



elements
www.elements.green

SOLEIL ÉLÉMENTS 10

PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE DE CHEVENON

Version avec pièces manquantes – Complétée avec les études PPRi & ICPE exigées

ANNEXE 7 DE L'ÉTUDE D'IMPACT
-
ÉTUDE HYDRAULIQUE

Commune de Chevenon (58)

Rapport n°R21065405-EI

Mai 2022

SOMMAIRE :

- 1. Etude HYDRETTUDES 2022 (mise-à-jour) ;**
- 2. Etude HYDRETTUDES 2020 (ancienne étude) ;*



**Projet de centrale photovoltaïque flottante
à Chevenon dans la Nièvre - Assistance
technique pour la thématique "Hydraulique
- PPRI"**



**Etude
hydraulique -
Ajout éléments
extension
gravière**

N° d'Affaire : ARI-20-041

Version 2

27 janvier 2022

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

ELEMENTS
5 rue Anatole France
34000 Montpellier
04 34 26 61 67
contact@elements.green

Affaire

Projet de centrale photovoltaïque flottante à Chevenon dans la Nièvre - Assistance technique pour la thématique "Hydraulique - PPRI"

ARI-20-041

Didier CLEMENT

Etude hydraulique - Ajout éléments extension gravière

Emetteur

HYDRETUDES - Centre technique principal
815, route de Champ Farçon
74370 ARGONAY
04.50.27.17.26
contact@hydretudes.com



Document

Etude hydraulique - Ajout éléments extension gravière
27 janvier 2022

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	06/12/2021	V1	C. RAUCOULES	D.CLEMENT
2	27/01/2022	V2 – Actualisation conventions	C. RAUCOULES	D.CLEMENT
3				
4				
5				

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES TABLEAUX	4
1. INTRODUCTION	5
2. COMPLEMENTS HYDRAULIQUES DEMANDES	6
3. PRESENTATION DU PROJET D'EXTENSION	7
4. INTEGRATION AU MODELE HYDRAULIQUE	10
4.1. Modifications	11
4.1.1. Géométrie de la centrale photovoltaïque	11
4.1.2. Topographie	12
4.1.3. Coefficient de frottement	13
4.2. Synthèse des modèles utilisés	14
5. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LE MODELE M.CENTRALE ET LES MODELES EXTENSION	15
5.1. Objectifs et méthodologie	15
5.2. Surface libre	15
5.1. Vitesses d'écoulements	16
5.1.1. Résultats des modèles	16
5.1.2. Dimensionnement des ancrages	17
6. ACTUALISATION DU PLAN D'IMPLANTATION	20
6.1. Dernière version du plan de la centrale photovoltaïque	20
6.2. Actualisation des modèles	21
6.3. Résultats des modélisations	22
6.3.1. Vitesses dans le bassin C	22
6.3.2. Vitesses dans les bassins A et B	23
6.4. Synthèse de l'intégration de l'extension au modèle	26
7. PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'EMBACLE	27
7.1. Rappel des mesures prévues	27
7.2. Actualisation des mesures prévues	28
8. CONCLUSION	31
ANNEXES	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la gravière et de l'extension	7
Figure 2: Phasage du projet d'extension de la gravière sur 30 ans.....	8
Figure 3: Détail extension gravière par phase (état en fin de phase)	9
Figure 4: Plan d'implantation projeté de la centrale - Décembre 2020.....	11
Figure 5: Plan d'implantation projeté de la centrale – Août 2021.....	11
Figure 6: Maillage et topographie ajustée dans le modèle avec extension par phases modélisées	12
Figure 7: Maillage avec coefficient de frottement dans les modèles avec extension selon les phases	13
Figure 8: Emprise d'extraction des vitesses issues des modèles	16
Figure 9 : Plan d'implantation de la centrale photovoltaïque - Dernière version Décembre 2021	20
Figure 10: Maillage avec coefficient de frottement dans le modèle initial Phase D.....	21
Figure 11: Maillage avec coefficient de frottement dans le modèle actualisé Phase D	21
Figure 12: Direction et amplitude des vitesses - Phase D modèle initial	24
Figure 13: Direction et amplitude des vitesses - Phase D modèle actualisé.....	24
Figure 14: Direction et amplitude des vitesses au pic de crue - Phase D modèle initial.....	26
Figure 15: Direction et amplitude des vitesses au pic de crue - Phase D modèle actualisé	26
Figure 16: Rappels des solutions pour répondre à la problématique d'embâcles – Etude hydraulique de 2020 - HYDRETIJDES	27
Figure 17: Plan d'implantation de la centrale photovoltaïque et localisation du peigne anti-embâcle	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Synthèse des caractéristiques principales des modèles.....	14
Tableau 2: Vitesses maximales obtenues à l'issue des différentes modélisations dans les emprises présentées.....	17
Tableau 3 : Vitesses maximales obtenues pour les modélisations de l'extension selon les emprises .	18
Tableau 4: Valeurs des vitesses retenues pour le dimensionnement des ancrages.....	19
Tableau 5 : Comparatif des vitesses maximales entre les modèles PHASE et PHASE_actualisé avec le nouveau plan – Bassin C.....	22
Tableau 6: Comparatif des vitesses maximales entre les modèles PHASE et PHASE_actualisé avec le nouveau plan – Bassins A et B.....	23
Tableau 7: Mesures envisagées pour la prise en compte du risque d'embâcle.....	28

1. INTRODUCTION

La société Eléments porte un projet innovant et d'ampleur consistant à implanter une centrale photovoltaïque flottante sur la commune de Chevenon dans la Nièvre, sur une gravière. Notre bureau d'études a été missionné par la société Eléments pour travailler sur les aspects hydrauliques, tant pour répondre aux exigences de la DDT 58 que pour ajuster le dimensionnement des ancrages de la centrale et protéger son intégrité lors des crues. Un rapport a ainsi été réalisé fin 2020, permettant de présenter l'ensemble de cette étude hydraulique.

Eléments a ainsi intégré cette étude à un dossier complet (composé notamment d'une étude d'ancrage) sur l'installation de la centrale photovoltaïque, puis a saisi le Service Loire Sécurité Risques de la DDT58 pour avis sur une demande de permis de construire. Les services de l'Etat ont fait un retour sur cette demande par courrier du 3 mai 2021, dont la conclusion était la suivante :

*« Au regard des avis émis par le Centre d'Etudes et d'Expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) sur l'étude hydraulique et l'étude d'ancrage, **j'émet un avis défavorable** à la demande de permis de construire au titre de la prévention des risques.*

Cet avis pourra être revu après fourniture et examen des pièces complémentaires répondant aux différents points du CEREMA. »

A la suite de ce retour, Eléments a donc souhaité qu'un complément d'étude hydraulique et d'étude d'ancrage soit effectué pour répondre aux interrogations des services de l'Etat et ainsi faire une nouvelle demande. Le présent rapport porte sur les compléments de l'étude hydraulique.

2. COMPLEMENTS HYDRAULIQUES DEMANDES

Dans son courrier du 3 mai 2021, le Service Loire Sécurité Risques émet donc un avis défavorable sur la demande de permis de construire, en s'appuyant sur l'avis du CEREMA. Concernant l'étude hydraulique, le courrier indique les éléments suivants :

« Cette étude devra être complétée par le pétitionnaire pour répondre aux différents points d'observation soulevés dans l'avis du CEREMA du 26 avril 2021.

De plus, cette étude ne tient pas compte du projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM qui peut avoir une incidence sur la dynamique des écoulements : une simulation prenant en compte cette extension devra être réalisée afin de s'assurer que les ancrages sont correctement dimensionnés ou, dans le cas contraire, les renforcer. »

Dans son courrier du 26 avril 2021, le CEREMA donne un avis technique sur l'étude hydraulique. Le document complet est disponible en Annexe I. Les conclusions du CEREMA sont les suivantes :

*« **L'étude hydraulique** réalisée par le bureau d'études à la demande de la société ELEMENTS **répond bien aux exigences** imposées par le PPRi sur la prise en compte du risque inondation dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque flottante.*

*[...] En revanche, les propositions de mesures préventives visant à limiter la formation d'embâcles en amont du site **mériteraient d'être précisées** (avec conventions à monter) **et peuvent être difficiles à mettre en place sans consensus avec les différents acteurs** (en particulier agriculteurs et futur établissement gémapien).*

*[...] **L'étude hydraulique de 2021 relative au projet de centrale photovoltaïque répond bien aux prescriptions** imposées par le PPRi dans la configuration actuelle de la carrière en phase d'exploitation.*

En revanche, elle ne tient pas compte du projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM, qui peut avoir dans sa configuration à terme une incidence (probablement limitée) sur la dynamique des écoulements, et par conséquent sur le dimensionnement des ancrages des équipements de la future centrale photovoltaïque.

*En cas de confirmation du projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM, **de nouvelles simulations pourraient être envisagées, afin d'estimer les nouvelles vitesses maximales au droit du projet**, tout en s'assurant que les ancrages restent correctement dimensionnés au regard de ces nouvelles valeurs. »*

Ainsi, deux compléments semblent attendus par le CEREMA et donc par les services de l'Etat sur les aspects hydrauliques :

- ▲ D'une part la prise en compte du projet d'extension de la gravière dans le dimensionnement de la centrale photovoltaïque et notamment des ancrages. Lors de l'étude hydraulique menée initialement en 2020, le projet d'extension n'était pas encore validé, c'est notamment une des raisons qui explique sa non prise en compte à l'époque.
- ▲ D'autre part des précisions sur les mesures préventives visant à limiter la formation d'embâcles.

3. PRESENTATION DU PROJET D'EXTENSION

La société EQIOM possède les droits d'exploiter la gravière jusqu'à fin 2023. Elle souhaite prolonger la concession en la renouvelant pour 30 années supplémentaires. EQIOM a en effet déjà exploité les deux premiers bassins, ceux les plus proches de la Loire. Aujourd'hui ces deux bassins ne sont plus en exploitation (en bleu dans la figure suivante). Actuellement, seul le bassin le plus éloigné de la Loire est en exploitation (en jaune dans la figure suivante). D'ici 2023, la zone orange aura également été exploitée. Cet état à fin 2023 correspond à celui étudié dans l'étude hydraulique menée en 2020.

Le projet d'extension vise à étendre le bassin actuellement en exploitation, en direction du Sud-Est, parallèlement à la Loire, sur près de 2km. Le périmètre d'autorisation demandée et validé est représenté en rouge dans la figure suivante.

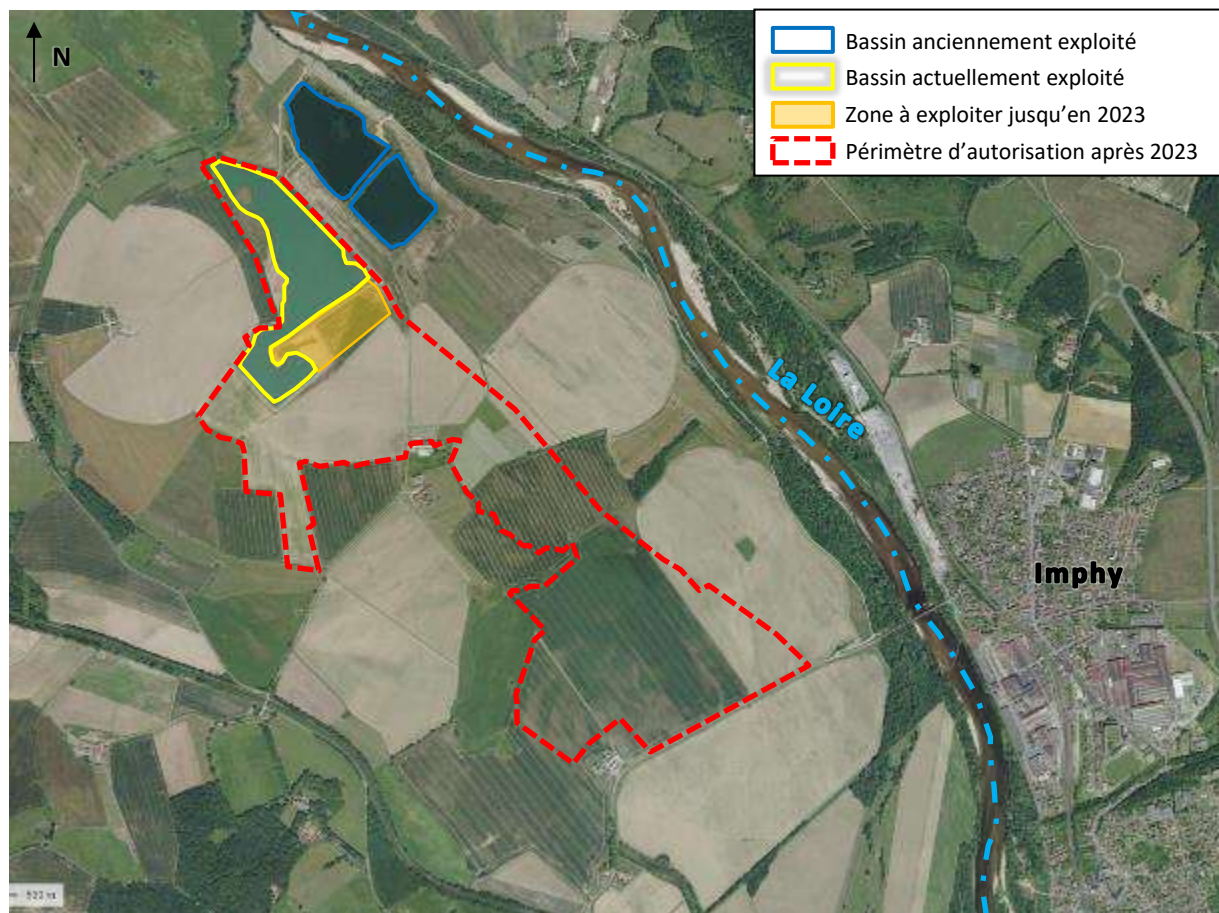


Figure 1: Localisation de la gravière et de l'extension

Le projet d'extension consiste en 6 phases de cinq années, qui permettront un agrandissement progressif du bassin actuellement en exploitation. Une carte de localisation de cette extension et du phasage est disponible en page suivante en Figure 2. Le projet prévoit ainsi un agrandissement conséquent de la gravière d'ici 2053, avec une évolution de la bathymétrie tout au long des 6 phases (voir détail par phase en Figure 3).

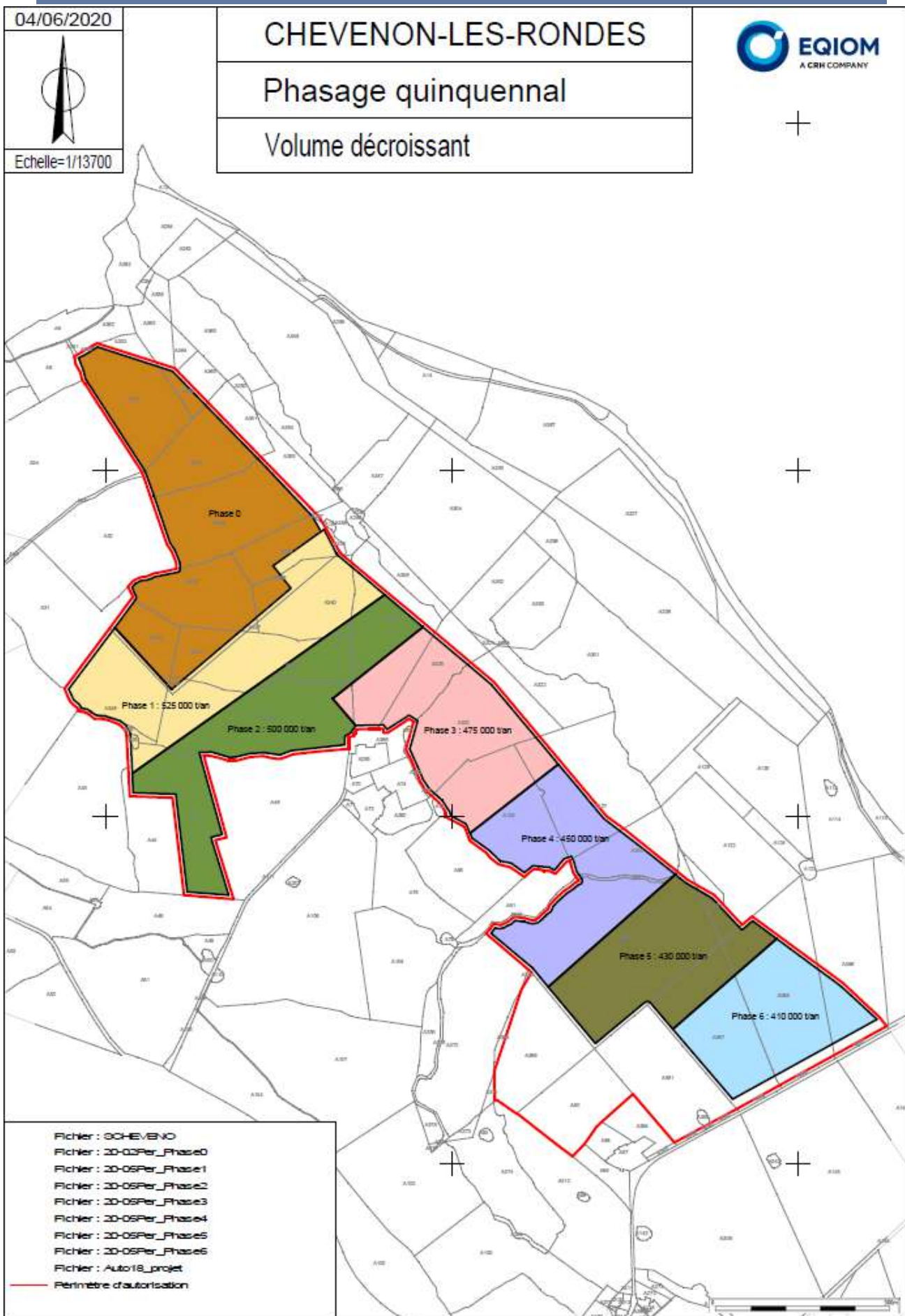
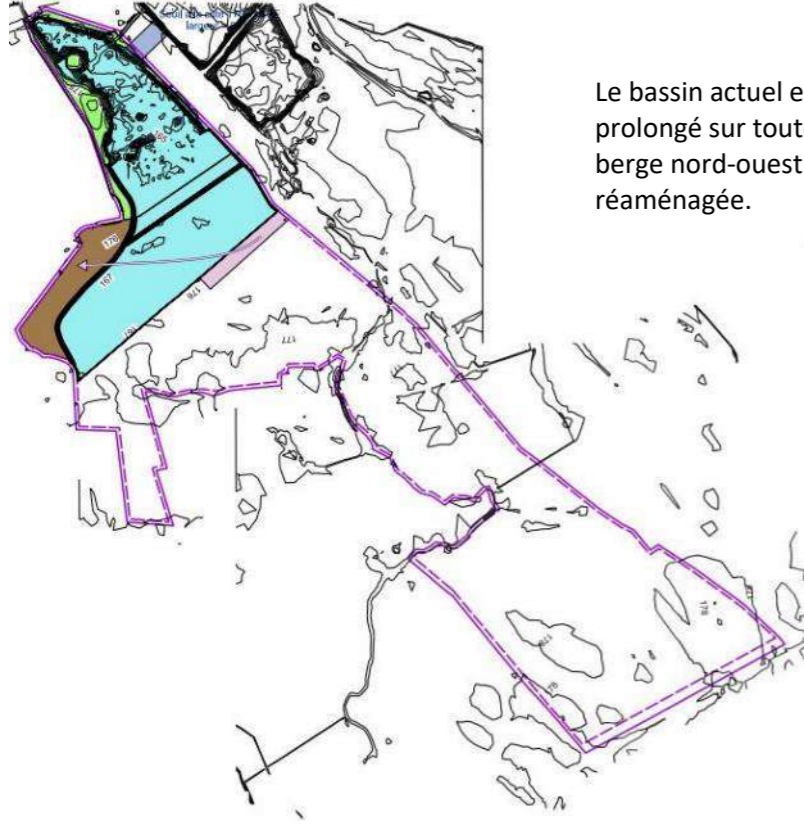


Figure 2: Phasage du projet d'extension de la gravière sur 30 ans

Figure 3: Détail extension gravière par phase (état en fin de phase)

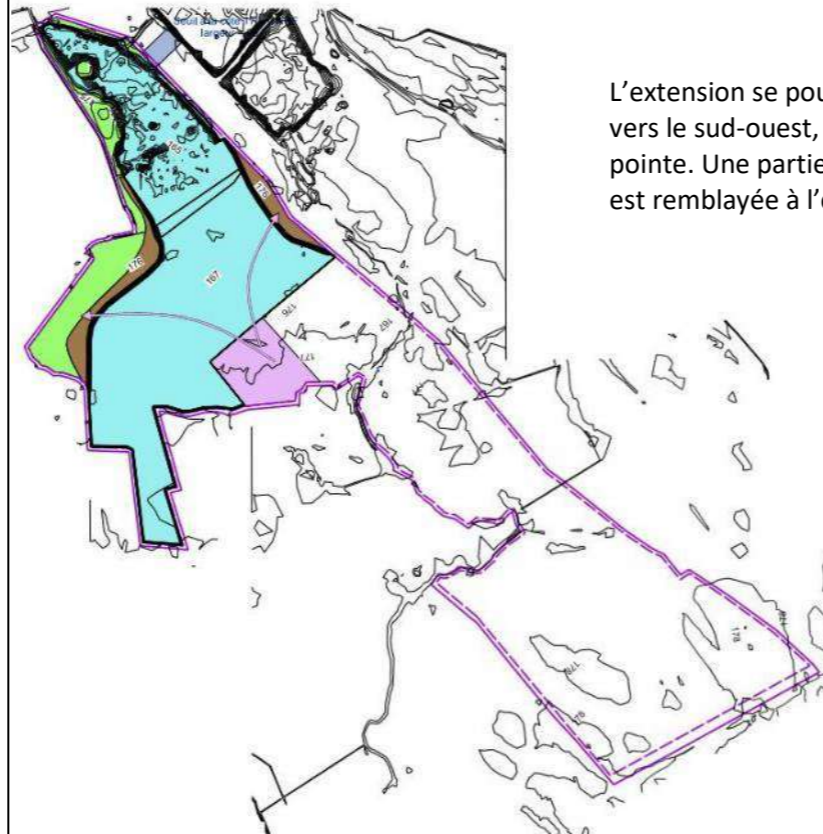
PHASE A à + 5 ans (2028)

Le bassin actuel est légèrement prolongé sur toute sa largeur. La berge nord-ouest est réaménagée.



