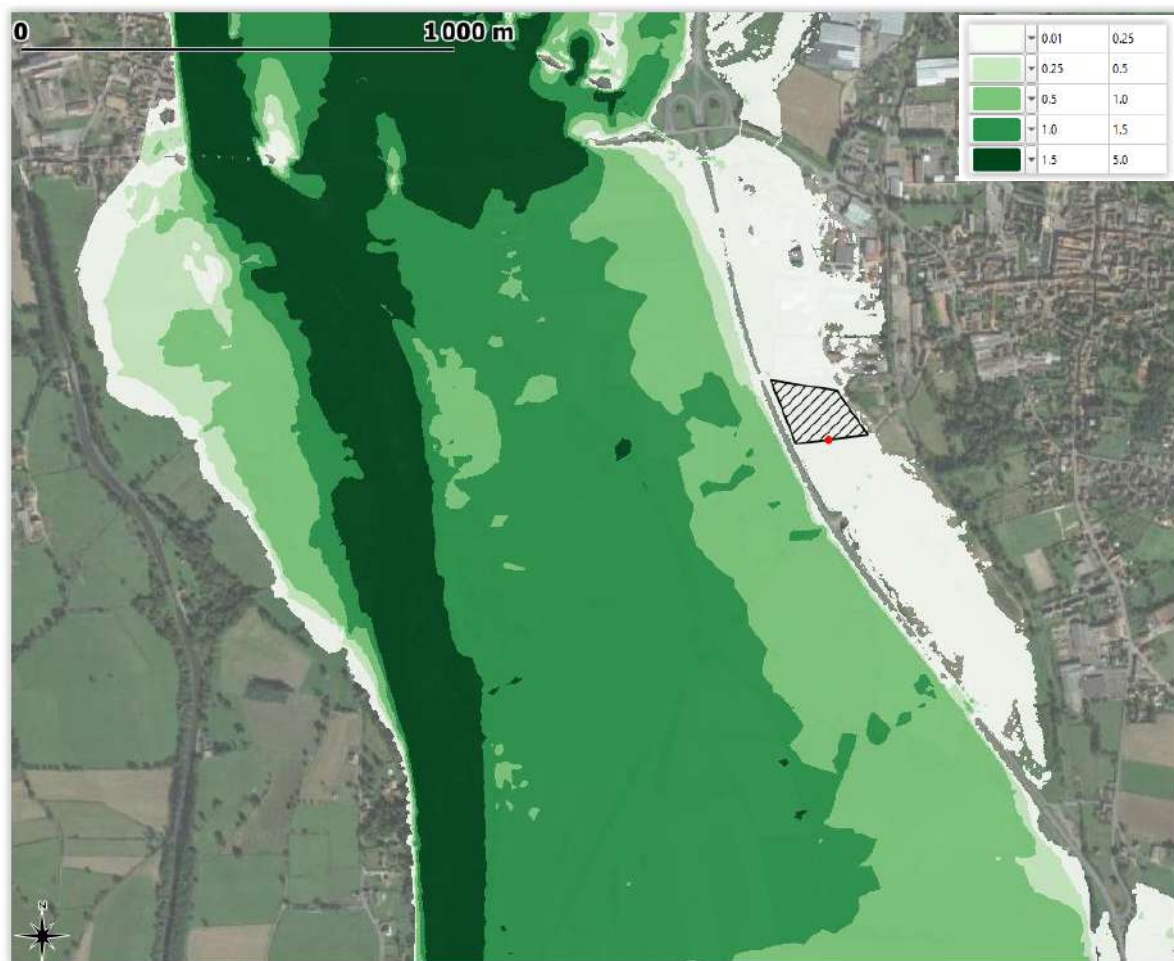


Figure 12 : Vitesse de l'écoulement – crue du PPRI en état aménagé

La seule modification des vitesses engendrée par le projet est localisée au droit de la zone d'implantation (cf. Figure 13) ; cependant cet impact est marginal dans la mesure où l'incrément de vitesse est très localisé et très faible.

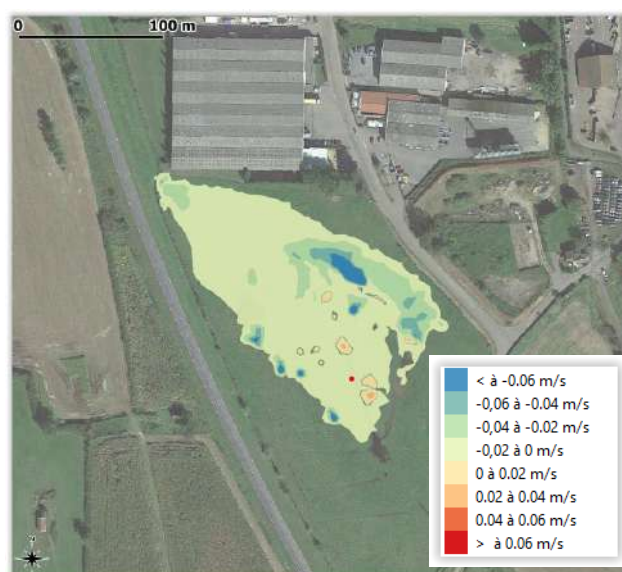


Figure 13 : Impact sur les vitesses – crue du PPRI ($dV = V_{\text{actuel}} - V_{\text{aménagé}}$, en m/s)

4 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.

4.1 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.

4.2 QUANTIFICATION DES BOIS FLOTTANTS SUR LE BASSIN VERSANT

4.2.1 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 le bassin versant en aval du barrage de Villerest. Le point d'étude choisi est le pont de la D990 à Marcigny.

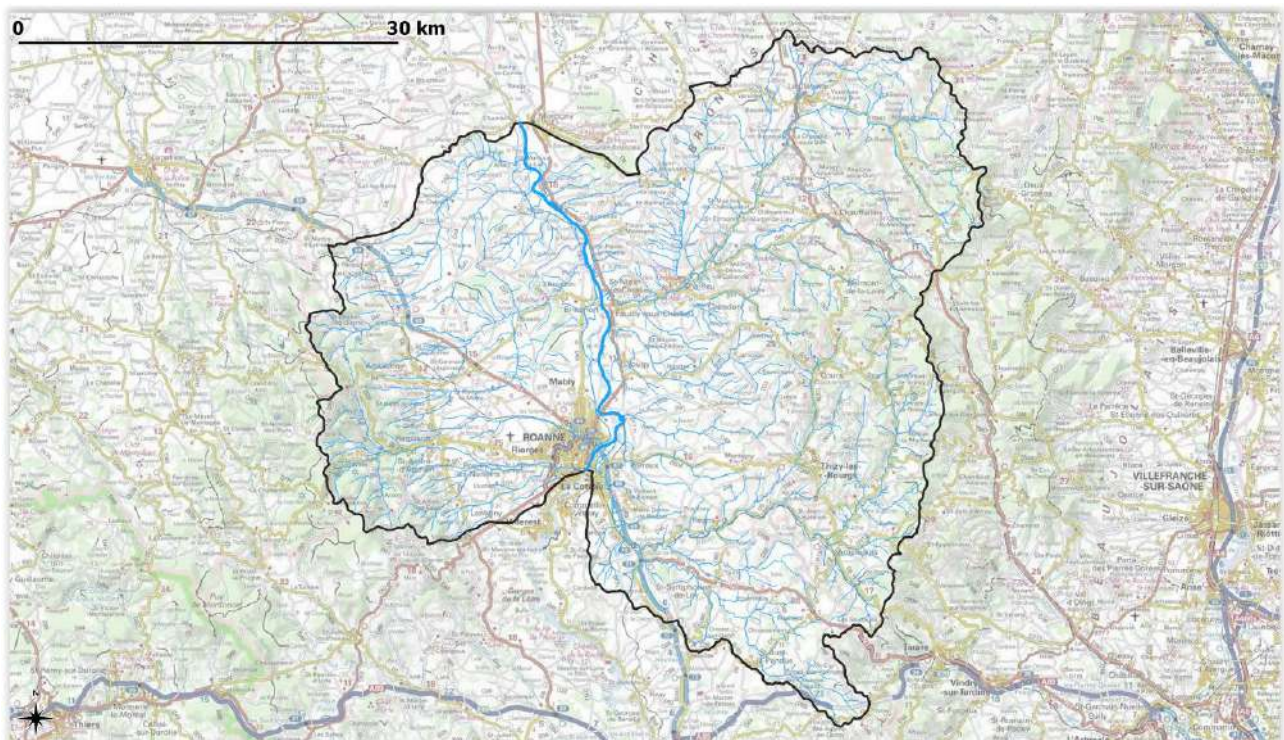


Figure 14 : Point de quantification du volume d'embâcles

NOTA : Le bassin versant considéré de la Loire est de 1750 km² 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.