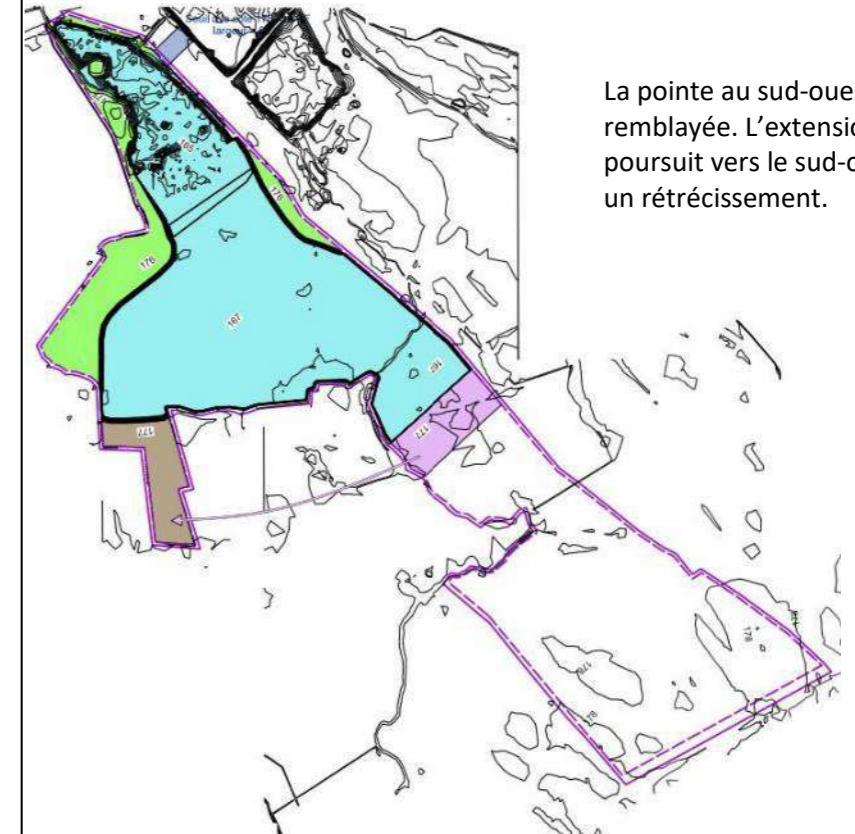
PHASE B à + 10 ans (2033)

L'extension se poursuit surtout vers le sud-ouest, formant une pointe. Une partie de la berge est remblayée à l'est.



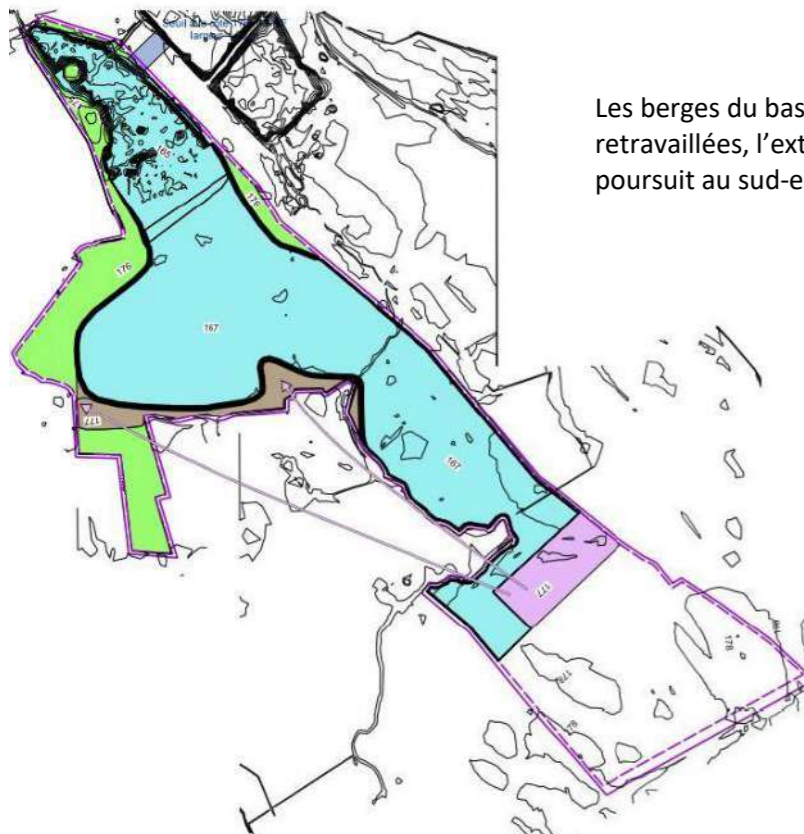
PHASE C à + 15 ans (2038)

La pointe au sud-ouest est remblayée. L'extension se poursuit vers le sud-ouest, avec un rétrécissement.



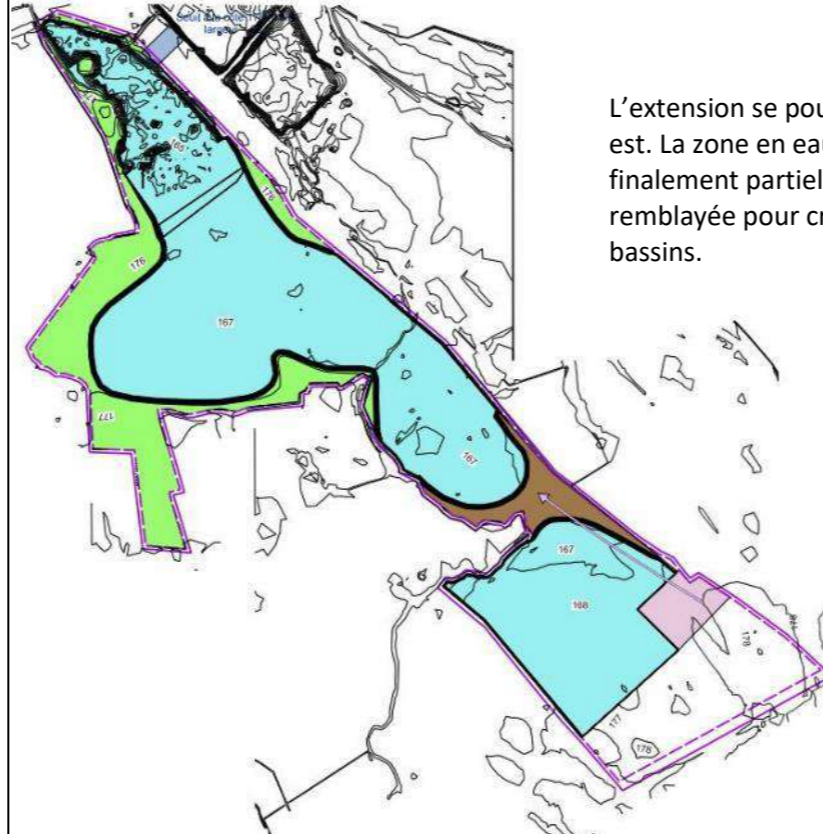
PHASE D à + 20 ans (2043)

Les berges du bassin sont retravaillées, l'extension se poursuit au sud-est.



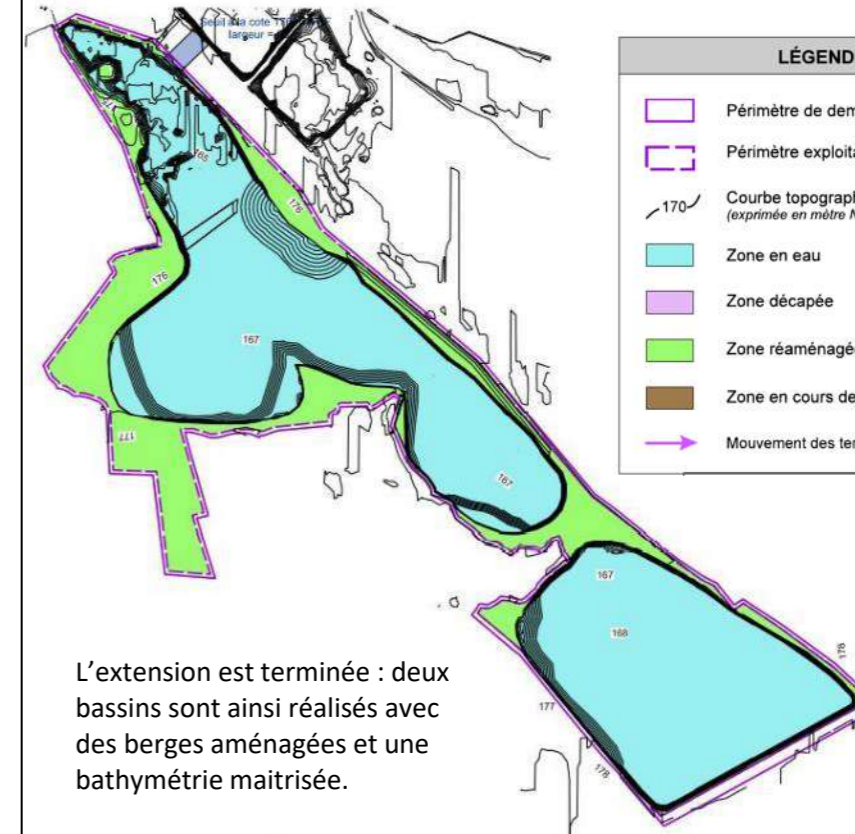
PHASE E à + 25 ans (2048)

L'extension se poursuit au sud-est. La zone en eau est finalement partiellement remblayée pour créer deux bassins.



PHASE F à + 30 ans (2053)

L'extension est terminée : deux bassins sont ainsi réalisés avec des berges aménagées et une bathymétrie maîtrisée.



4. INTEGRATION AU MODELE HYDRAULIQUE

Pour étudier l'impact de l'extension de la gravière sur la centrale photovoltaïque et son dimensionnement il a été fait le choix de ne pas seulement modéliser le scénario extension à l'issue de la phase F et donc à + 30 ans. Trois scénarios intermédiaires ont également été retenus dans l'étude afin de balayer les différentes configurations possibles et donc d'étudier les vitesses les plus impactantes pour la centrale en cas de crue pendant l'exploitation de la gravière.

Ainsi les quatre phases retenues sont les suivantes :

- ▲ **PHASE A** : il s'agit de la phase la moins avancée, correspondant quasiment à la situation actuelle. Cependant, le projet de centrale photovoltaïque prévoit de mettre un îlot imposant au sud-ouest qui ne pourra pas être mis en place en même temps que les autres îlots, faute de surface en eau suffisante. Ainsi cette configuration est intéressante à étudier car la centrale ne sera pas au complet telle qu'étudiée dans le rapport initial.
- ▲ **PHASE B** : il s'agit de la phase suivante, première phase où la centrale photovoltaïque sera au complet.
- ▲ **PHASE D** : il s'agit de la phase où la longueur de la surface en eau du bassin est la plus longue (puisqu'en phase E un remblaiement est réalisé et scinde alors le bassin en deux). Il est donc intéressant d'étudier ce cas pouvant engendrer une mise en vitesse de la masse d'eau du bassin jusqu'à la centrale photovoltaïque.
- ▲ **PHASE F** : il s'agit de la phase finale et donc correspondant à un état définitif. Il est ainsi indispensable d'étudier ce cas de figure.

La modèle qui sert de base est le modèle développé dans l'étude hydraulique initiale, qui a servi de référence pour fournir les valeurs dimensionnantes de la centrale, à savoir le modèle M.CENTRALE, qui a les caractéristiques principales suivantes :

- ▲ Mailles de 10 mètres sur le site de la gravière actuelle ;
- ▲ Topographie de la gravière intégrée et extrapolée à 2023 (creusée sur la zone en orange dans la Figure 1) ;
- ▲ Coefficient de frottement fixé à 1 dans les îlots et à 25 dans le reste des bassins.

Dans la suite de l'étude, quatre nouveaux modèles ont ainsi été réalisés, portant respectivement les noms de M.PHASEA, M.PHASEB, M.PHASED et M.PHASEF. Quelques modifications du modèle M.CENTRALE ont été faites pour intégrer le projet d'extension aux différentes phases.

4.1. MODIFICATIONS

4.1.1. Géométrie de la centrale photovoltaïque

Après le retour des services de l'Etat en avril 2021, Eléments a procédé à quelques changements dans la géométrie et l'agencement de la centrale photovoltaïque. Ainsi, l'îlot qui se trouvait le plus au sud du bassin actuellement en exploitation (îlot 3) a été modifié : il ne s'agit plus d'un grand îlot mais de deux îlots, un petit et un moyen (appelé îlot 1-a et 1-b). Ce choix résulte de l'extension de la gravière et des plans fournis par EQIOM, qui prévoit de retravailler les berges actuelles. La géométrie de l'îlot 3 n'était plus possible dans la mesure où son emprise empiétait hors du bassin une fois les berges remaniées.

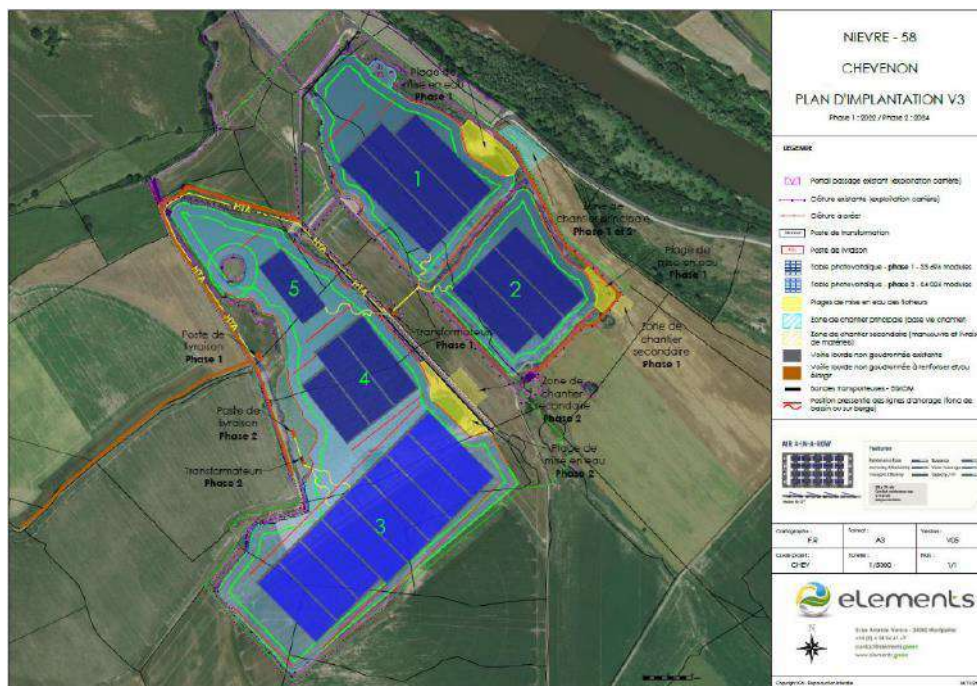


Figure 4: Plan d'implantation projeté de la centrale - Décembre 2020

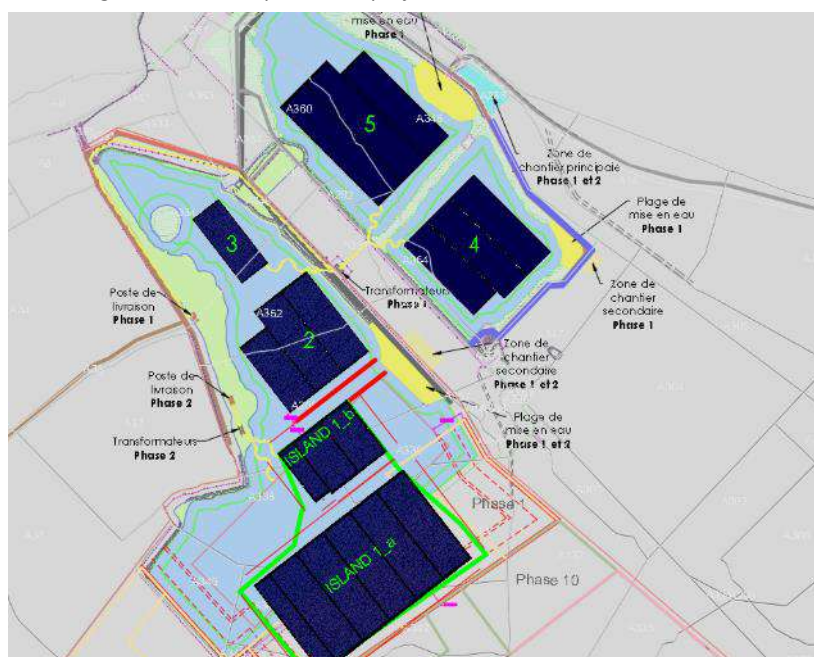
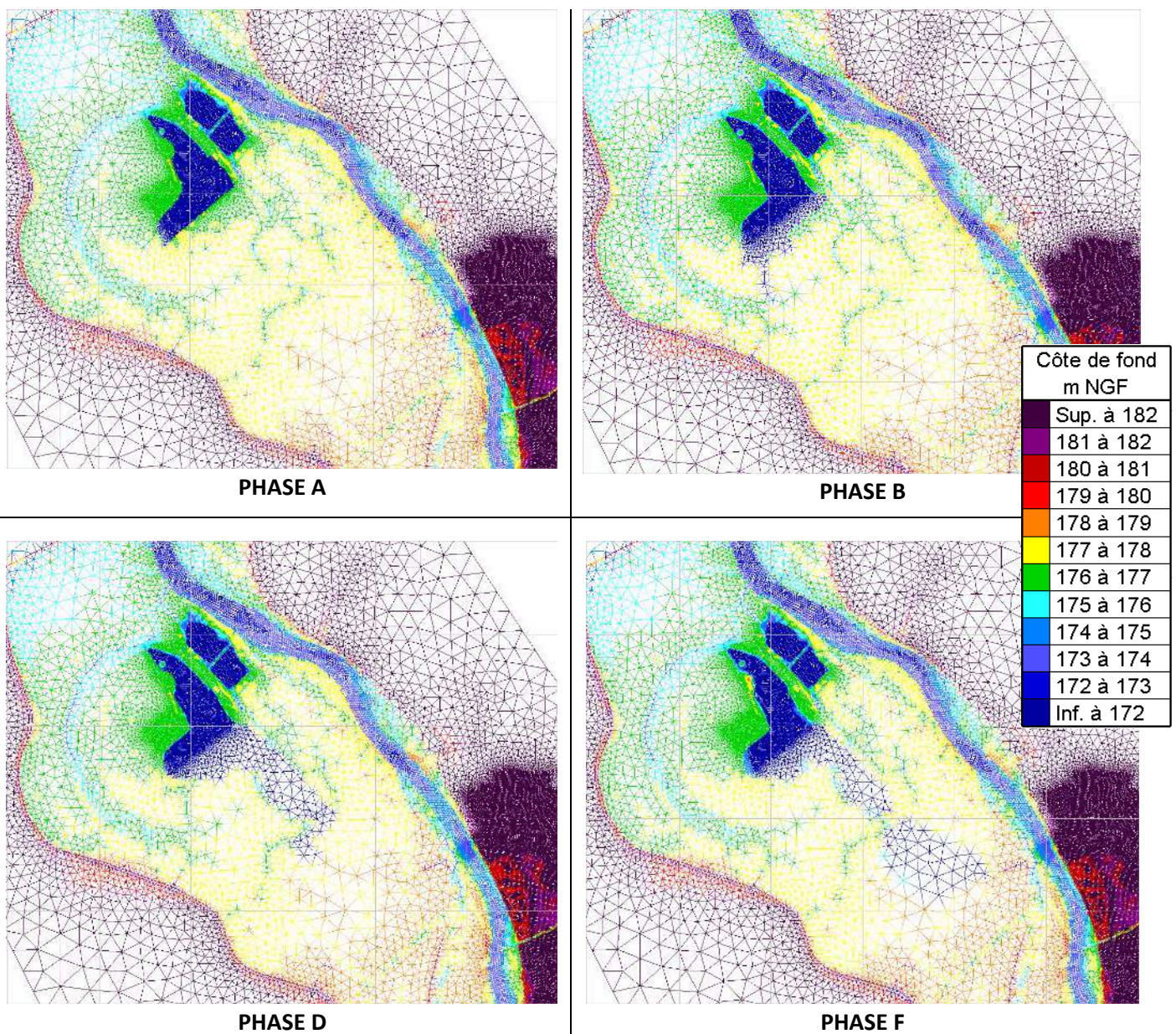


Figure 5: Plan d'implantation projeté de la centrale - Août 2021

4.1.2. Topographie

Sur l'emprise de l'extension, la bathymétrie projetée est présentée par phase en Figure 3. La profondeur du futur bassin a été calée sur celle des bassins déjà existants. Les bassins déjà réalisés ont une profondeur relativement homogène, située à la cote moyenne de 167 mNGF. Pour l'extension de la gravière il a ainsi été imposé en tout point de l'emprise, une cote de 167 mNGF en fond de bassin. Seule pour la phase F des courbes de niveaux plus détaillées ont été données (phase F en Figure 3). Elles ont ainsi été intégrées à la réalisation de la topographie projetée à cette phase. De plus, la topographie aux niveaux des berges qui seront réaménagées selon les phases a également été intégrée dans les modifications du maillage. Le maillage interpolé avec la topographie modifiée est présenté pour chaque scénario de phase dans la figure suivante.

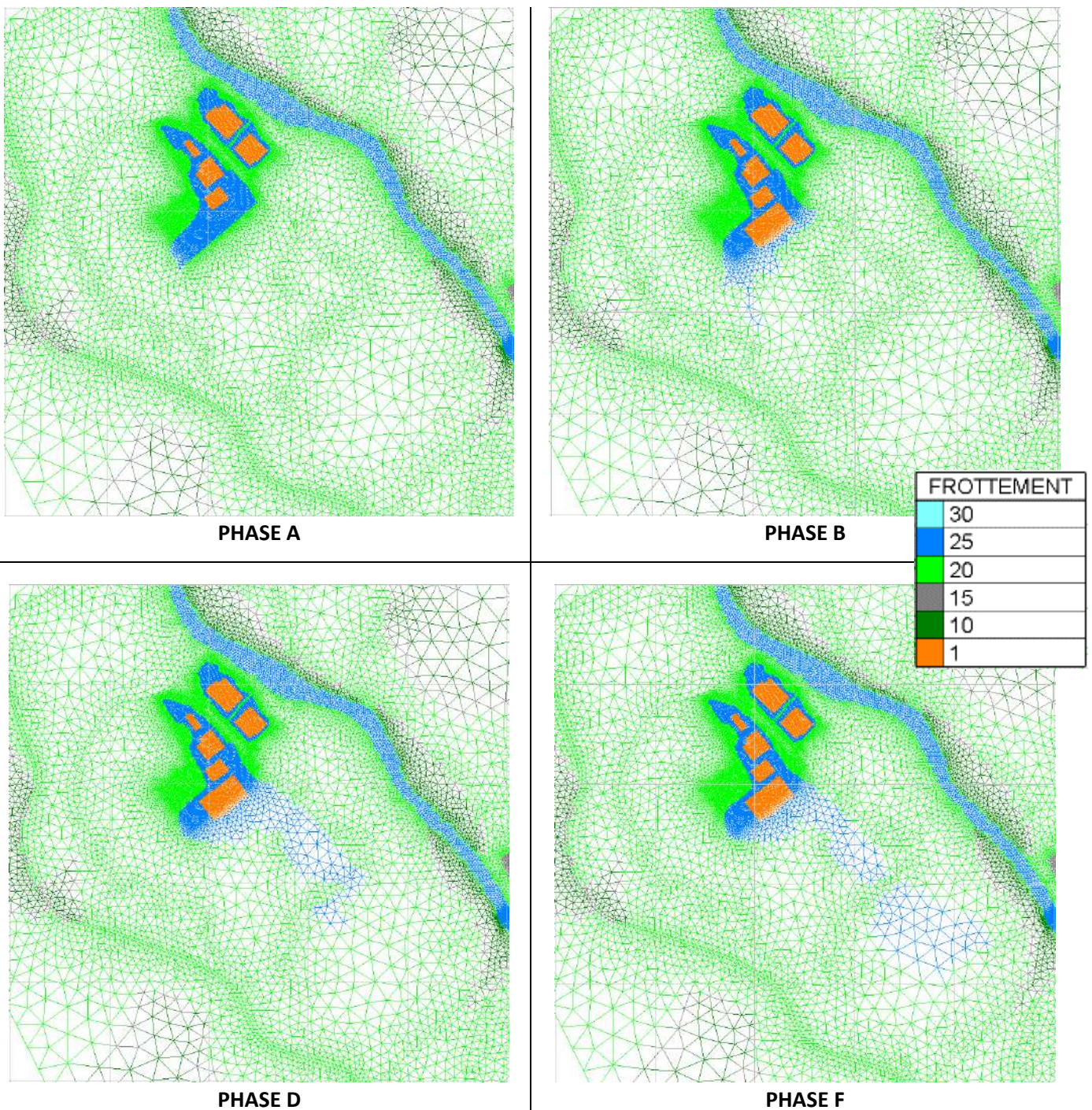
Figure 6: Maillage et topographie ajustée dans le modèle avec extension par phases modélisées



4.1.3. Coefficient de frottement

Afin de prendre en compte le fait que la future extension sera une surface en eau, les coefficients de frottements ont été localement (à l'intérieur de l'emprise de l'extension) fixés à 25 dans le maillage (correspondant au coefficient usuellement utilisé pour le lit mineur d'un cours d'eau « rugueux »). Aussi, l'îlot 3 ayant été transformé en deux îlots, les coefficients de frottement ont été modifiés en conséquence pour correspondre aux nouvelles emprises. Dans le cas de la phase A où l'îlot 1-b ne pourra pas être encore installée, le coefficient a été laissé à 25 dans son emprise pour modéliser son absence.

Figure 7: Maillage avec coefficient de frottement dans les modèles avec extension selon les phases



4.2. SYNTHÈSE DES MODÈLES UTILISÉS

La reprise du modèle M.CENTRALE pour y ajouter l'extension ne concerne que deux points : la topographie et les coefficients de frottements aux points du maillage situés dans la zone de la future extension. Le tableau suivant permet de synthétiser ces éléments ainsi que les hypothèses retenues pour la modélisation. Dans la suite de l'étude, un comparatif du modèle M.CENTRALE (sans extension) et ceux des modèles avec extension est faite, afin d'étudier l'impact de ces modifications et d'observer si les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau à prendre en compte pour le dimensionnement de la centrale photovoltaïque sont modifiées avec l'extension de la gravière, selon les phases d'extension.

Pour alléger le texte, le terme « M.CENTRALE » sera utilisé pour désigner le modèle avec la centrale photovoltaïque obtenu à l'issue de l'étude hydraulique. Les termes « M.PHASEA », « M.PHASEB », « M.PHASED » et « M.PHASEF » seront utilisés pour désigner les modèles avec extension selon les phases. Les modèles extension intègrent bien la centrale photovoltaïque également, sous sa version actualisée (îlot 3 en deux îlots).

Tableau 1: Synthèse des caractéristiques principales des modèles

Modèle TELEMAC 2D	Modèle M.CENTRALE	Modèle phase A	Modèle phase B	Modèle phase D	Modèle phase F
Scénario	Q200 ans avec brèche				
Emprise modèle	56 km de la Loire (jusqu'à Saint-Eloi) et 15km de l'Aron				
Maillage	Mailles de 10m dans la gravière actuelle				
Topographie	LIDAR + topo terrestre avec bathymétrie sur zone gravière	LIDAR + topo terrestre avec bathymétrie sur zone gravière + fond creusé dans emprise extension et berges réaménagées selon les phases			
Rugosité	1 dans les îlots 25 dans la zone de la gravière	1 dans les îlots 25 dans la zone de la gravière ET de l'extension ET emprise îlots 1-b	1 dans les îlots 25 dans la zone de la gravière ET de l'extension		
Condition aval	Courbe de tarage au droit de St-Eloi				

5. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LE MODELE M.CENTRALE ET LES MODELES EXTENSION

5.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Dans ce complément hydraulique à l'étude réalisée en 2020, l'objectif est de voir si l'extension a un impact sur le dimensionnement prévu en 2020. L'analyse des résultats des modèles doit permettre de valider le dimensionnement des ancrages ou de fournir de nouvelles valeurs pour ajuster le dimensionnement. Pour le dimensionnement de la centrale photovoltaïque et des ancrages, deux paramètres issus de l'étude hydraulique sont nécessaires :

- ▲ **L'altitude de la surface libre maximale atteinte en crue** : cette information permet de statuer sur deux éléments du dimensionnement. D'une part la côte minimale d'implantation des bâtiments et éléments sensibles sur le site de la centrale photovoltaïque. Ils devront se situer au-dessus de la côte maximale atteinte. D'autre part sur la longueur des lignes d'ancrages. Elles devront être de longueur suffisante pour accompagner la hausse du niveau d'eau en crue et ainsi assurer la flottaison des panneaux.
- ▲ **Les vitesses d'écoulements** : les ancrages sont dimensionnés par le bureau d'études Ciel&Terre. Plusieurs variables induisent des efforts sur la centrale photovoltaïque, comme le vent, les vagues et les vitesses d'écoulements. Tous ces paramètres sont ainsi pris en compte dans les calculs réalisés par Ciel&Terre. Les vitesses d'écoulements obtenues dans la modélisation sont données à Ciel&Terre, qui les utilisent pour dimensionner les ancrages permettant de maintenir la centrale même en crue.

Ainsi, dans un premier temps un comparatif sur les surfaces libres atteintes a été effectuée. Puis dans un second temps une analyse des vitesses d'écoulements a été faite.

5.2. SURFACE LIBRE

Pour rappel, dans l'étude hydraulique de 2020 on trouve les éléments suivants :

« Pour la situation en crue, l'analyse des résultats du modèle avec centrale indique que le niveau d'eau maximale observé pour la crue de référence serait situé à la côte de 178.9 mNGF. Pour les PHEC, cette valeur est située à 179.5 m NGF. Par soucis de sécurité, nous recommandons donc de se baser sur une côte maximale du niveau d'eau de la gravière de 180 mNGF. »

Ainsi, la surface libre se trouve à la côte de 178.9 mNGF dans le modèle M.CENTRALE. Cependant, la côte des PHEC étant située à une côte supérieure, c'est donc cette valeur qui a été utilisée dans le dimensionnement, avec une marge de sécurité de 50cm supplémentaires. Ainsi, **la valeur dimensionnante retenue à l'issue de l'étude hydraulique de 2020 est la côte de 180 mNGF.**

Dans les modèles incluant l'extension, la côte maximale atteinte de la surface libre en comprise entre 178,9 et 179 mNGF selon les phases considérées. Ces valeurs sont donc similaires à celle obtenue avec M.CENTRALE et surtout elles sont inférieurs à la valeur dimensionnante retenue dans l'étude hydraulique de 2020.

Ainsi, l'extension n'a pas d'impact sur le dimensionnement prévu au niveau des longueurs des lignes d'ancrage et de la côte minimale d'implantation des bâtiments et éléments sensible de la centrale.

5.1. VITESSES D'ÉCOULEMENTS

5.1.1. Résultats des modèles

Pour rappel, dans l'étude hydraulique de 2020, on trouve les éléments suivants concernant les vitesses d'écoulement et leurs prises en compte dans le dimensionnement des ancrages :

« Afin de s'assurer que la structure ne subisse pas d'arrachement jusqu'à la crue de référence, il est nécessaire de prendre en compte les vitesses d'écoulements auxquelles elle sera soumise. C'est au niveau des ancrages que ces efforts doivent être repris. [...] la ligne d'ancrage et l'ancrage en bout doivent reprendre les efforts induits par les vitesses sur la centrale, c'est-à-dire sur les lignes de flotteurs portant les panneaux photovoltaïques.

Dans son calcul du dimensionnement des ancrages le bureau d'études Ciel&Terre étudie les efforts en chaque point par tranche de 20°. Ainsi, les vitesses maximales observées, du modèle avec centrale, ont été extraites avec leur direction. Puis, par tranche de 20°, les valeurs maximales observées sur l'ensemble de l'emprise de la gravière ont été retenues.

On se place ainsi dans une situation conservatrice : pour un point d'ancrage donné A1, on le dimensionne en prenant en compte la vitesse maximale ayant lieu dans la gravière parmi tous les points d'ancrage. Cette vitesse n'apparaissant donc pas nécessairement au point d'ancrage A1, on se place dans une situation sécuritaire. »

Les valeurs retenues dans l'étude de 2020 sont rappelées dans la première ligne du Tableau 2 en page suivante.

Pour chacun des nouveaux modèles, la même méthodologie d'extraction des résultats a été appliquée. Les vitesses obtenues par tranches de direction de 20° sont présentées dans la Tableau 2. L'emprise d'extraction des résultats est présentée ci-dessous.

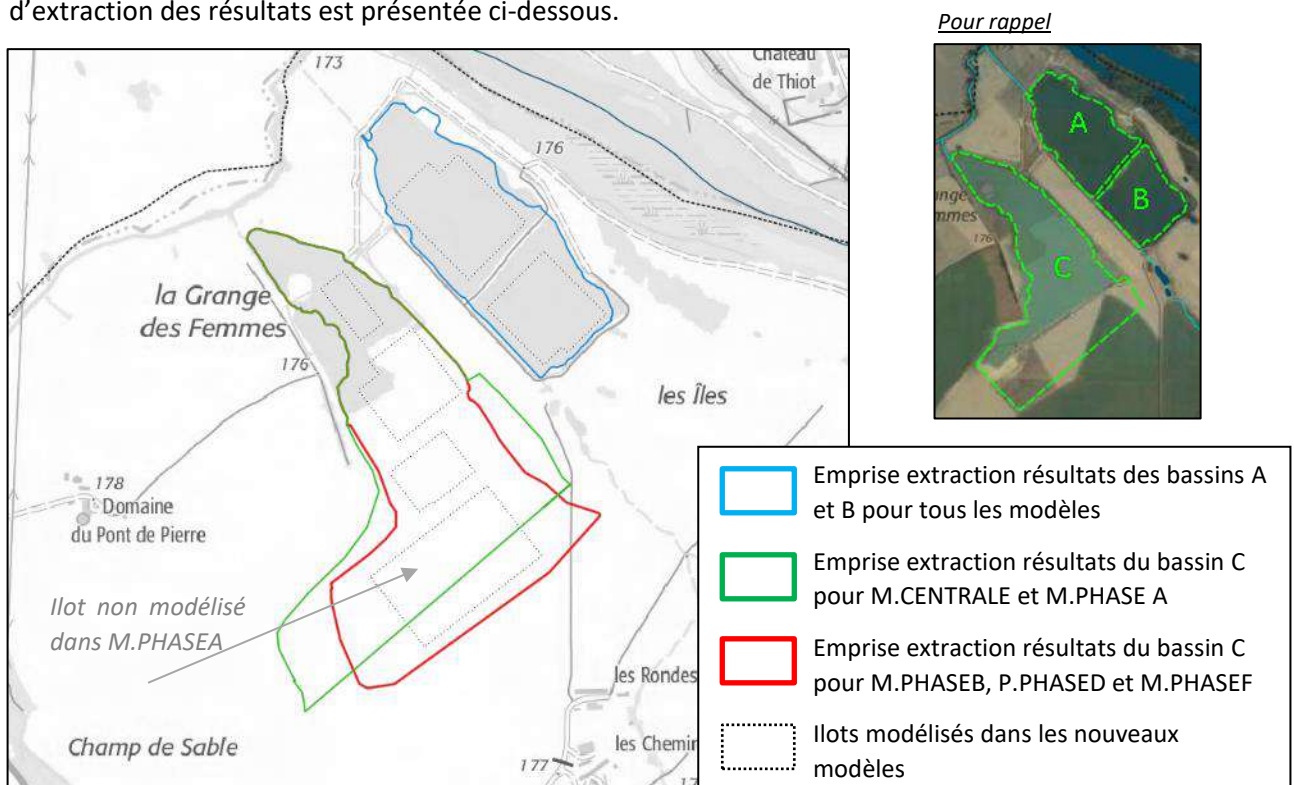


Figure 8: Emprise d'extraction des vitesses issues des modèles

Tableau 2: Vitesses maximales obtenues à l'issue des différentes modélisations dans les emprises présentées

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est)																		
Modèle	0 à 20	20 à 40	40 à 60	60 à 80	80 à 100	100 à 120	120 à 140	140 à 160	160 à 180	180 à 200	200 à 220	220 à 240	240 à 260	260 à 280	280 à 300	300 à 320	320 à 340	340 à 360
Centrale	0.56	0.46	0.29	0.25	0.19	0.21	0.21	0.19	0.27	0.27	0.35	0.31	0.42	0.69	0.73	0.82	0.79	0.70
Phase A	0.71	0.46	0.25	0.29	0.25	0.33	0.29	0.29	0.29	0.22	0.29	0.20	0.37	0.40	0.61	0.80	0.89	1.05
Phase B	0.83	0.51	0.43	0.22	0.22	0.20	0.26	0.25	0.28	0.29	0.24	0.25	0.43	0.43	0.61	0.78	0.86	0.97
Phase D	0.91	0.45	0.41	0.33	0.39	0.20	0.31	0.18	0.35	0.23	0.29	0.41	0.57	0.57	0.59	0.90	1.00	0.95
Phase F	0.70	0.54	0.48	0.31	0.38	0.19	0.30	0.24	0.40	0.21	0.31	0.56	0.57	0.54	0.66	0.89	1.08	0.83

Dans le tableau, les valeurs maximales obtenues toutes phases confondues ont été mises en gras. On remarque que dans presque toutes les directions, il y a une augmentation des vitesses d'écoulements avec modélisation de l'extension, et ce peu importe la phase considérée.

Seules les directions 200 à 220°, 260 à 280° et 280 à 300° observent une baisse de vitesses, entre -0.04 à -0.12 m/s, soit une différence relativement faible. Dans le cas des autres directions, l'augmentation des vitesses varie de + 0.02 m/s pour atteindre + 0.35 m/s dans certains cas.

Ce constat permet donc de confirmer que **l'extension de la gravière a une incidence sur les dynamiques d'écoulements** en crue et que **le dimensionnement des ancrages doit être revu, en incluant les valeurs issues de l'actualisation du modèle avec extension** et géométrie de la centrale photovoltaïque (îlots 3 séparé en deux îlots).

5.1.2. [Dimensionnement des ancrages](#)

Pour cette nouvelle phase de dimensionnement des ancrages, il a été choisi de différencier les vitesses à prendre en compte entre les bassins. Cela doit permettre d'avoir un calcul plus précis des efforts appliqués aux ancrages selon l'emplacement sur le site de la centrale photovoltaïque, en évitant ainsi de surdimensionner le système de maintien. Ainsi, pour chaque phase et donc chacun des 4 nouveaux modèles réalisés, les valeurs maximales de vitesses par tranche de 20° ont été extraites d'une part dans les bassins A et B (emprise en bleu en Figure 8) et d'autre part dans le bassin C (emprise rouge dans le cas de la phase A et emprise verte dans les trois autres phases). La synthèse des valeurs obtenues est présentée dans le Tableau 3 en page suivante.