4.2.1.1 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
- Type de bois

4.2.1.2 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

4.2.1.3 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, etc.) et à un événement particulier (volume et débit de crue de la crue de référence).

Tableau 2 : Valeurs des paramètres étudiés pour une crue centennale de la Loire

	Valeur
Surface BV (km ²)	1 750
Longueur cours d'eau (km)	76
Longueur chenal boisé (km)	15
Largeur cours d'eau (m)	86
Surface BV boisé (km ²)	365
Débit de pointe (m ³ /s)	4 700
Volume de crue (Mm ³)	0,36

4.2.2 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 paramètre déterminant), pour les centiles 10% , 50 %, 90 % et un scénario extrême.

Tableau 3 : Volume de bois flottants

Formule utilisée	Volume de bois flottants (m ³)			
	10%	50%	90%	extrême
Surface BV (km ²)	339	2 146	16 939	27 135
Longueur cours d'eau (km)	44	320	3 198	5 782
Longueur chenal boisé (km)	27	189	1 924	3 559
Largeur cours d'eau (m)		48 600		
Surface BV boisé	354	2 099	19 628	22 057
Débit de pointe (m ³ /s)	1 427	12 517	65 876	50 653
Volume de crue (m ³)	423	3 176	27 524	44 246
Débit et volume de crue combinés	800	13 095	37 341	33 212

Les formules utilisées sont fournies en ANNEXE 3. La figure suivante présente les résultats obtenus grâce à l'application de ces formules empiriques au bassin versant de la Loire, pour la crue de référence. 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.