Tableau 3 : Vitesses maximales obtenues pour les modélisations de l'extension selon les emprises

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est)								
EMPRISE	BLEUE (BASSIN A ET B)				ROUGE ET VERTE (BASSIN C)			
MODELE	PHASE A	PHASE B	PHASE D	PHASE F	PHASE A	PHASE B	PHASE D	PHASE F
0 à 20	0.35	0.37	0.51	0.48	0.71	0.83	0.91	0.70
20 à 40	0.38	0.35	0.45	0.43	0.46	0.51	0.43	0.54
40 à 60	0.25	0.20	0.41	0.45	0.22	0.43	0.33	0.48
60 à 80	0.22	0.22	0.33	0.31	0.29	0.19	0.07	0.09
80 à 100	0.24	0.22	0.39	0.38	0.25	0.21	0.13	0.18
100 à 120	0.13	0.12	0.20	0.19	0.33	0.20	0.18	0.07
120 à 140	0.14	0.13	0.31	0.30	0.29	0.26	0.07	0.08
140 à 160	0.16	0.14	0.18	0.24	0.29	0.25	0.06	0.11
160 à 180	0.16	0.12	0.35	0.40	0.29	0.28	0.06	0.05
180 à 200	0.14	0.12	0.23	0.21	0.22	0.29	0.06	0.06
200 à 220	0.15	0.14	0.29	0.31	0.29	0.24	0.08	0.09
220 à 240	0.16	0.16	0.35	0.32	0.20	0.25	0.41	0.56
240 à 260	0.33	0.32	0.34	0.41	0.37	0.43	0.57	0.57
260 à 280	0.33	0.35	0.31	0.33	0.40	0.43	0.57	0.54
280 à 300	0.61	0.61	0.50	0.50	0.50	0.51	0.59	0.66
300 à 320	0.79	0.78	0.71	0.71	0.80	0.77	0.90	0.89
320 à 340	0.74	0.73	0.75	0.77	0.89	0.86	1.00	1.08
340 à 360	1.05	0.97	0.74	0.73	0.81	0.87	0.95	0.83

Globalement on observe une cohérence dans les ordres de grandeurs d'une phase à l'autre. Cependant, selon les tranches de 20° considérées, ce n'est pas toujours la même phase qui engendre les vitesses les plus fortes. La phase D engendre en majorité les vitesses les plus fortes dans les bassins A et B. En revanche dans le bassin C, les vitesses les plus fortes sont observées en partie en phase A et en phase D principalement.

Pour le dimensionnement des ancrages, il a été choisi de retenir les maximales observées par emprise, toutes phases confondues. On se place donc dans un cadre sécuritaire. Les valeurs retenues et transmises à Ciel&Terre correspondent aux valeurs indiquées en gras dans le tableau précédent. Elles sont synthétisées dans le Tableau 4 en page suivante.

On note que malgré le fait que les vitesses sont globalement plus élevées en considérant l'extension de la gravière, elles restent cependant inférieures ou égales au mètre par seconde. **Ce complément d'études ne remet donc pas en question les conclusions de l'étude hydraulique de 2020 sur les exigences de la DDT 58 au regard des prescriptions du PPRI. Le projet reste donc viable dans sa prise en compte du risque inondation.**

Tableau 4: Valeurs des vitesses retenues pour le dimensionnement des ancrages

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est) TOUTES PHASES CONFONDUES		
EMPRISE	BLEUE (BASSIN A ET B)	ROUGE ET VERTE (BASSIN C)
0 à 20	0.51	0.91
20 à 40	0.45	0.54
40 à 60	0.45	0.48
60 à 80	0.33	0.29
80 à 100	0.39	0.25
100 à 120	0.20	0.33
120 à 140	0.31	0.29
140 à 160	0.24	0.29
160 à 180	0.40	0.29
180 à 200	0.23	0.29
200 à 220	0.31	0.29
220 à 240	0.35	0.56
240 à 260	0.41	0.57
260 à 280	0.35	0.57
280 à 300	0.61	0.66
300 à 320	0.79	0.90
320 à 340	0.77	1.08
340 à 360	1.05	0.95

Le tableau précédent correspond donc aux valeurs finales à retenir pour le dimensionnement des ancrages et qui ont donc été transmises au bureau Ciel&Terre. On les retrouve dans la version du rapport d'ancrage de novembre 2021.

6. ACTUALISATION DU PLAN D'IMPLANTATION

6.1. DERNIERE VERSION DU PLAN DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

Le bureau d'étude Ciel&Terre a intégré les vitesses présentées en page précédente pour ajuster le dimensionnement de la centrale photovoltaïque (voir en page 20 du rapport Design d'ancrage préliminaire du 4 novembre 2021 de Ciel&Terre).

Entre temps, l'entreprise ELEMENTS a souhaité ajuster le plan de la centrale photovoltaïque, en créant un îlot supplémentaire dans le bassin A : l'îlot le plus au nord a été dédoublé en deux îlots, comme illustré dans la figure suivante, et les îlots ont été renumérotés.

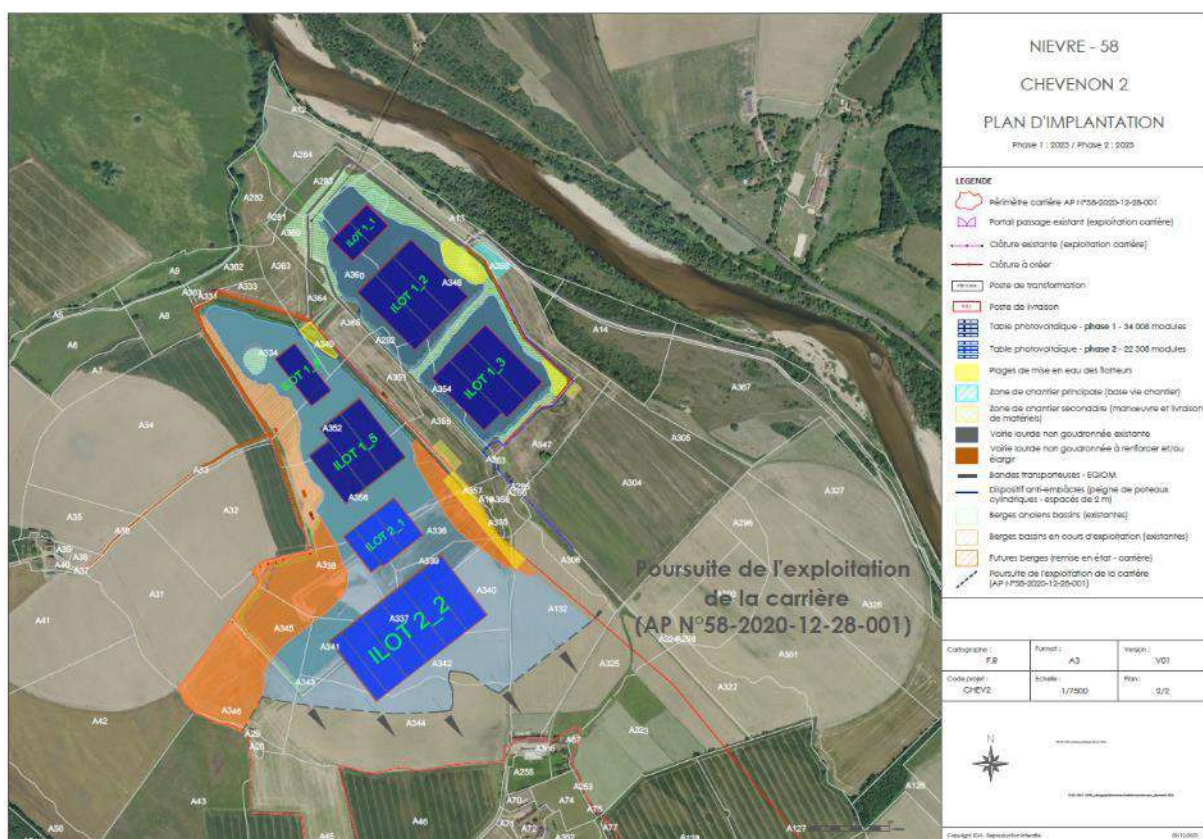


Figure 9 : Plan d'implantation de la centrale photovoltaïque - Dernière version Décembre 2021

L'étude d'ancrage ayant déjà été réalisée avec les valeurs précédemment présentés, il ne s'agissait pas alors de refaire une série de modélisation complète avec le nouveau plan d'implantation et de refaire un calcul d'ancrage. Cependant une vérification de l'impact de ce changement sur les vitesses a dû être faite.

Pour cela, deux modèles ont été actualisés avec le nouveau plan d'implantation : le modèle PHASEA et le modèle PHASED. Ces modèles ont été choisis car ils représentent à eux deux les cas de figure « extrêmes » (centrale photovoltaïque incomplète au début de l'extension et surface en eau la plus longue en phase D). De plus, comme vu dans le Tableau 3, les vitesses maximales retenues sont issus principalement de ces deux phases.

On appellera « M.PHASEA_actualisé » et « M.PHASED_actualisé » les deux modèles actualisés ici.

6.2. ACTUALISATION DES MODELES

Le nouveau plan d'implantation a été modélisé dans ces deux modèles : les coefficients de frottement ont été fixés à 1 dans l'emprise des îlots modifiés et à 25 dans les surfaces en eau (même méthodologie que développée au paragraphe 4.1.3 en page 13).

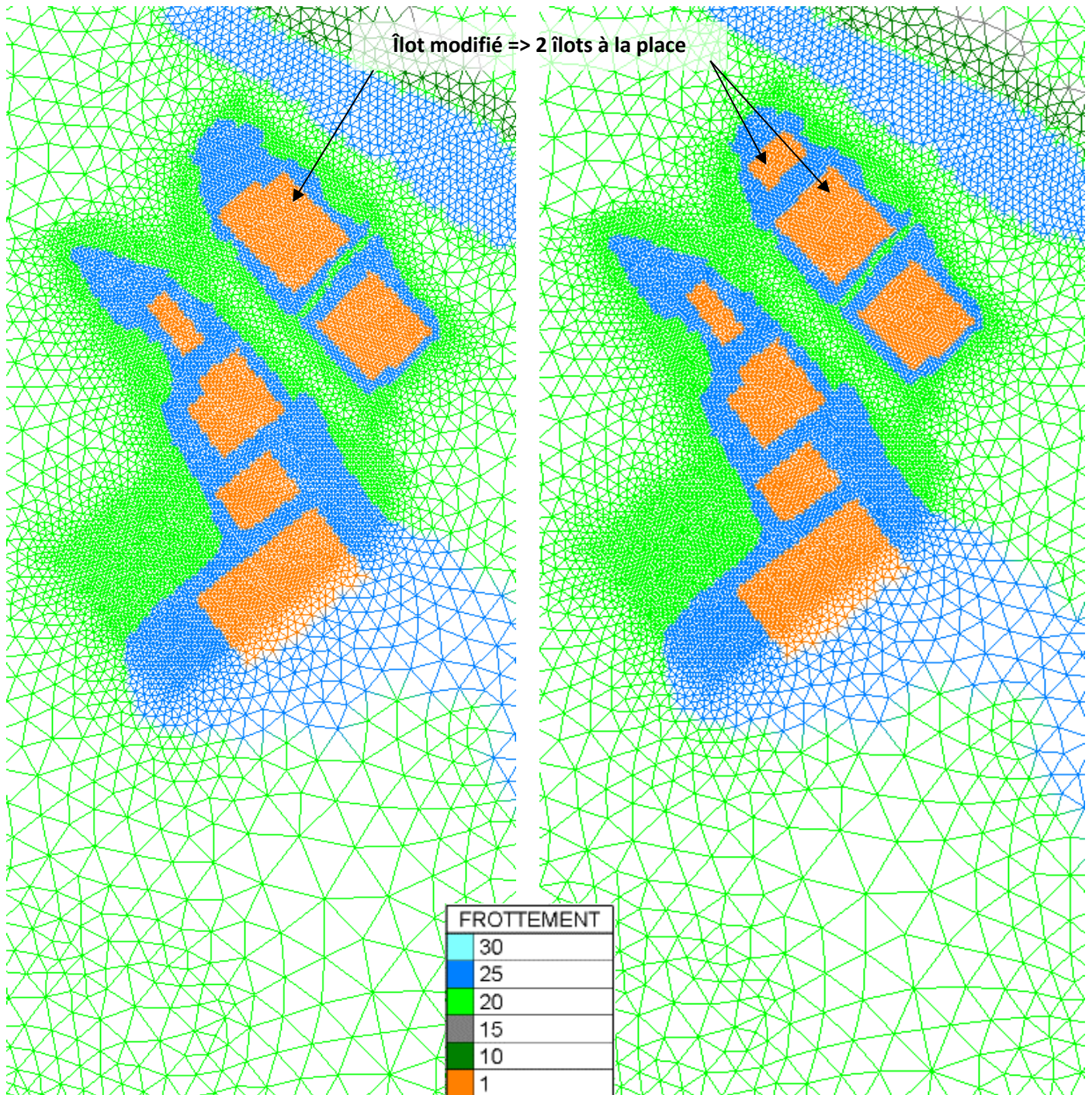


Figure 10: Maillage avec coefficient de frottement dans le modèle initial Phase D

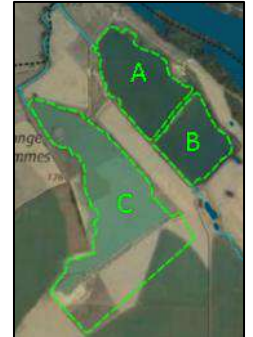
Figure 11: Maillage avec coefficient de frottement dans le modèle actualisé Phase D

6.3. RESULTATS DES MODELISATIONS

Concernant la côte de la surface libre maximale atteinte, la mise à jour du plan d'implantation ne modifie par les côtes annoncées au paragraphe 5.2 « Surface libre » en page 15. Les conclusions sont donc identiques.

Concernant les vitesses d'écoulement, il s'agit de vérifier si les vitesses maximales à retenir sont différentes avec le nouveau plan d'implantation. Comme dans l'analyse comparative menée précédemment, les vitesses ont été extraites selon les emprises et par tranches de 20° (emprise bassin A et B bleue et emprise bassin C rouge ou verte).

Pour rappel



6.3.1. Vitesses dans le bassin C

Les vitesses obtenues avec les modèles actualisés sont présentées dans le tableau suivant. Pour faciliter la lecture et la comparaison avec les modèles initiaux présentés au paragraphe 5, les vitesses sont également rappelées.

Tableau 5 : Comparatif des vitesses maximales entre les modèles PHASE et PHASE_actualisé avec le nouveau plan – Bassin C

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est)				
EMPRISE	ROUGE ET VERTE (BASSIN C)			
MODELE	PHASE A	PHASE A actualisé	PHASE D	PHASE D actualisé
0 à 20	0.71	0.72	0.91	0.91
20 à 40	0.46	0.45	0.43	0.43
40 à 60	0.22	0.22	0.33	0.33
60 à 80	0.29	0.29	0.07	0.07
80 à 100	0.25	0.25	0.13	0.13
100 à 120	0.33	0.33	0.18	0.18
120 à 140	0.29	0.29	0.07	0.07
140 à 160	0.29	0.29	0.06	0.06
160 à 180	0.29	0.29	0.06	0.06
180 à 200	0.22	0.22	0.06	0.06
200 à 220	0.29	0.29	0.08	0.08
220 à 240	0.20	0.20	0.41	0.41
240 à 260	0.37	0.37	0.57	0.57
260 à 280	0.40	0.40	0.57	0.58
280 à 300	0.50	0.51	0.59	0.59
300 à 320	0.80	0.81	0.90	0.92
320 à 340	0.89	0.90	1.00	1.00
340 à 360	0.81	0.81	0.95	0.95

On remarque qu'il n'y a presque aucune différence entre les modèles initiaux et les modèles actualisés. Seuls quelques directions sont concernées par des différences de l'ordre de 0,01 m/s, que l'on considère alors négligeables aux regards des incertitudes liées aux modélisations. Ce constat n'est pas surprenant puisque les bassins C n'est pas concerné par des changements entre les deux modèles. La modification de géométrie de la centrale photovoltaïque intervenant dans le bassin A, en aval, ne devrait pas avoir d'incidence sur le bassin C et les résultats des modèles retranscrites bien cet élément.

Ainsi, pour le bassin C, les vitesses retenues pour le dimensionnement de la centrale présentées au paragraphe 5.1.2 en page 17 sont valables.

6.3.2. Vitesses dans les bassins A et B

Les vitesses obtenues avec les modèles actualisés sont présentées dans le tableau suivant. Pour faciliter la lecture et la comparaison avec les modèles initiaux présentés au paragraphe 5, les vitesses sont également rappelées.

Tableau 6: Comparatif des vitesses maximales entre les modèles PHASE et PHASE_actualisé avec le nouveau plan – Bassins A et B

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est)				
EMPRISE	BLEUE (BASSIN A et B)			
MODELE	PHASE A	PHASE A actualisé	PHASE D	PHASE D actualisé
0 à 20	0.35	0.34	0.51	0.54
20 à 40	0.38	0.38	0.45	0.39
40 à 60	0.25	0.25	0.41	0.50
60 à 80	0.22	0.22	0.33	0.33
80 à 100	0.24	0.24	0.39	0.39
100 à 120	0.13	0.13	0.20	0.20
120 à 140	0.14	0.14	0.31	0.31
140 à 160	0.16	0.16	0.18	0.18
160 à 180	0.16	0.16	0.35	0.39
180 à 200	0.14	0.14	0.23	0.23
200 à 220	0.15	0.15	0.29	0.30
220 à 240	0.16	0.16	0.35	0.34
240 à 260	0.33	0.33	0.34	0.37
260 à 280	0.33	0.33	0.31	0.31
280 à 300	0.61	0.40	0.50	0.36
300 à 320	0.79	0.76	0.71	0.66
320 à 340	0.74	0.84	0.75	0.85
340 à 360	1.05	1.05	0.74	0.70

Les directions où des écarts notables (estimés à plus de 0,05 m/s) de vitesses sont identifiés entre les modèles initiaux et actualisés ont été mises en gras et colorées. Sur les autres directions, les valeurs étant inchangées, les vitesses retenues pour le dimensionnement de la centrale photovoltaïque présentées au paragraphe 5.1.2 en page 17 sont valables.

Dans les directions colorées en vert, on observe une baisse de vitesse avec les modèles actualisés. Les valeurs initialement retenues peuvent alors être conservées, une baisse des efforts prévues n'engendrant pas de problématique dans le dimensionnement. Le système sera donc simplement plus robuste que nécessaire.

Dans les directions colorées en rouge, on observe une hausse des vitesses avec les modèles actualisés. Seules deux directions sont concernées : 40° à 60° dans le cas de la phase D et 320° à 340° dans le cas des deux phases. Les deux cas ont été analysés pour comprendre ces différences et statuer sur les valeurs à retenir.

6.3.2.1. Direction 40° à 60° en phase D

Dans cette direction, pour seulement pour la phase D, la valeur maximale observée est de 0,41 m/s environ dans le modèle initial mais passe à 0,50 m/s environ dans le modèle actualisé. La différence est relativement faible (0,09 m/s) mais peut être analysée.

Pour faciliter la lecture et l'analyse, les vitesses obtenues selon le modèle (initial ou actualisé) sont représentées dans les deux figures suivantes, avec leur amplitude (valeur de vitesse en couleur) et le direction (orientation de la flèche). L'emprise des îlots du bassin A est représentée en marron. La vue est zoomée sur la zone concernée par le changement de valeur de vitesse maximale.

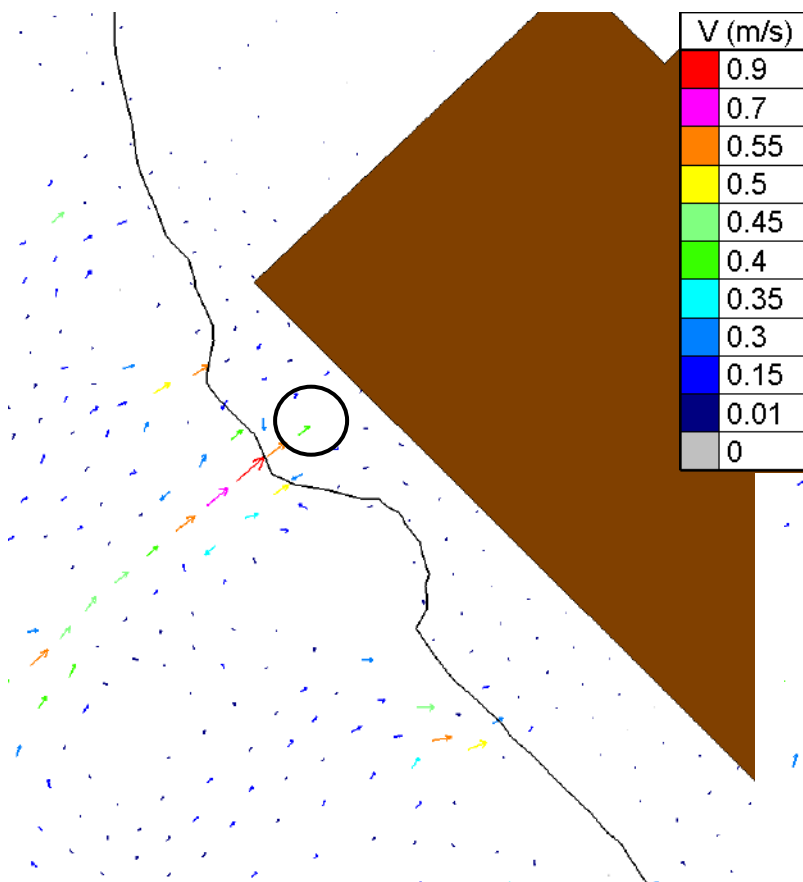


Figure 12: Direction et amplitude des vitesses - Phase D modèle initial

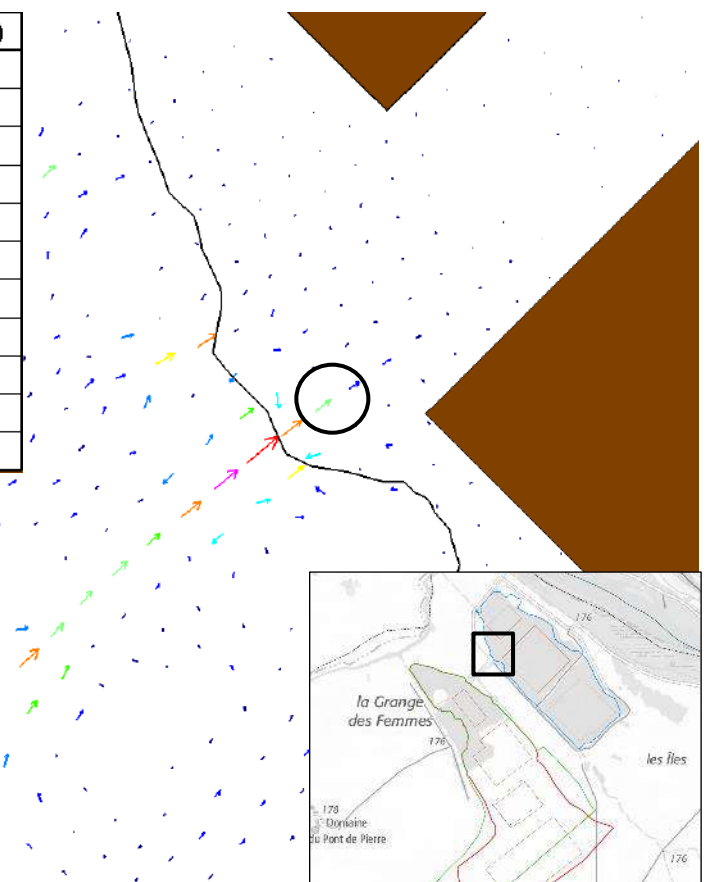


Figure 13: Direction et amplitude des vitesses - Phase D modèle actualisé

Le pas de temps où cette vitesse maximale intervient est situé en début de crue : les débordements n'ont eu lieu qu'au niveau du pont d'Imphy et se sont propagés jusqu'au bassin C, mettant ainsi en mouvement la masse d'eau de ce bassin. Les bassins A et B n'ont pas encore été touchés par des arrivées d'eau, les vitesses sont alors quasiment nulles dans ces bassins. Cependant, entre le bassin A et le bassin C, un canal assure une connexion. Ainsi, l'eau mise en mouvement dans le bassin C s'engouffre dans le canal et rejoint le bassin A. Dans le canal on observe des vitesses importantes, mais qui sont freinées rapidement au débouché dans le bassin A. C'est ce phénomène qui est observé ici.

Dans le cas du modèle initial, la vitesse en sortie du canal est freinée très rapidement car un îlot est présent dans l'axe de sortie, engendrant un ralentissement « forcé » des vitesses. En revanche, dans le cas du modèle actualisé, il n'y a plus d'îlot dans l'axe de sortie, les vitesses sont donc ralenties plus progressivement.

C'est ainsi que s'explique l'écart de vitesses entre les modèles. Cependant, la zone concernée par l'augmentation des vitesses est à distance des îlots (environ 28 mètres) et l'augmentation de la valeur à retenir est relativement faible (0,09 m/s). **On peut donc considérer que la valeur initialement prévue pour le dimensionnement pour cette direction peut être conservée.**

Une préconisation peut cependant être formulées concernant les ancrages : il s'agit de privilégier un ancrage en fond plutôt qu'en ancrage en berge pour l'îlot 1_2 sur le côté nord-ouest, afin de minimiser d'autant plus les efforts sur la ligne d'ancrage.

6.3.2.2. *Direction 320° à 340° en phase A et phase D*

Dans cette direction, pour les deux phases, la valeur maximale observée est de 0,75 m/s environ dans les modèles initiaux mais passe à 0,85 m/s environ dans les modèles actualisés. La différence est relativement faible (0,1 m/s) mais peut être analysée.

Pour faciliter la lecture et l'analyse, les vitesses obtenues au pic de crue selon les modèles (initiaux ou actualisés) sont représentées dans les deux figures suivantes, avec leur amplitude (valeur de vitesse en couleur) et le direction (orientation de la flèche). L'emprise des îlots du bassin A est représentée en marron. L'exemple est donné pour la phase D mais est identique pour la phase A.

La valeur maximale retenue est de 0,75 m/s environ dans le modèle initial, représentée par une flèche vert pâle. D'après la modélisation, cette valeur est observée au passage entre les deux bassins, dans la zone entourée en noir dans la Figure 14. Dans le modèle actualisé, la vitesse est inchangée à cet endroit, comme visible en Figure 15, toujours dans la zone entourée en noir. Cela signifie donc que la valeur de 0,85 m/s obtenue dans la modélisation actualisée se produit à un autre endroit.

La valeur maximale retenue pour le modèle actualisé, de 0.85 m/s environ est représentée par une flèche jaune. Elle est observée au nord-est, dans la zone entourée en rouge, alors que dans le modèle initial les vitesses à cet endroit sont de l'ordre de 0,50 m/s. Comment s'explique une telle différence ?

La modification du plan d'implantation de la centrale photovoltaïque en est évidemment la cause. On remarque bien sur les figures suivantes, que la présence des îlots perturbe la répartition du champ des vitesses. Les vitesses sont freinées à l'arrière des îlots et partiellement accélérées sur les bords. Ainsi, dans le cas du modèle initial, la zone entourée en rouge est à distance à l'arrière de l'îlot et donc protégée des fortes vitesses. Alors que dans le cas du modèle actualisé, cette zone se retrouve non loin du bord d'un îlot et donc est le théâtre de vitesses plus élevées. De plus, on remarque que cette zone forme un petit « décrochement » dans le périmètre du bassin, qui peut facilement accentuer les écoulements.

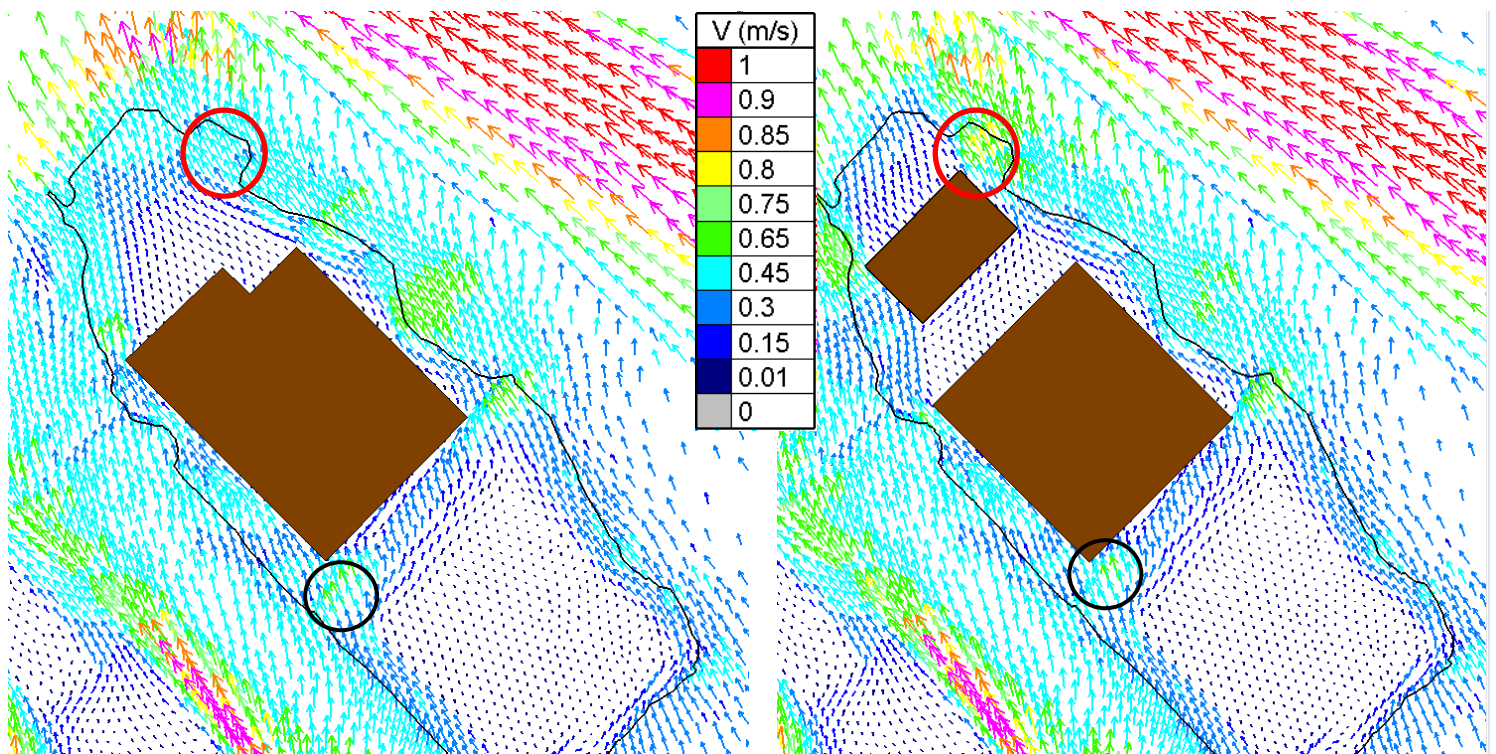


Figure 14: Direction et amplitude des vitesses au pic de crue - Phase D modèle initial

Figure 15: Direction et amplitude des vitesses au pic de crue - Phase D modèle actualisé

L'augmentation des vitesses pour cette direction est donc normale entre les deux modèles. Cependant, la zone concernée par l'augmentation des vitesses est à distance des îlots (environ 30 mètres) et l'augmentation de la valeur à retenir est relativement faible (0,1 m/s). **On peut donc considérer que la valeur initialement prévue pour le dimensionnement pour cette direction peut être conservée.**

Une préconisation peut cependant être formulées concernant les ancrages : il s'agit de privilégier un ancrage en fond plutôt qu'en ancrage en berge pour l'îlot 1_1 sur le côté nord-est, afin de minimiser d'autant plus les efforts sur la ligne d'ancrage.

6.3.2.3. Synthèse sur les vitesses à retenir

L'analyse précédente a permis de constater que les différences de vitesses d'écoulement entre les deux modèles sont pour la plupart nulles ou vont dans le sens de la sécurité puisqu'on observe une baisse de vitesses. Deux cas de hausse ont été constatés, mais l'analyse a montré que les valeurs initialement prévues pouvaient être conservées.

Ainsi, la mise à jour du plan d'implantation ne modifie par les vitesses maximales retenues pour le dimensionnement des ancrages. Les valeurs présentées au paragraphe 5.1.2 en page 17 sont donc valables.

6.4. SYNTHÈSE DE L'INTÉGRATION DE L'EXTENSION AU MODÈLE

L'analyse a montré que la présence de l'extension avec le plan d'implantation actualisé n'avait pas d'impact sur le dimensionnement, prévu à l'issue du paragraphe 5, en termes de hauteurs d'eau et que les vitesses prévues pouvaient être conservées.

7. PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'EMBACLE

7.1. RAPPEL DES MESURES PREVUES

Dans l'étude hydraulique de 2020, la prise en compte du risque d'embacle a fait l'objet d'une analyse spécifique et de solutions proposées, rappelées et illustrées ci-dessous :

- ▲ Un entretien de la ripisylve, sur environ 3 km en bord de Loire ;
- ▲ Une évacuation des débris en lit majeur à l'annonce d'une crue, du pont d'Imphy jusqu'à la gravière, a priori dès la Q2 ;
- ▲ Une orientation du type de cultures, pour limiter dans le futur les zones de production de flottants en amont de la gravière ;
- ▲ La mise en place des deux dromes, pièges flottants permanents, installées dans les bassins en amont des îlots, permettant de capturer les petits éléments en surface et sous la surface. Les deux dromes seraient de 250 mètres et 600 mètres environ ;
- ▲ La mise en place d'une protection anti embâcle, de type peigne, permettant de retenir les gros corps flottants. La côte d'arase doit être de 180 mNGF pour un linéaire de 600 mètres environ. Cette protection est à implanter le long du bassin B, en « L ».

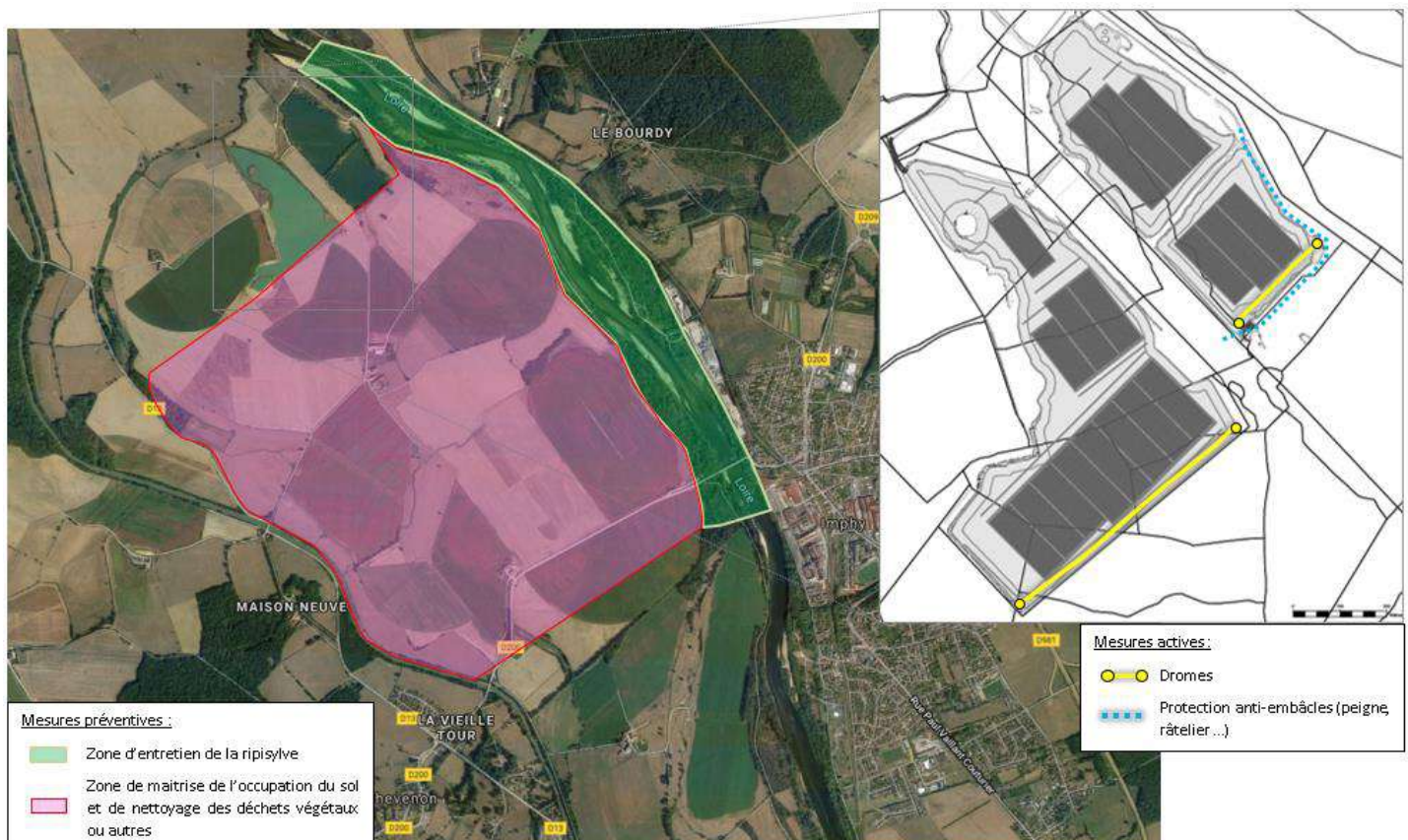


Figure 16: Rappels des solutions pour répondre à la problématique d'embâcles – Etude hydraulique de 2020 - HYDRETIJDES

7.2. ACTUALISATION DES MESURES PREVUES

Remarque : il convient de rappeler que l'étude initiale de 2020 avait montré que le site était peu sensible à la formation d'embâcle.

A la suite du retour des services de l'Etat au dépôt du permis de construire et à l'avancement de sa réflexion et de ses démarches, l'entreprise ELEMENTS a procédé à des ajustements dans les mesures prévues pour la prise en compte des embâcles.

Pour chaque mesure, le tableau suivant présente son format initialement prévu, l'avis du CEREMA correspondant et les ajustements effectués à ce jour par la société ELEMENTS.

Tableau 7: Mesures envisagées pour la prise en compte du risque d'embâcle

Mesure	Format prévu en 2020	Avis CEREMA 2020	Ajustement réalisé en 2021 - 2022
Entretien de la ripisylve	Sur 3km en bord de Loire, jusqu'au pont d'Imphy, il pourrait être pertinent de s'assurer que l'entretien de la ripisylve permette le maintien de végétation en bon état et qu'une vigilance particulière soit portée aux arbres malades.	Nécessiterait la mise en place d'une convention préalable avec l'établissement gémapien en charge de son entretien et de sa gestion, qui n'est pas du seul ressort du futur exploitant de la centrale photovoltaïque.	Deux documents sont en cours de réalisation en collaboration par ELEMENTS avec une structure locale pour l'entretien de la ripisylve respectivement sur le foncier relevant du DPF (Domaine Public Fluvial) et sur le foncier privé. Concernant la partie sur le DPF, un dossier de demande de constitution d'une autorisation d'occupation temporaire sera transmis à la DDT58.
Evacuation des débris	Lorsqu'une alerte est donnée, il peut être pertinent de s'assurer qu'il n'y ait pas en amont de la gravière, dans le lit majeur, des débris végétaux ou de tous types susceptibles d'être emportés pendant la crue. Une fois identifiés, il conviendrait de les évacuer.	Paraît [...] plus réaliste et efficient, dans la mesure où les crues de la Loire sur ce secteur peuvent être anticipées suffisamment tôt grâce aux alertes Vigicrues.	Création d'un système d'alerte et de procédures adaptées en fonction de valeurs seuils de débits et/ou niveaux d'eau aux stations hydrométriques en amont du site. En cours de montage par la société ELEMENTS.
Gestion de crise	-	-	Réalisation d'un plan complet de gestion de crise en collaboration avec le bureau d'études RisCrises permettant un diagnostic poussé des risques, une organisation de crise, des fiches procédures et un annuaire fonctionnel dans le cas d'évènement pouvant avoir un impact sur la centrale photovoltaïque notamment en cas de crue supérieure à Q2.

Mesure	Format prévu en 2020	Avis CEREMA 2020	Ajustement réalisé en 2021 - 2022
Orientation du type de cultures	L'occupation du sol en amont de la gravière peut également être orientée pour limiter au maximum les possibilités de fourniture de flottants.	L'exploitant n'a aucune emprise sur les futurs choix de cultures qui pourront être faits par les agriculteurs exploitant les terrains en lit majeur de la Loire.	Abandonné , effectivement pas réalisable au vu du contexte local.
Mise en place des deux dromes	Nous préconisons de mettre en place des dromes sur toute la longueur des bassins en amont de l'îlot 2 (<i>maintenant îlot 1_3</i>), soit sur 250 mètres environ et de l'îlot 3 (<i>maintenant îlot 2_2</i>), soit sur 600 mètres environ, en prévision de l'extension du bassin C après 2023.	Paraît bien adaptée au type de flottants attendus (principalement des débris végétaux issus des parcelles agricoles).	Conservé et inchangé.
Mise en place d'une protection anti-embâcle	La protection envisagée serait de type peigne ou râtelier et située sur un linéaire de 600 mètres environ, en « L » le long du bassin B. La côte d'arasement du peigne devra être à 180 mNGF. Cela implique que les éléments du peigne auront une taille de 2,5 m de haut environ. Un espacement de l'ordre de 4 à 6 mètres devra être respecté entre les éléments, dont les diamètres seront de l'ordre de 200 mm. Une double ligne pourra également être envisagée.	Nécessite des structures plus lourdes, et suppose la réalisation d'études géotechniques plus poussées et difficilement quantifiables à ce stade d'avancement, comme indiqué à juste titre par le bureau d'études.	ELEMENTS a lancé une consultation pour des études géotechniques. Extension du linéaire concerné sur 300 mètres , le long du bassin C, pour protéger davantage les îlots 2_1 et 2_2 (illustration dans la figure suivante).