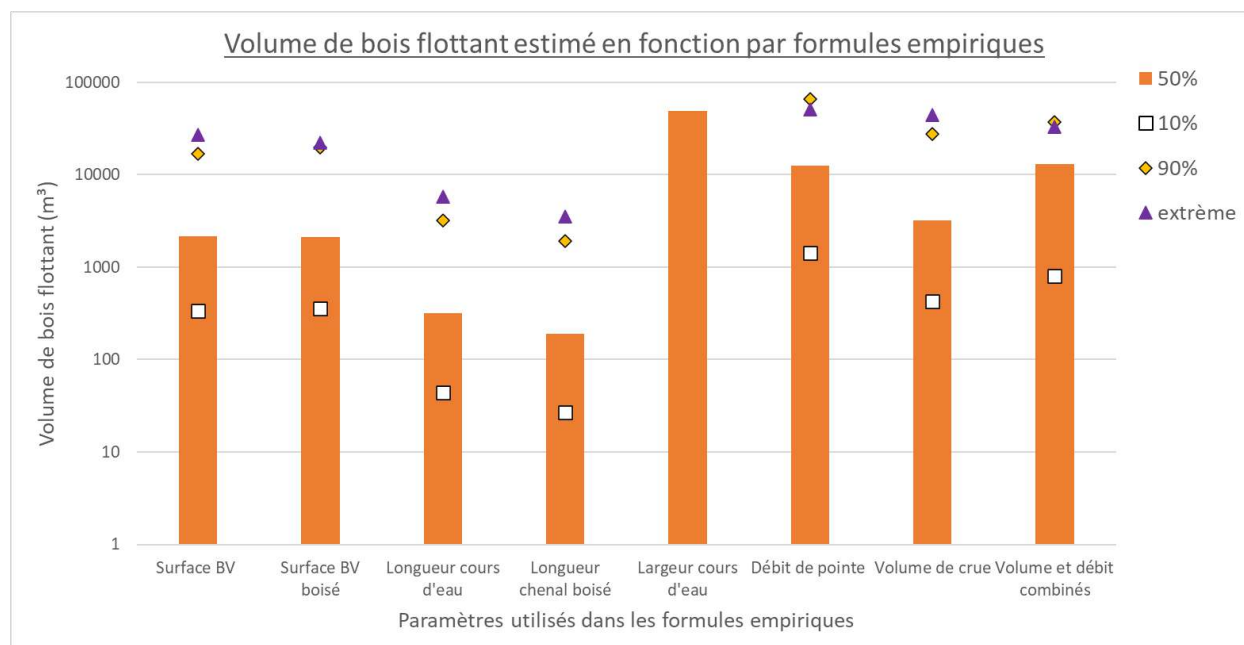


Figure 15: Volume de bois flottant susceptible d'arriver au niveau du point d'étude, estimé par différents paramètres, pour la crue de référence

Selon la formule utilisée, les résultats sont très différents. Pour un scénario moyen, correspondant au centile 50%, les valeurs varient entre 200 et 50 000 m³ de bois flottant.

4.2.3 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.

De nombreux seuils, ponts et barrages sont présents dans le bassin versant sur l'ensemble du chevelu hydrographique. Sept cents ouvrages faisant obstacle à l'écoulement sont localisés. 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 la carte d'occupation des sols issue de Corin Land Cover.