Concernant l'extension du linéaire du peigne, deux scénarios du peigne ont été réalisées pour étudier l'impact sur les vitesses dimensionnantes pour les ancrages. Un modèle peigne entièrement obstrué et peigne partiellement obstrué ont permis d'étudier les vitesses maximales observées. Les résultats ont montré que les vitesses à prendre en compte sont inchangées (écarts nuls ou négligeables avec le modèle sans peigne).

Remarque : ces deux scénarios, notamment le scénario avec obstruction totale, sont plutôt très pessimistes. En effet, l'analyse menée précédemment a montré la faible sensibilité du site aux embâcles du fait de la quasi absence de flottants. Il en résulte qu'il est peu probable que l'ouvrage soit obstrué sur toute sa hauteur et toute sa longueur. Ceci valide d'autant plus le fait que les vitesses dimensionnantes retenues précédemment peuvent être conservées.

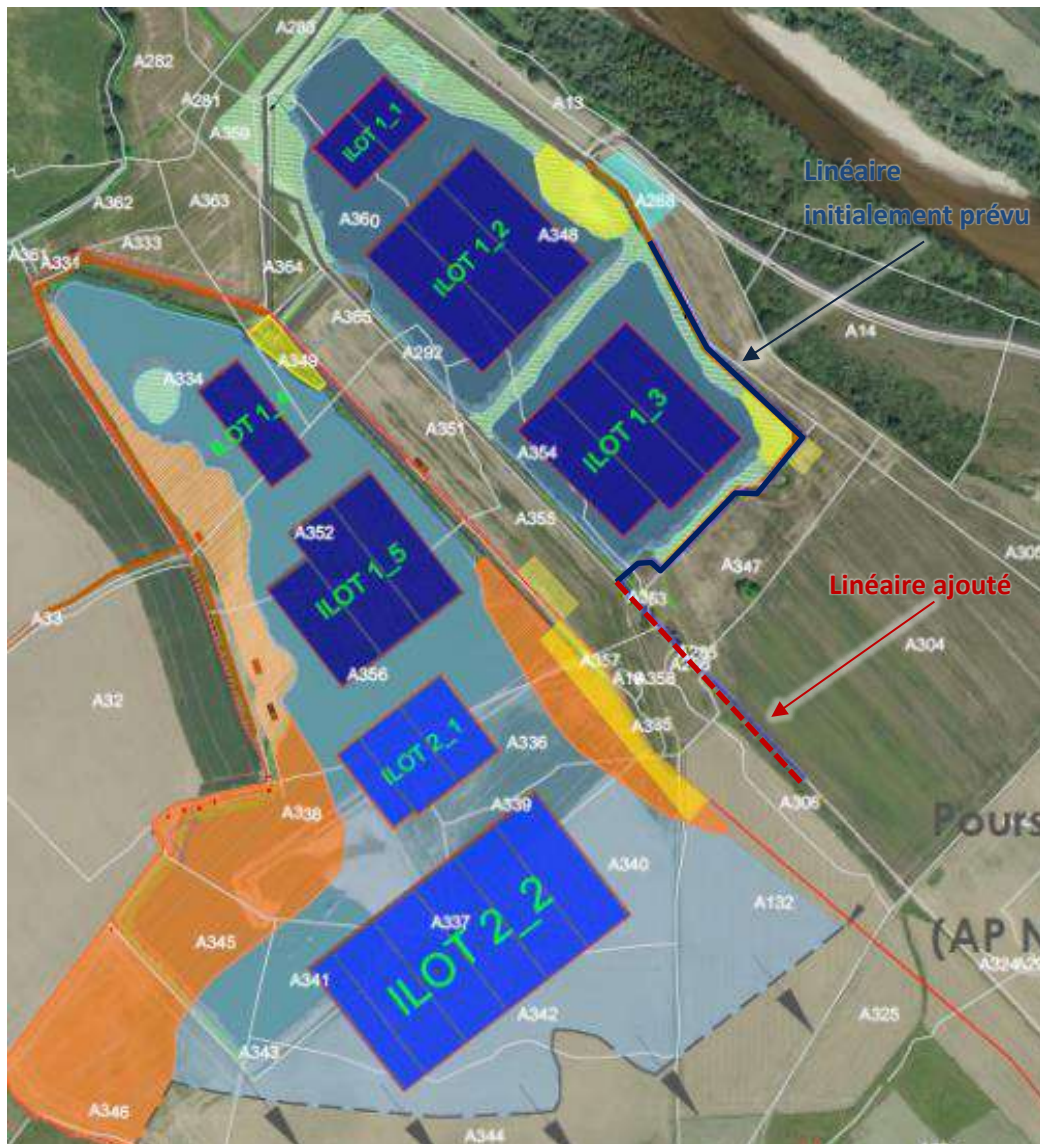


Figure 17: Plan d'implantation de la centrale photovoltaïque et localisation du peigne anti-embâcle

8. CONCLUSION

La présente étude a permis d'étudier l'impact de l'extension de la gravière et de l'intégrer au dimensionnement de la centrale photovoltaïque, projet de l'entreprise ELEMENTS. De plus, quelques modifications dans le plan d'implantation ont également été effectuées depuis le dépôt du permis de construire en 2020, qui devaient donc également être prises en compte. Concernant les vitesses d'écoulements, des différences ont été observées par rapport à celles retenues initialement. Ainsi, les vitesses à prendre en compte ont dû être actualisées. Les nouvelles valeurs ont été transmises à Ciel&Terre qui les a incluses dans ses calculs de dimensionnement des ancrages. Les hauteurs d'eau à prendre en compte (influençant la longueur des lignes d'ancrage et la côte d'implantation des éléments sensibles) sont inchangées par rapport à l'étude initiale de 2020.

Concernant le système de protection anti-embâcle, le peigne initialement prévu a été étendu sur un linéaire de 300 mètres et ELEMENTS travaille sur une convention d'entretien de la ripisylve de la Loire avec le service gemapien concerné et un protocole interne d'évacuation des débris calé sur des seuils d'alerte, qui seront annexés au nouveau permis de construire.

ANNEXES

[ANNEXE I : Avis du CEREMA du 26 avril 2021](#)

NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation, expertise post crue, gestion de crise.
Gestion sédimentaire.
Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes (barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.
Développement durable.
Protection des milieux.
Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.
Assainissement & épuration des eaux usées.
Gestion des eaux pluviales.
Conception et gestion des aménagements d'irrigation et d'enneigement.

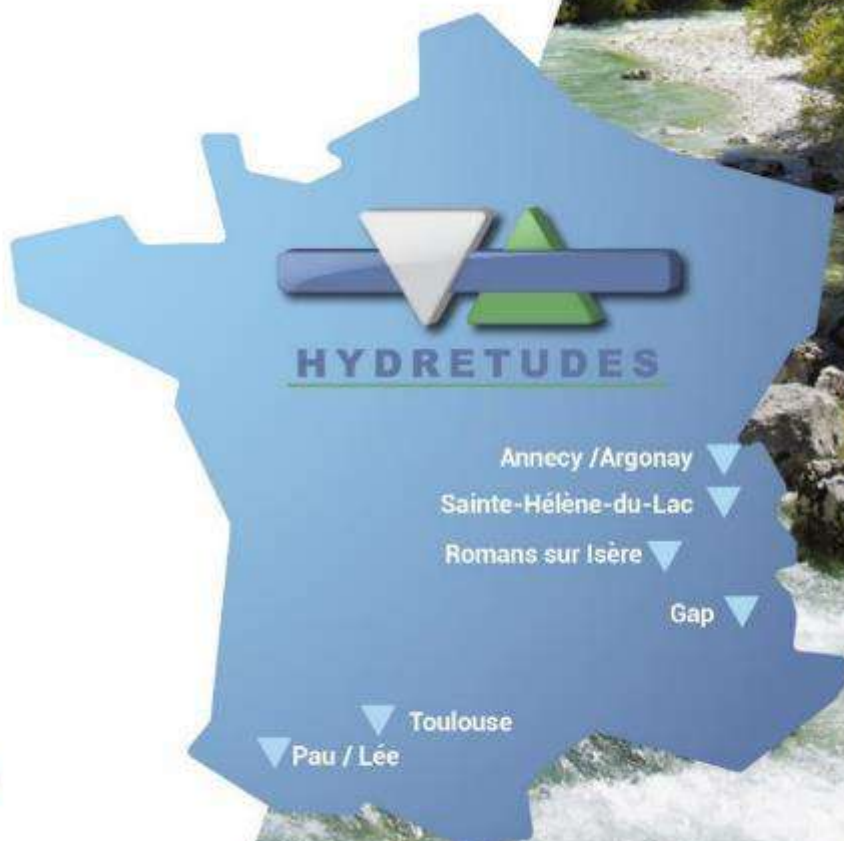
Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.
Récolement.

Contact :
contact@hydretudes.com
www.hydretudes.com



Flashez et visitez notre site



©istack hydretudes photos non contractuelles

Réf. : 21-CE-1129 – AMO étude projet photovoltaïque flottant - Chevenon

Affaire suivie par :
Jean-Michel SIGAUD
Tel. : 04 73 42 10 93
Mail : jean-michel.sigaud@cerema.fr
Direction / Service : Centre-Est / ACF / GER

Note à l'attention de :

Mme Sylvie LEBOUAR
DDT de la Nièvre – SLSR / CPR
2, rue des Pâtis
BP 30069
58020 NEVERS CEDEX

Clermont-Ferrand, le 26/04/2021

Objet : avis technique projet photovoltaïque Chevenon (étude hydraulique)

NOTE TECHNIQUE

1- Rappel de la commande

La Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT58) est chargée d'instruire un projet de centrale photovoltaïque flottante sur la commune de Chevenon dans la Nièvre, porté par la société ELEMENTS. Le site choisi est situé en rive gauche de la Loire. Il s'agit d'une gravière actuellement composée de 3 bassins, dont 2 ne sont plus en exploitation, gérée par la société EQIOM.

Ce projet est opposable au PPRi de la Loire sur le secteur compris entre Nevers et Saint-Léger-des-Vignes. La prise en compte du risque inondation est par conséquent impérative dans la réflexion et le dimensionnement du projet. Les impacts du projet en termes de risque inondation doivent donc être étudiés et discutés.

La DDT58, Service Loire Sécurité Risques, a confié au Cerema, Direction Territoriale Centre-Est, une mission d'appui technique, visant à l'accompagner lors des réunions techniques préalables au dépôt du dossier d'autorisation, et à fournir un avis technique sur ce même dossier déposé par la société ELEMENTS.

La mission du Cerema porte plus précisément sur les éléments suivants :

- étude d'ancrage, réalisée par l'agence d'Autun ;
- étude hydraulique, réalisée par l'agence de Clermont-Ferrand.

Cette note technique ne traite que le volet hydraulique des études.

2- Documents analysés :

- Annexe 7 de l'étude d'impact - étude hydraulique
- Annexe 10 de l'étude d'impact - étude hydraulique et hydrogéologique de la carrière EQIOM

3- Analyse des documents remis par la société ELEMENTS

3.1 Annexe 7 de l'étude d'impact - étude hydraulique

3.1.1 Historique de l'étude et rappel des observations déjà formulées lors des échanges précédents

Tout d'abord, il est à noter qu'une première version du rapport de l'étude hydraulique (rapport version v2 du 28/10/2020, non finalisé) avait été transmise par la société ELEMENTS, et avait fait l'objet d'observations de la part du Cerema. Celles-ci portaient essentiellement sur la discrétisation du modèle hydraulique 2D très précisément au droit de la future centrale photovoltaïque. Ces observations ont ensuite été discutées lors de la réunion technique du 25/11/2020.

3.1.2 Observations sur la version v3 du rapport remis avec le dossier de l'étude d'impact

- Paragraphe 1 : Introduction :
 - **Pas d'observation**
- Paragraphe 2 : Contexte :
 - Paragraphe 2.1.3. Hydrographie :
 - De nouveaux éléments sont rapportés par rapport à la version initiale du rapport, mettant en évidence l'influence de la nappe d'accompagnement de la Loire sur le niveau d'eau dans les gravières. Cependant, il faut bien garder à l'esprit que **le modèle hydraulique** ne prend en compte que les phénomènes d'inondation par débordement de cours d'eau (Loire et ses affluents) et **ne traite pas le phénomène d'inondation par remontée de nappe**.
 - Par ailleurs, une description fine des échanges entre les gravières et le ruisseau des Prés lors des crues de Loire est fournie ; ces derniers peuvent en revanche être pris en compte dans le modèle hydraulique 2D en fonction du soin apporté à la construction du modèle hydraulique.
 - Paragraphe 2.3 : Démarche :
 - **Pas d'observation sur la méthodologie retenue**, qui est fidèle aux échanges techniques ayant précédé le dépôt du dossier.
- Paragraphe 3 : Présentation du modèle ANTEA :

Ce paragraphe a fait l'objet de quelques compléments par rapport à la version précédemment diffusée.

 - Paragraphe 3.1 à 3.6 :
 - Il s'agit d'une synthèse de l'étude hydraulique réalisée par ANTEA dans le cadre de la démarche PPRI
 - Les hypothèses retenues paraissent cohérentes en matière de choix de la Condition limite aval, du maillage « adaptatif », du choix des coefficients de Strickler, du calage du modèle sur 4 crues historiques, etc.
 - **Pas d'observation particulière** sur l'étude menée précédemment.
 - Paragraphe 3.7 : Utilisation pour le projet d'ELEMENTS
 - On retrouve globalement les mêmes éléments que dans la version précédente du rapport, avec cependant quelques compléments rapportés, qui concernent principalement les modifications à apporter au modèle ANTEA initial (non adapté au droit des gravières), et qui nécessite :
 - une densification du maillage au droit du site d'étude,
 - une actualisation de la topographie du site (prise en compte de la bathymétrie réalisée au droit des gravières),
 - un ajustement des coefficients de rugosité au niveau des bassins des gravières.
 - **Pas d'observation** sur les compléments rapportés
- Paragraphe 4 : Actualisation du modèle ANTEA :
 - Paragraphe 4.1 : Modifications
 - Le modèle hydraulique 2D repris au droit de la gravière intègre bien les modifications attendues :
 - taille des mailles de 10 mètres au droit des gravières,
 - topographie de la gravière interpolée sur le maillage affiné,
 - ajustement des coefficients de frottement (Strickler), valeur de K=25 fixée pour les surfaces en eau.
 - **Pas d'observation sur les éléments ajoutés**, conformes aux échanges précédents
- Paragraphe 5 : Comparaison des résultats entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé
 - La rédaction de ce paragraphe (consacré à la comparaison des valeurs brutes et des changements de classes de hauteurs d'eau et de vitesses entre modèle initial et modèle actualisé) a été reprise, et intègre désormais les modifications apportées au modèle hydraulique au droit des gravières.

- **Pas d'observation** : les commentaires sont clairs et les explications suffisamment précises et détaillées pour justifier les modifications apportées au modèle hydraulique.
- Paragraphe 6 : Modélisation avec centrale photovoltaïque
 - **Ce paragraphe est totalement nouveau et fait l'objet d'un premier contrôle.**
 - Le choix du coefficient de Strickler (K=1) pour modéliser les îlots peut paraître extrême et pessimiste au regard de l'influence réelle des éléments du projet sur les écoulements. Cependant, il s'agit d'une valeur maximisante permettant d'estimer l'impact maximal induit par la présence de la centrale.
 - Les cartographies relatives aux valeurs brutes et aux classes de hauteurs et de vitesses et leurs commentaires associés n'appellent pas d'observation particulière autres que celles déjà formulées. L'impact de la centrale reste limité en termes de localisation et d'intensité sur les hauteurs et vitesses.
 - Le test de sensibilité sur le coefficient de frottement associé à la centrale indique que **le modèle est peu sensible à cette valeur** (les différences induites restent inférieures à la marge d'incertitude du modèle hydraulique), **ce qui conforte les résultats obtenus.**
 - De plus, il est important de souligner que malgré des hypothèses maximisantes sur le coefficient de rugosité associé aux structures composant la centrale, **les hauteurs d'eau obtenues pour la simulation d'une Q200 restent dans tous les cas inférieures aux PEHC.**
 - La vitesse maximale retenue « par tranche de direction de 20° » semble adaptée pour définir les hypothèses de dimensionnement des ancrages, et se veut sécuritaire.
 - Les longueurs des câbles d'ancrage sont justifiées et paraissent largement dimensionnées au regard des hauteurs d'eau minimales et maximales retenues, qui **n'appellent pas de remarque particulière**. Il en est de même pour l'implantation des éléments dits « sensibles », implantés à minima à la cote 180 mNGF.
- Paragraphe 7 : Problématique des embâcles
 - Le bureau d'études estime (à juste titre) que le site est peu sensible à la formation d'embâcles, du fait principalement de l'absence de zones productrices d'embâcles en amont immédiat des gravières. Les informations historiques indiquent toutefois la présence de quelques végétaux lors des dernières crues morphogènes observées (toutes largement inférieures à Q200), ce qui justifie ce focus dans le cadre de l'étude du projet.
 - **Les mesures préventives présentées par le bureau d'études paraissent en revanche plus difficiles à mettre en œuvre en l'état du fait que la société ELEMENT ne dispose pas de la maîtrise foncière** des terrains situés en amont et le long du fleuve :
 - l'entretien de la ripisylve nécessiterait la mise en place d'une convention préalable avec l'établissement gémapien en charge de son entretien et de sa gestion, qui n'est pas du seul ressort du futur exploitant de la centrale ;
 - de même pour l'orientation des cultures, l'exploitant n'a aucune emprise sur les futurs choix de cultures qui pourront être faits par les agriculteurs exploitant les terrains en lit majeur de la Loire ;
 - le deuxième point évoqué par ELEMENTS, consistant à évacuer des débris situés en lit majeur à l'annonce d'une crue, paraît en revanche plus réaliste et efficient, dans la mesure où les crues de la Loire sur ce secteur peuvent être anticipées suffisamment tôt grâce aux alertes vigicrues.
 - La proposition d'implanter des dromes en amont des bassins paraît bien adaptée au type de flottants attendus (principalement des débris végétaux issus des parcelles agricoles).
 - En revanche, la protection en amont du site à l'aide de peignes pour retenir les « gros flottants » (troncs, branches, etc.) nécessite des structures plus lourdes, et suppose la réalisation d'études géotechniques plus poussées et difficilement quantifiables à ce stade d'avancement, comme indiqué à juste titre par le bureau d'études.
 - Les simulations numériques avec implantation de systèmes de protection « anti-embâcles » lourds indiquent un impact relativement limité sur les hauteurs et les vitesses d'écoulement, tant en matière de localisation que d'intensité. **Sur ce point, l'analyse du bureau d'études paraît cohérente.**
- Paragraphe 8 : Conclusion
 - Il s'agit d'une synthèse des éléments traités précédemment : **pas d'observation**.

3.1.3 Conclusions sur le rapport de l'étude hydraulique

L'étude hydraulique réalisée par le bureau d'études à la demande de la société ELEMENTS répond bien aux exigences imposées par le PPRi sur la prise en compte du risque inondation dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque flottante.

L'étude hydraulique apporte l'ensemble des éléments et justifications techniques permettant de valider le modèle. Rappelons pour cela que le modèle hydraulique sert à évaluer l'impact du projet de centrale photovoltaïque sur le risque inondation et à dimensionner les ancrages des structures à partir des vitesses d'écoulement estimées par modélisation.

Le bureau d'étude montre que le projet de centrale photovoltaïque a **un impact notable mais modéré sur les hauteurs d'eau et les vitesses au sein de la gravière, et très peu d'influence ailleurs**, ce qui valide les deux premières prescriptions imposées par la PPRi :

- 1 « [...] la présence de l'installation n'aggrave pas le risque inondation » ;
- 2 « [...] l'installation n'a pas de conséquence négative sur les zones de grand écoulement des crues, à savoir les zones de vitesse élevée. »

Les propositions techniques du bureau d'études (dimensionnement des ancrages, longueur des ancrages, décalage d'implantation par rapport aux berges, implantation des installations sensibles au-dessus de la cote $z=180$ mNGF) **sont justifiées et paraissent adaptées** eu égard aux deux dernières prescriptions prévues dans le PPRi, à savoir :

- 3 « [...] l'installation résistera à une inondation de type PHEC (de par la hauteur de submersion et de par la vitesse d'écoulement de la crue) » ;
- 4 « [...] l'installation sera dimensionnée au niveau des ancrages pour éviter tout arrachement d'une partie des composants en cas de crue. »

En revanche, les propositions de mesures préventives visant à limiter la formation d'embâcles en amont du site **mériteraient d'être précisées** (avec conventions à monter) **et peuvent être difficiles à mettre en place sans consensus avec les différents acteurs** (en particulier agriculteurs et futur établissement gémapien).