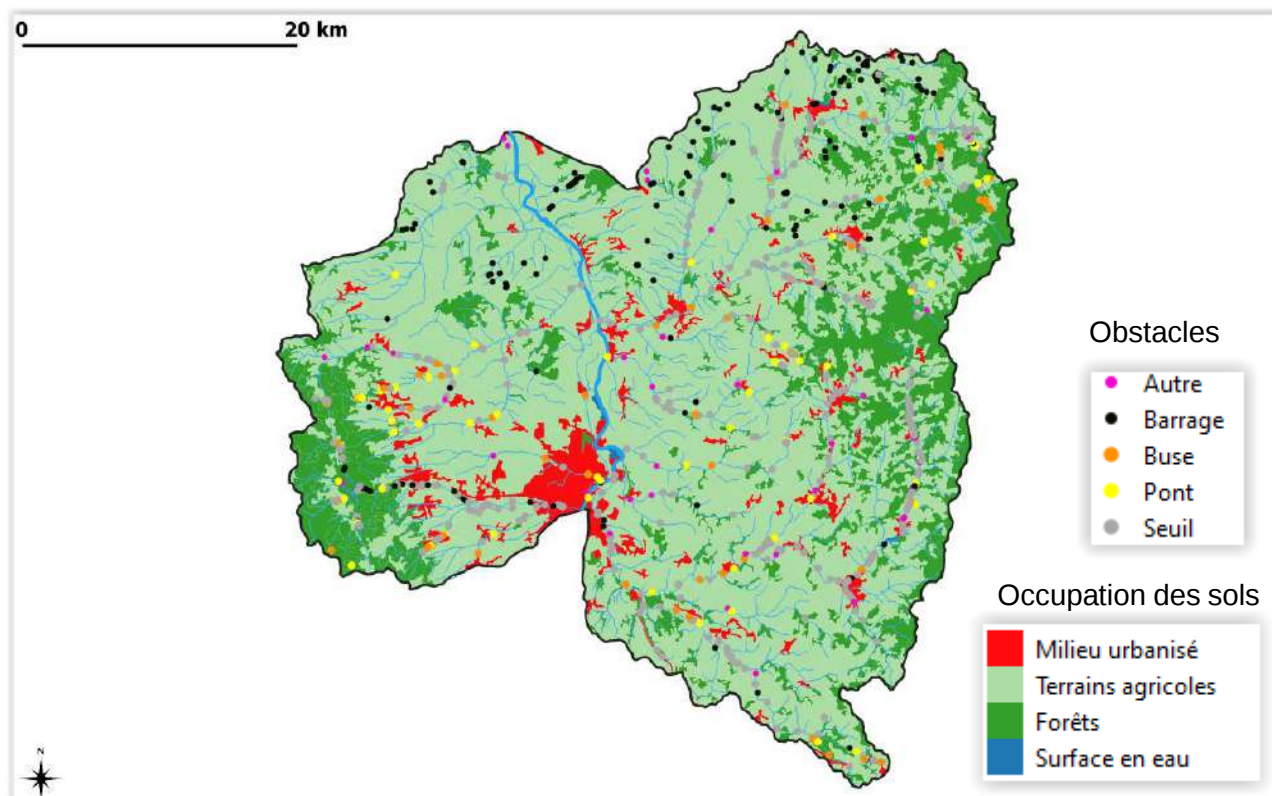


Figure 16 : Localisation des obstacles à l'écoulement et CLC

4.2.4 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 le bassin versant intermédiaire de la Loire. 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 km². Pour des bassins versants plus étendus, comme celui étudié dans cet présent rapport, 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 4800 m³. Il y a donc 50 % de chance qu'une crue de type 1846 génère un volume d'embâcles supérieur ou égal à 4 800 m³.

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.

4.3 PRODUCTION D'EMBÂCLES SUR LE SITE

L'estimation de bois flottant repose sur l'**analyse courantologique** : étude des lignes de courant, champs de vitesses et hauteurs d'eau issus de la modélisation hydraulique afin de déterminer le risque d'embâcles propre au site d'implantation.

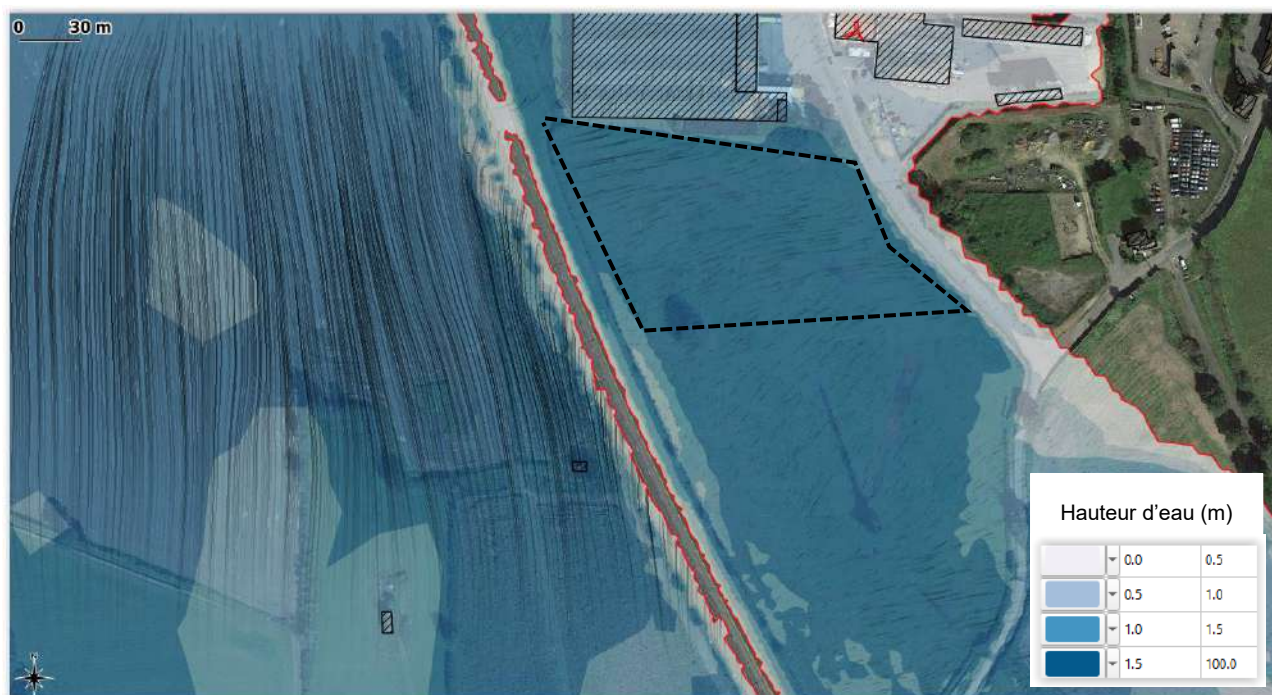


Figure 17 : Lignes de courant – crue de référence

La lame déversant au-dessus du remblai routier est inférieure à 10cm. Dans le cas où des embâcles seraient produits dans le lit majeur de la Loire, ils ne pourraient pas arriver sur le site, car vu les hauteurs d'eau modélisées et en considérant un seuil de flottaison égal au diamètre des flottants², seuls les petits sujets (diamètre inférieur à 10 cm) pourraient être transportés au-dessus de la RD982. La seconde entrée d'eau se fait par l'ouvrage de franchissement au droit du Merdasson, la taille des embâcles est donc fortement limitée par les dimensions de l'ouvrage.