3.2 Annexe 10 de l'étude d'impact - étude hydraulique et hydrogéologique de la carrière EQIOM

3.2.1 Objectifs de l'étude

Cette étude réalisée en 2017 par Setec-Hydratec à partir de modélisations, vise en particulier à évaluer les impacts hydrauliques et hydrogéologiques du projet d'extension de la gravière exploitée par EQIOM. Le projet prévoit l'extraction de matériaux et la création de nouveaux bassins dans la zone située en amont immédiat du bassin de la gravière actuellement en exploitation.

3.2.2 Analyse succincte de l'étude

Pas d'observation particulière concernant cette étude, qui paraît largement détaillée, illustrée et argumentée.

Elle conclut au fait que le projet d'extension de la carrière « *n'induit pas de rehaussement significatif des lignes d'eau (supérieur à 1 cm) pour l'ensemble des crues étudiées (de période de retour de 50 ans à 500 ans)* ». A l'inverse, le projet « *induit un abaissement de la ligne d'eau de l'ordre de 7 cm pour les différentes crues testées (de 5,6 cm pour la crue de période de retour 500 ans à 7,6 pour les crues de faible période de retour). [...] Cet abaissement de la ligne d'eau est le plus significatif au droit du projet mais il se propage en se réduisant vers l'amont sur environ 2,5km.* ».

En résumé, le projet d'extension de la gravière aurait tendance à abaisser la ligne d'eau en cas de crue de la Loire. En revanche, l'étude ne s'intéresse pas à son impact sur les vitesses, qui restent pourtant déterminantes pour le dimensionnement des ancrages des structures composant la centrale photovoltaïque flottante.

3.2.3 Lien avec le dossier relatif à la centrale photovoltaïque flottante

Cette étude a été réalisée en 2017 à l'initiative de EQIOM, et est par conséquent totalement déconnectée du projet de centrale photovoltaïque flottante, qui n'est par ailleurs jamais évoqué dans l'étude.

A l'inverse, l'étude hydraulique de 2021 menée par Hydrétudes à la demande de la société ELEMENTS ne prend pas en compte non plus ce projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM.

L'étude de 2017 a montré que le projet d'extension n'avait pas d'impact défavorable sur la ligne d'eau lors des crues majeures de la Loire. En revanche, **elle n'a pas statué sur ses impacts en matière de dynamique des écoulements.**

Le projet d'extension de la carrière pourrait par conséquent induire des vitesses d'écoulement localement plus fortes au droit des futures installations de la centrale, ayant ainsi potentiellement une incidence directe sur le dimensionnement des ancrages.

4- Conclusion générale

L'étude hydraulique de 2021 relative au projet de centrale photovoltaïque répond bien aux prescriptions imposées par le PPRi dans la configuration actuelle de la carrière en phase d'exploitation.

En revanche, elle ne tient pas compte du projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM, qui peut avoir dans sa configuration à terme une incidence (probablement limitée) sur la dynamique des écoulements, et par conséquent sur le dimensionnement des ancrages des équipements de la future centrale photovoltaïque.

En cas de confirmation du projet d'extension de la carrière par l'exploitant EQIOM, **de nouvelles simulations pourraient être envisagées, afin d'estimer les nouvelles vitesses maximales au droit du projet**, tout en s'assurant que les ancrages restent correctement dimensionnés au regard de ces nouvelles valeurs.

Jean-Michel SIGAUD
Responsable d'études en risque inondation
et assainissement routier

**Projet de centrale photovoltaïque flottante
à Chevenon dans la Nièvre - Assistance
technique pour la thématique "Hydraulique
- PPRI"**



**Etude
hydraulique**

N° d'Affaire : ARI-20-041

Version 3

14 décembre 2020

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

ELEMENTS
5 rue Anatole France
34000 Montpellier
04 34 26 61 67
contact@elements.green

Affaire

Projet de centrale photovoltaïque flottante à Chevenon dans la Nièvre - Assistance technique pour la thématique "Hydraulique - PPRI"
ARI-20-041
Didier CLEMENT
Etude hydraulique

Emetteur

HYDRETUDES - Centre technique principal
815, route de Champ Farçon
74370 ARGONAY
04.50.27.17.26
contact@hydretudes.com



Document

Rapport d'étude
14 décembre 2020

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	09/12/2020	V1	C. RAUCOULES	D.CLEMENT
2	11/12/2020	V2	C. RAUCOULES	D.CLEMENT
3	14/12/2020	V3 – Reprise dernières remarques	C. RAUCOULES	D.CLEMENT
4				
5				

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	6
1. INTRODUCTION	7
2. CONTEXTE	8
2.1. Présentation du site.....	8
2.1.1. Localisation.....	8
2.1.2. Exploitation de la gravière	8
2.1.3. Hydrographie	10
2.2. Aspect réglementaire	12
2.3. Démarche	13
3. PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE ANTEA.....	14
3.1. Généralités.....	14
3.2. Logiciel utilisé.....	14
3.3. Emprise du modèle hydraulique	15
3.4. Maillage.....	15
3.5. Conditions aux limites	17
3.5.1. Condition amont.....	17
3.5.2. Condition aval	17
3.6. Coefficient de rugosité.....	17
3.7. Utilisation pour le projet d'Eléments	18
3.7.1. Scénario retenu	18
3.7.2. Lacunes du modèle	19
3.7.3. Synthèse de l'analyse du modèle d'ANTEA.....	20
4. ACTUALISATION DU MODELE ANTEA	21
4.1. Modifications	21
4.1.1. Densité du maillage	21
4.1.2. Topographie.....	21
4.1.3. Coefficient de frottement	22
4.2. Synthèse des modèles utilisés	22
5. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LE MODELE ANTEA ET LE MODELE ACTUALISE .	23
5.1. Visualisation des résultats	23
5.1.1. Documents graphiques.....	23
5.1.2. Représentation des résultats.....	23
5.2. Analyse et comparaison des résultats	24
5.2.1. Différences en termes de hauteurs d'eau	24

5.2.2.	Différences en termes de vitesses d'écoulement.....	28
5.3.	Synthèse de l'actualisation du modèle ANTEA.....	31
6.	MODELISATION AVEC CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE	32
6.1.	Plan du projet de centrale	32
6.2.	Intégration au modèle.....	32
6.3.	Résultats	34
6.4.	Impact de la centrale sur le risque inondation	34
6.4.1.	Analyse et comparaison des résultats modèles sans et avec centrale.....	34
6.4.2.	Test de sensibilité avec un coefficient de frottement plus modéré.....	40
6.4.3.	Synthèse de l'impact de la centrale sur le risque inondation	40
6.5.	Aide au dimensionnement de la structure.....	41
6.5.1.	Dimensionnement des ancrages	41
6.5.2.	Longueur des lignes d'ancrage	43
6.5.3.	Côte d'implantation des éléments sensibles	44
6.5.4.	Synthèse des éléments dimensionnants	44
7.	PROBLEMATIQUE DES EMBACLES	45
7.1.	Sensibilité du site et historique	45
7.1.1.	Sensibilité du site.....	45
7.1.2.	Historique.....	47
7.1.3.	Synthèse.....	47
7.2.	Solutions proposées.....	48
7.2.1.	Mesures préventives	48
7.2.2.	Mesures actives.....	50
7.3.	Synthèse de la problématique des embâcles	57
8.	CONCLUSION.....	59
8.1.	Résultats de l'analyse	59
8.2.	Intégration des préconisations dans l'étude générale	61
	ANNEXES – ATLAS CARTOGRAPHIQUES	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Phasage quinquennal du projet d'exploitation sur 30 ans, après 2023 - EQIOM 2017	8
Figure 2: Site d'étude	9
Figure 3: Variation de la cote piézométriques (m NGF) – EQIOM	10
Figure 4: P1 - Bassin C en exploitation	11
Figure 5: P2 – Ruisseau des Prés	11
Figure 6: P3 - Exutoire trop-plein bassin C	11
Figure 7: P4 - Exutoire trop-plein bassin A	11
Figure 8: P5 - Point bas en amont de l'angle sud du bassin B	11
Figure 9: P6 - Canal de connexion entre les bassins A et C	11
Figure 10: Zonage centré sur la zone d'étude, issu du PPRi de la Loire approuvé au 17 janvier 2020 .	12
Figure 11: Emprise du modèle ANTEA en noir - Limites des communes de la zone d'étude en rouge	15
Figure 12: Maillage du modèle ANTEA avec les côtes de fond, centré sur l'aval.....	16
Figure 13: Courbe de tarage aval	17
Figure 14: Hydrogramme injecté en amont du modèle de la Loire - Période de retour de 200 ans	18
Figure 15: Localisation de la brèche modélisée	18
Figure 16: Maillage avec topographie au niveau de la gravière dans le modèle ANTEA	19
Figure 17: Maillage avec coefficient de frottement au niveau de la gravière dans le modèle ANTEA .	20
Figure 18: Maillage densifié et topographie ajustée dans le modèle actualisé.....	21
Figure 19: Maillage densifié avec coefficient de frottement dans le modèle actualisé	22
Figure 20: Différences de hauteurs d'eau observées entre M.ACTUALISE et M.ANTEA	27
Figure 21: Changements de classes de hauteurs observés entre M.ACTUALISE et M.ANTEA.....	27
Figure 22: Différences de vitesses d'écoulement observées entre M.ACTUALISE et M.ANTEA.....	30
Figure 23: Changements de classes de vitesses observés entre M.ACTUALISE et M.ANTEA	30
Figure 24: Coefficients de frottement dans le modèle avec centrale	32
Figure 25: Plan de projet d'implantation de la centrale établi par Eléments, au 4 novembre 2020	33
Figure 26: Différences de hauteurs d'eau observées entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE	36
Figure 27: Changements de classes de hauteurs observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE.....	36
Figure 28: Différences de vitesses d'écoulement observées entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE	38
Figure 29: Changements de classes de vitesses observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE.....	38
Figure 30: De-zoom de la Figure 27 - Changements de classes de hauteurs d'eau observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE.....	39
Figure 31: De-zoom de la Figure 29 - Changements de classes de vitesses d'écoulement observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE.....	39

Figure 32: Coupe paysagère BB' de l'îlot 1 avec ancrage, réalisée par Eléments	42
Figure 33: Plan de masse, état projeté de l'îlot 1, réalisé par Eléments	43
Figure 34: Résultats des efforts appliqués à l'îlot 1 et des ancrages à prévoir - Ciel&Terre.....	44
Figure 35: Situation du site à l'étude.....	46
Figure 36: Photo prise lors de la crue de 2008 - Vue du bassin C depuis l'amont	47
Figure 37: Photo prise lors de la crue de 2008 – Vue des bassins A et B depuis l'amont.....	47
Figure 38: Localisation des mesures préventives.....	49
Figure 39: Exemple de dromes.....	50
Figure 40: Exemple de dromes retenant des débris	50
Figure 41: Vue 3D du projet avec localisation des dromes	50
Figure 42: Direction et intensité des vitesses au pic de crue – Résultats modèle avec centrale.....	51
Figure 43: Vue aérienne du projet et localisation du peigne "anti embâcles"	52
Figure 44: Exemple de pieux métalliques dans un champ	52
Figure 45: Exemple de peignes en lit mineur	52
Figure 46: Maillage scénario 1 - Topographie avec peigne.....	53
Figure 47: Maillage scénario 2 – Topographie avec peigne	53
Figure 48: Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale .	54
Figure 49: Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale .	54
Figure 50: Différences de vitesses observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale.....	55
Figure 51: Différences de vitesses observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale.....	55
Figure 52: Synthèses des solutions pour répondre à la problématique d'embâcles	58
Figure 53 : Extrait du rapport de Ciel&Terre concernant le dimensionnement des ancrages.....	61
Figure 54: Extrait du rapport de Ciel&Terre concernant les paramètres d'entrées	61
Figure 55: Plan de masse du projet réalisé par Eléments	62
Figure 56: Plan de face d'un poste de transformation, réalisé par Eléments.....	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Tailles des mailles retenues.....	15
Tableau 2: Coefficients de frottement retenus à l'issue du calage	17
Tableau 3: Synthèse des caractéristiques principales des modèles.....	22
Tableau 4: Vitesses maximales extraites dans la gravière, du modèle avec centrale.....	41
Tableau 5: Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est) à retenir pour le dimensionnement des ancrages	59

1. INTRODUCTION

La société Eléments porte un projet innovant et d'ampleur consistant à implanter une centrale photovoltaïque flottante sur la commune de Chevenon dans la Nièvre. Le site choisi est situé en rive gauche de la Loire. Il s'agit d'une gravière actuellement composée de 3 bassins, dont 2 ne sont plus en exploitation, exploitée par la société EQIOM.

Le site se trouvant dans le champ d'application du PPRi de la Loire sur le secteur entre Nevers et Saint-Léger-des-Vignes, la prise en compte du risque inondation est impérative dans la réflexion et le dimensionnement du projet. En concertation avec les services de l'Etat, le Service Loire Sécurité Risque de la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58), les impacts du projet en termes de risques doivent donc être étudiés et discutés.

Notre bureau d'études a été missionné par la société Eléments pour travailler sur les aspects hydrauliques, tant pour répondre aux exigences de la DDT 58 que pour ajuster le dimensionnement des ancrages de la centrale et protéger son intégrité lors des crues.

2. CONTEXTE

2.1. PRESENTATION DU SITE

2.1.1. Localisation

Localisé en rive gauche, dans le lit majeur de la Loire, le site à l'étude est situé sur la commune de Chevenon, environ 5km en amont de Nevers et 5km en aval de la ville d'Imphy. Sa localisation est présentée en Figure 2 en page suivante.

La quasi-totalité des terrains alentours est occupée par l'agriculture, pour grande partie de maïs. On trouve également quelques fermes isolées. Les zones boisées sont situées en bord de Loire, formant une ripisylve fournie sur quelques mètres de large allant jusqu'à 150 mètres de large par endroit. La Loire se trouve environ 4 à 5 mètres en contrebas du site à l'étude, en régime normal. Composée de 3 bassins, la gravière se situe à environ 120 mètres de la Loire pour les 2 bassins les plus proches et 600 mètres pour le bassin le plus éloigné.

2.1.2. Exploitation de la gravière

Ces bassins sont le résultat de plusieurs années d'exploitation par la société EQIOM. Les deux bassins proches de la Loire ne sont plus en exploitation (A et B dans la Figure 2). Seul le bassin éloigné (C dans la Figure 2) est actuellement exploité, avec une convention d'exploitation s'achevant en 2023.

Une nouvelle concession a été signée autorisant la société EQIOM à étendre la gravière pendant trente années supplémentaires. L'exploitation tendra à prolonger en amont le bassin actuellement en exploitation sur plusieurs centaines de mètres en parallèle de la Loire, en dehors de l'espace de mobilité fonctionnelle de la Loire. Une étude réalisée en 2014 puis complétée en 2017 par la société SETEC HYDRATEC permet de présenter ce projet porté par EQIOM¹. Une présentation du phasage du projet d'exploitation, extraite du document, est disponible dans la figure ci-contre.

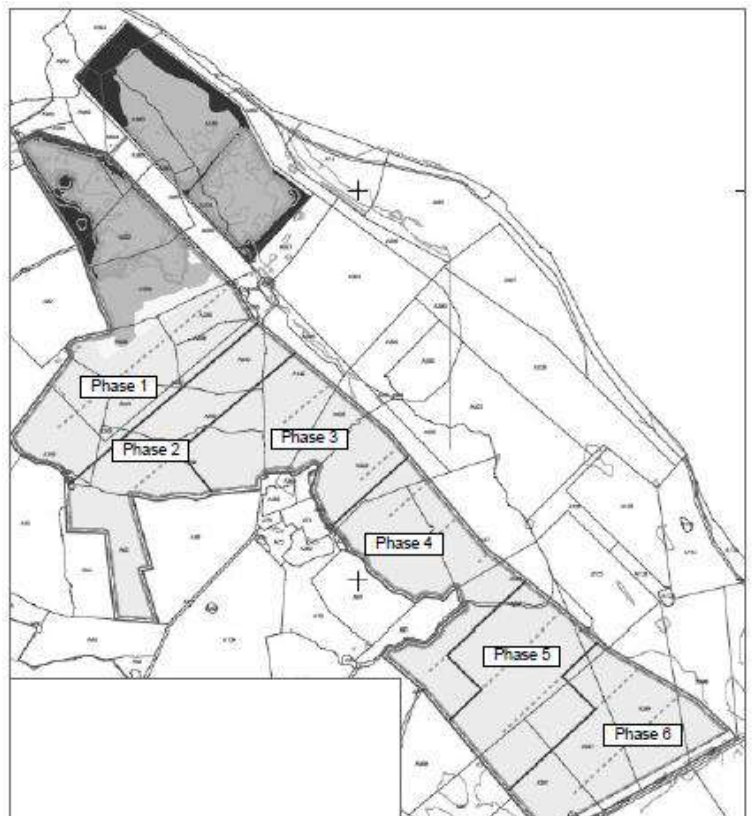
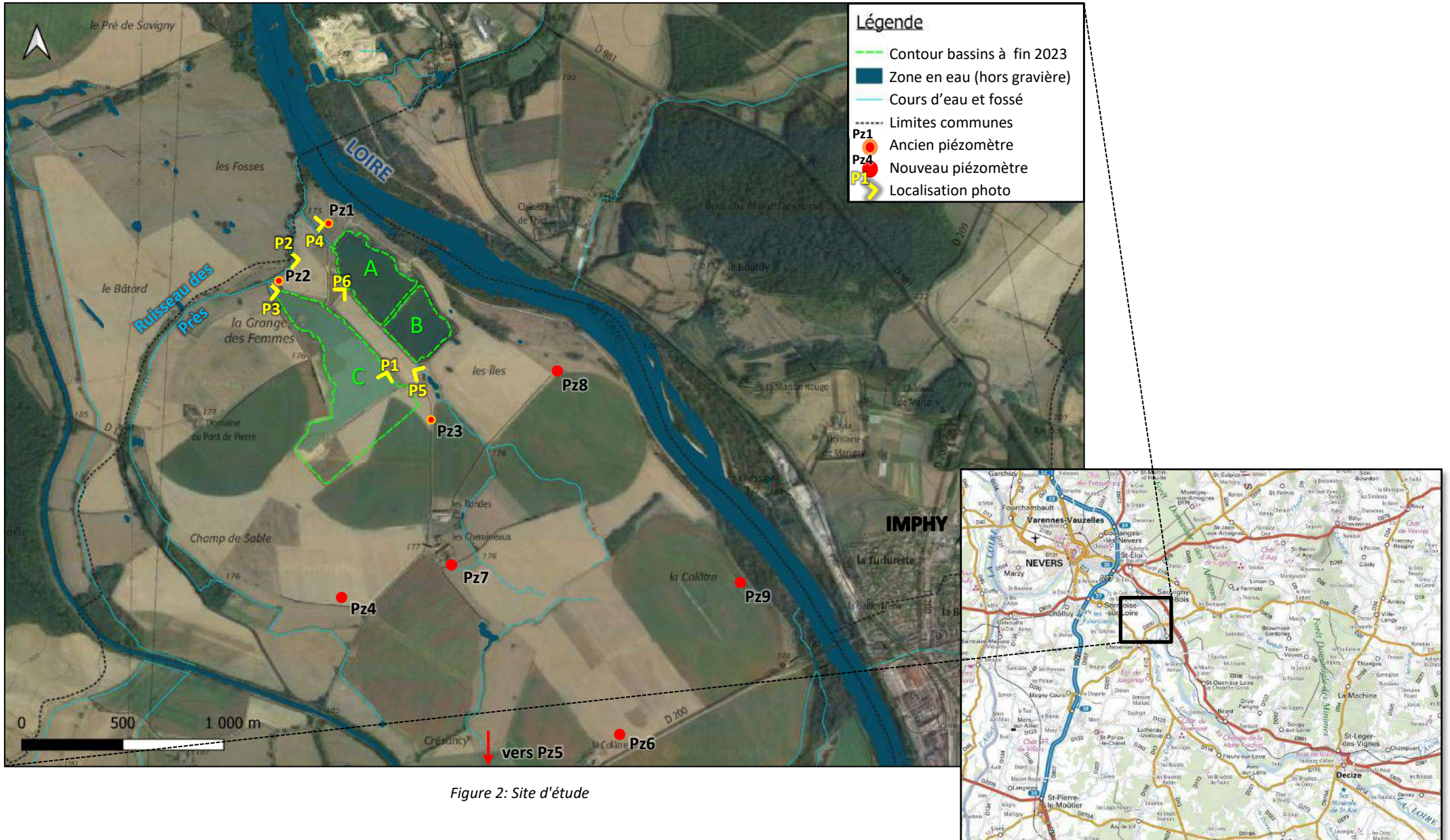


Figure 1: Phasage quinquennal du projet d'exploitation sur 30 ans, après 2023 - EQIOM 2017

¹ Demande d'autorisation pour un projet d'extension de la carrière sur la commune de Chevenon (58) - Rapport d'étude hydraulique et hydrogéologique - Mars 2017



2.1.3. Hydrographie

2.1.3.1. Influence de la nappe d'accompagnement de la Loire

La proximité avec la Loire, et donc de sa nappe d'accompagnement, permet aux bassins de la gravière leur mise en eau. Un réseau de plusieurs piézomètres posés sur et autour du site permet de mesurer le niveau de la nappe. Leur localisation est présentée en Figure 2.