Si jamais des flottants parvenaient dans la zone d'implantation des panneaux photovoltaïques, les vitesses de l'écoulement étant particulièrement faibles, ils ne présenteraient aucun danger pour la structure des installations dans le cas d'une collision.

² Cf. « floatation threshold » - Bocchiola et al - doi:10.1029/2006WR005846

5 CONCLUSION

La modélisation hydraulique a permis d'apprécier le fonctionnement des écoulements hydrauliques dans la zone d'étude et de quantifier les impacts de l'installation des panneaux terrestre.

La zone d'implantation du projet se situe dans une zone inondée, principalement dû à la remontée du niveau d'eau dans le Merdasson, et à une légère surverse sur la RD982. En état actuel, la hauteur d'eau dans la zone est supérieure à 1,50 m, et les vitesses sont inférieures à 0,25m/s, ce qui a induit sa catégorisation en zone rouge.

En état projeté, la modélisation hydraulique a montré que les obstacles à l'écoulement des eaux, causés par les pieux des panneaux photovoltaïques ont un impact inférieur au centimètre en termes de hauteurs d'eau et inférieurs à 0,1m/s en termes de vitesse pour la crue de référence d'octobre 1846.

Nous pouvons donc conclure que compte tenu de la zone d'implantation du projet, l'aménagement du terrain ne modifie pas l'emprise de la zone inondable et les hauteurs d'eau définis dans le PPRI.

Concernant le risque d'embâcles, il a été déterminé le risque induit par le bassin versant de la Loire, estimation à nuancer compte tenu du nombre d'aménagements présent sur le bassin versant. Ce risque est à nuancer une seconde fois compte tenu que l'entrée d'eau dans le casier du secteur d'étude se fait majoritairement depuis le Merdasson et par une légère surverse au-dessus de la départementale, seuls les embâcles de petites tailles peuvent parvenir dans la zone. Et ces derniers ne représenteront pas de risque vis-à-vis de l'installation car les vitesses d'écoulement dans le casier sont quasi nulles, la détérioration lors de l'impact semble peu probable.

Ces diverses observations permettent à ISL de confirmer l'absence de risque d'embâcles au droit de la zone d'aménagement.

ANNEXE 1 LOGICIEL TELEMAR 2D

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

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

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

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

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

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

avec :

- h (m) hauteur d'eau
- u,v (m/s) composantes de la vitesse
- T (g/l or °C) traceur passif
- g (m/s²) accélération de la pesanteur
- ν_t, ν_T (m²/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
- S_h (m/s) source ou puits de fluide
- S_x, S_y (m/s²) termes source ou puits des équations dynamiques (vent, force de Coriolis, frottement sur le fond, etc.)
- S_T (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 :

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

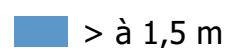
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(\varepsilon) = \frac{l}{h} \operatorname{div}\left(h \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \vec{\nabla} \varepsilon\right) + \frac{\varepsilon}{k} (c_{1\varepsilon} P - c_{2\varepsilon} \varepsilon) + P_{\varepsilon v}$$

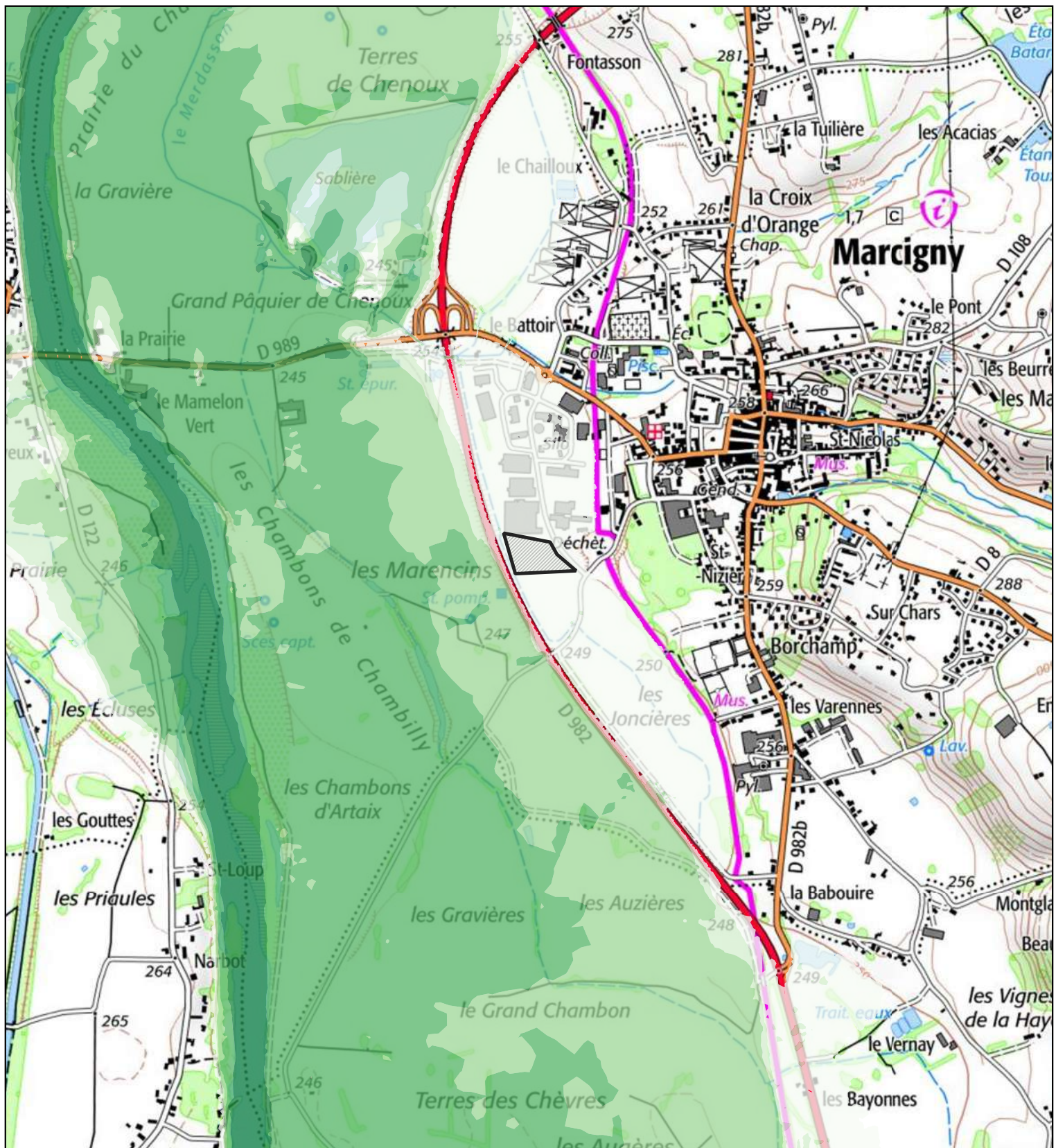
Les seconds membres de ces équations étant des termes de production et de destruction des quantités turbulentes (énergie et dissipation).

Ses résultats principaux sont, en chaque points 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 CARTOGRAPHIE





Aménagement de panneaux photovoltaïques à Marcigny

Vitesse - état aménagé
Crue de référence 1846



0 250 500 m



Réalisé par : MLY

Vérifié par : AGU

Juillet 2023

Légende

 Zone d'implantation du projet

Vitesse maximale de l'écoulement

 < à 0,25 m/s

 entre 0,25 et 0,5 m/s

 entre 0,5 et 1 m/s

 entre 1 et 2 m/s

 > à 2 m/s

ANNEXE 3 FORMULE 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 18 : 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