Les piézomètres anciens ont été implantés en 2009, les autres dans le courant de l'année 2013. Hormis l'absence de quelques levés, on dispose d'une mesure par mois depuis la pose des piézomètres. Ainsi, l'évolution du niveau de la nappe peut être suivi. Le graphique suivant montre l'évolution du niveau de la nappe relevé aux piézomètres 1, 2 et 3 (les plus proches des bassins) entre 2015 et 2018.

Au niveau des piézomètres 1, 2 et 3, les valeurs extrêmes relevées sont de 172,3 mNGF pour le minimum et 176,1 mNGF pour le maximum. La valeur moyenne se situe à 173,8 mNGF.

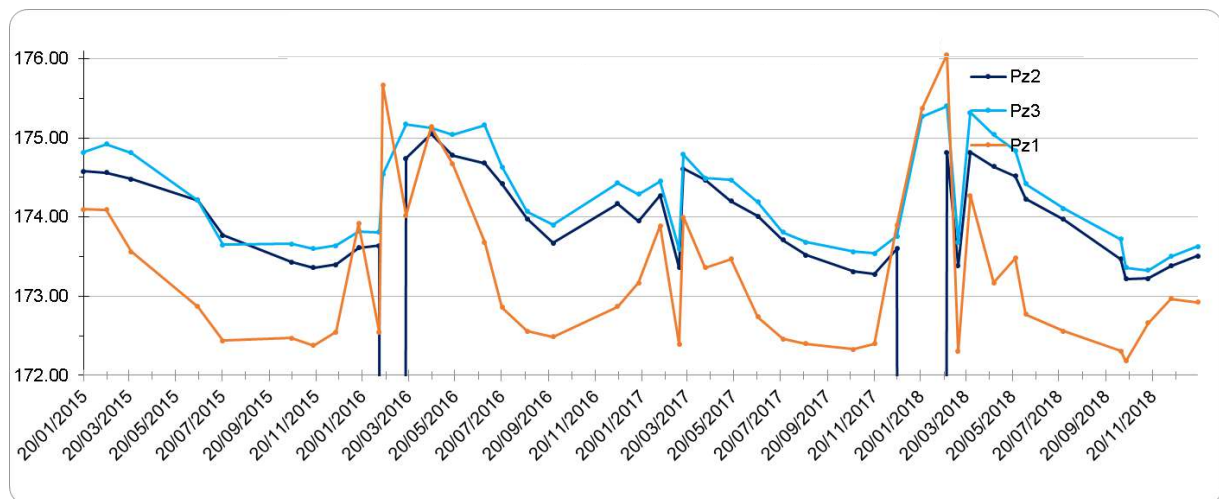


Figure 3: Variation de la cote piézométriques (m NGF) – EQIOM

Il y a une forte dépendance entre le niveau de la Loire et celui des bassins de la gravière, en communication via la nappe : il a été observé lors des épisodes de crues de la Loire, une montée du niveau de l'eau simultanément dans les bassins, par la nappe.

Un relevé topographique datant de 2017 permet de préciser la bathymétrie des bassins. Le niveau du fond est relativement homogène et se situe à une cote de 167 mNGF en moyenne. On estime que la hauteur d'eau dans la gravière varie entre 5,3 mètres et 9,1 mètres pour une moyenne à 6,8 mètres.

2.1.3.1. Réseaux hydrographiques communicants

La gravière est également connectée au fleuve par l'intermédiaire du Ruisseau des Prés (Figure 5). Ce ruisseau s'écoule en parallèle de la Loire dans un premier temps, à distance de la gravière. Puis le ruisseau s'écoule perpendiculairement à la Loire pour venir se jeter dans celle-ci, juste en aval de la gravière. Au passage, des trop-pleins des bassins (Figure 6 et Figure 7) se rejettent dans le ruisseau.

En cas d'épisode de crue, ces trop-pleins assurent une double fonction :

- ▲ A la crue, le niveau d'eau dans Loire s'élève et lorsqu'il dépasse celui du Ruisseau des Prés, on observe un écoulement inverse dans le ruisseau : l'eau remonte depuis la Loire et s'écoule en direction des bassins, participant ainsi au remplissage progressif de la gravière (en parallèle du remplissage par la nappe comme vu précédemment).

- ▲ A la décrue, lorsque le niveau de la Loire redescend en dessous de celui des bassins, l'écoulement dans le Ruisseau des Prés reprend sa direction initiale : les bassins se vident dans le ruisseau via les trop-pleins et ensuite l'eau poursuit jusqu'à la Loire.

Dans le lit majeur en rive gauche, on observe également quelques points bas qui forment des petites mares plus ou moins remplies d'eau selon le niveau de la nappe. Également, un ancien petit ruisseau assec forme un point bas, qui en cas de crue et débordement de la Loire peut devenir un axe d'écoulement préférentiel. Cet axe est situé en amont des bassins, depuis la ferme située au hameau « Les Rondes » et se jette dans la gravière, par l'angle sud du bassin B (Figure 8).

Enfin, les bassins sont connectés entre eux par des petits canaux qui permettent un équilibre des niveaux entre les bassins en cas de crue. En temps normal, ces canaux sont à sec (Figure 9).



Figure 4: P1 - Bassin C en exploitation



Figure 5: P2 - Ruisseau des Prés



Figure 6: P3 - Exutoire trop-plein bassin C



Figure 7: P4 - Exutoire trop-plein bassin A



Figure 8: P5 - Point bas en amont de l'angle sud du bassin B



Figure 9: P6 - Canal de connexion entre les bassins A et C

2.2. ASPECT REGLEMENTAIRE

Le PPRi de la Loire sur ce secteur a été approuvé au 17 janvier 2020. Les règles applicables en zones rouges A1, A2, A3 et A4 stipulent que sont autorisées :

« En dehors de l'espace de mobilité fonctionnel de la Loire, les installations de production d'électricité d'origine photovoltaïque et leurs équipements électriques (transformateurs et poste de livraison) disposées sur les plans d'eau anciennement exploités en tant que carrière, sous réserve qu'il soit démontré par une étude technique préalable que l'installation résistera à la crue de type PHEC. Cette étude devra démontrer notamment :

- 1 - que la présence de l'installation n'aggrave pas le risque inondation ;
- 2 - que l'installation n'a pas de conséquence négative sur les zones de grand écoulement des crues, à savoir les zones de vitesse élevée ;
- 3 - que l'installation résistera à une inondation de type PHEC (de par la hauteur de submersion et de par la vitesse d'écoulement de la crue) ;
- 4 - que l'installation sera dimensionnée au niveau des ancrages pour éviter tout arrachement d'une partie des composants en cas de crue.

Les équipements électriques annexes ne devront pas excéder une surface au sol de plus de 100 m² au total par installation. »

Pour rappel, les zones A1, A2, A3 et A4, telles que définies dans le PPRi, sur la zone d'étude sont présentées dans la carte ci-dessous (les couleurs du zonage ont été modifiées pour plus de lisibilité).

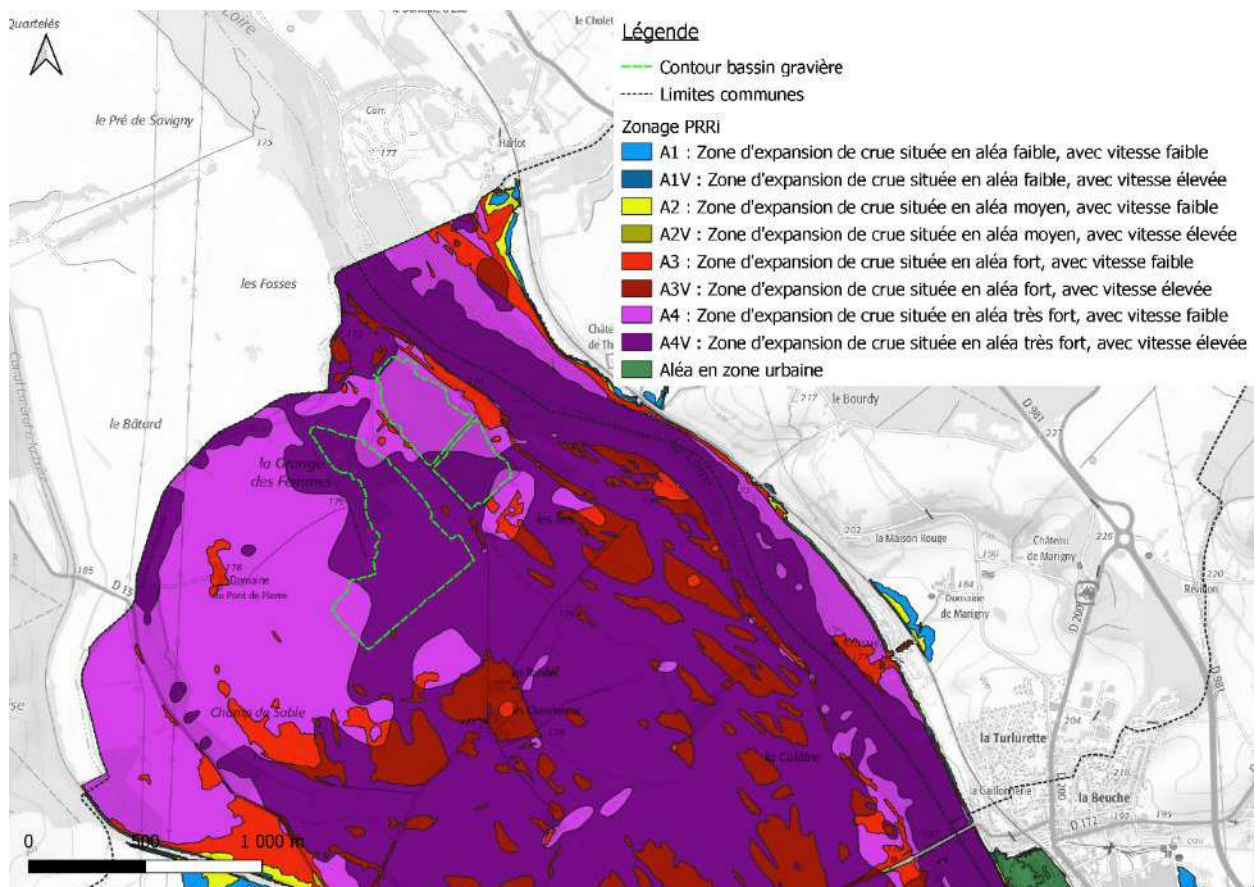


Figure 10: Zonage centré sur la zone d'étude, issu du PPRi de la Loire approuvé au 17 janvier 2020

Ainsi, l'intégralité du site se trouve concernée par les règles énoncées en page précédente. La nécessité d'une étude axée sur les questions d'hydraulique est donc bien réelle d'un point de vue réglementaire. Parmi les objectifs de la présente étude, il s'agit notamment de répondre aux 4 points soulevés par les services de l'Etat.

2.3. DEMARCHE

Après avoir pris connaissance du site et de son environnement, l'objectif premier est de vérifier que le projet de centrale photovoltaïque n'aggrave pas le risque inondation. Pour ce faire, il s'agit d'obtenir une cartographie de l'état d'inondation avec la présence de la centrale. Pour réaliser une telle carte, il a été décidé avec les services de l'Etat, de se baser sur un modèle hydraulique 2D du secteur étudié, construit par le bureau d'études ANTEA en 2016 et dont les vitesses d'écoulements ont été utilisées pour l'élaboration du PPRi. Le but est d'intégrer la centrale à ce modèle et de comparer les résultats avec centrale à ceux sans centrale (correspondant à l'état actuel). L'analyse de ces cartes doit permettre de répondre aux points 1 et 2 du règlement du PPRi.

Une fois la comparaison effectuée, il s'agit d'utiliser le modèle hydraulique avec centrale pour étudier les forces hydrauliques qui s'appliquent sur celle-ci et de les donner au bureau d'études en charge du dimensionnement des ancrages. Le but est de dimensionner les ancrages pour que la structure résiste à la crue de type PHEC et que l'intégrité de la centrale soit conservée pendant un tel événement. Les longueurs des lignes d'ancrage devront également être ajustées pour que la structure ne soit pas submergée. Enfin, les points sensibles de la centrale devront être placés hors d'eau. Cette étape doit permettre de répondre aux points 3 et 4 du règlement du PPRi.

Enfin, la prise en compte de flottants et de charriage de sédiments ou de tout corps mobilisable lors d'une crue doit être faite. Si de tels éléments venaient à s'approcher de la structure en crue, la protection de la centrale contre des dégradations doit être assurée au maximum. Cet aspect fait l'objet de la dernière étape de la présente étude pour répondre au besoin du bureau Eléments en charge de la centrale mais également aux exigences de la DDT 58 quant à la résistance de l'installation à la crue de type PHEC.

Rappels sur les limites d'un modèle :

Il convient de rappeler qu'un modèle est une représentation limitée de la réalité. Les résultats sont notamment conditionnés par la quantité et la précision des données d'entrée (topographie du lit mineur, MNT, hydrologie, informations de calage etc.). Il convient donc de ne pas s'attacher à des valeurs trop précises qui n'auraient pas de sens (en-dessous du centimètre par exemple).

3. PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE ANTEA

Sur le secteur concerné, la crue de référence du PPRi Loire correspond à la mise à jour des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) entre Gannay-sur-Loire et Imphy. Seules les vitesses d'écoulement, non disponibles dans la mise à jour des PHEC, ont été récupérées du scénario Q200 de l'étude ANTEA, afin de les croiser avec les hauteurs d'eau et donc d'obtenir une qualification de l'aléa inondation. A cette fin, le scénario Q200 a été choisi car celui-ci se rapproche le plus des Plus Hautes Eaux Connues sans toutefois les dépasser.

Un document, intitulé « Fleuve Loire à l'amont de Nevers dans le département de la Nièvre – Etude hydrologique, construction du modèle hydraulique et calage » et établi en juillet 2016, détaille la méthodologie utilisée par ANTEA pour la construction du modèle hydraulique. Les principaux éléments sont synthétisés ci-dessous. Pour plus de détails, se référer au document.

3.1. GENERALITES

Le secteur d'étude couvre le lit majeur de la Loire et de l'Aron, principal affluent. Les autres affluents remarquables sont l'Acolin, la Colâtre et l'Ixeure. Le linéaire approximatif de Loire étudié est de 46 km. Le linéaire approximatif de l'Aron étudié est de 14 km. 18 communes sont concernées par cette étude, dont les deux dernières en aval sont Chevenon en rive gauche et Sauvigny-sous-Bois en rive droite.

Le rapport de 2016 présente le bilan des phases 1, 2 et 3 de l'étude, à savoir le recueil et l'appropriation des données existantes, l'étude hydrologique, la construction du modèle hydraulique et le calage. Dans un premier temps, il s'agissait de :

- ▲ Décrire le contexte hydraulique du secteur d'étude,
- ▲ Recenser les crues historiques de la Loire et de ses principaux affluents,
- ▲ Réaliser une étude hydrologique visant à obtenir les hydrogrammes des crues caractéristiques de la Loire et de l'Aron : périodes de retour 2, 5, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 170, 200, 500 et 1000 ans.

Dans un deuxième temps, la construction du modèle hydraulique et son calage sont présentés.

3.2. LOGICIEL UTILISE

La modélisation hydraulique 2D (lit mineur et lit majeur) a été réalisée à l'aide du logiciel TELEMAC 2D conformément au cahier des charges de la DDT58.

TELEMAC 2D résout les équations de Barre de Saint-Venant en utilisant la méthode des éléments finis ou volumes finis et un maillage de calcul à éléments triangulaires variables. Il peut effectuer des simulations en régime transitoire et permanent. Ce logiciel est utilisé pour simuler des écoulements à surface libre dans les deux dimensions de l'espace horizontal. En chaque point du maillage, le programme calcule la profondeur de l'eau et les deux composantes horizontales de la vitesse.

3.3. EMPRISE DU MODELE HYDRAULIQUE

L'emprise du modèle hydraulique a été déterminée en tenant compte et en allant au-delà (marge de sécurité) des zones inondables connues (issues du PPRI avant révision) ainsi que des données topographiques disponibles. Elle est présentée en Figure 11.

Le linéaire de Loire modélisée s'étend depuis le lieu-dit « les Levêques » à Saint-Martin-des-Lais, jusqu'au lieu-dit « le Pré de Savigny » à Sermoise-sur-Loire soit un linéaire de cours d'eau de l'ordre de 56 km. Les 15 derniers kilomètres de l'affluent l'Aron sont également modélisés.

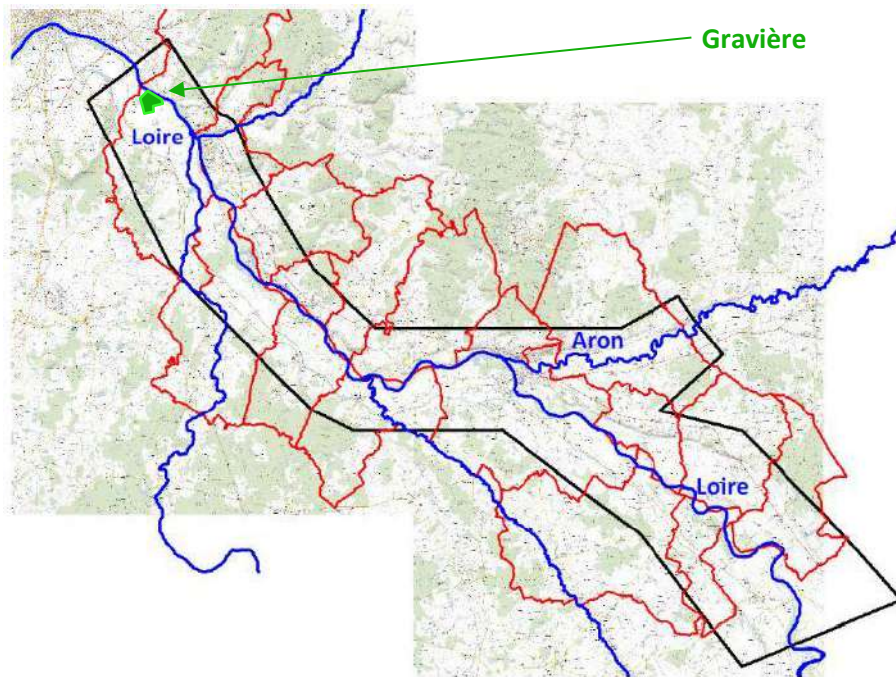


Figure 11: Emprise du modèle ANTEA en noir - Limites des communes de la zone d'étude en rouge

3.4. MAILLAGE

Les mailles ont été adaptées selon les lits mineurs mais également selon l'occupation du sol en lit majeur. Aussi, des lignes structurantes ont été intégrées au maillage afin de représenter au mieux les aménagements pouvant conditionner les écoulements. Le long de ces lignes, les tailles des mailles ont été imposées. De fait, les tailles des mailles utilisées sont :

Tableau 1: Tailles des mailles retenues

Occupation du sol	Taille de maille (m)
Lit mineur de la Loire	20
Lit mineur de l'Aron et la Vieille Loire	10
Lit majeur : Zones urbaines	10
Lit majeur : Zones d'urbanisation modérée	50
Lit majeur : Zones non urbanisées (champs, bois, etc.)	200
Lignes : Dignes et remblais	5 à 10
Lignes : Autres (voiries, merlons, ruptures de pente, etc.)	50

La topographie utilisée est issue de plusieurs sources :

- ▲ Des données du MNT LIDAR du terrain naturel et du bâti disponible sur le secteur d'étude,
- ▲ Du plan de géomètre réalisé dans le cadre de la déviation de la RD981 à Imphy,
- ▲ De la BD Alti 25m de l'IGN pour la partie non couverte par le MNT sur le lit majeur de l'Aron,
- ▲ Des profils en travers du modèle 1D Gilly-Nevers et du modèle EGRIAN pour les lits mineurs (interpolation entre les profils pour compléter le tracé).

Le maillage ainsi construit est présenté dans la figure suivante, avec la densité de maille visible et les côtes de fond en chaque point, représentées en couleurs. La figure est centrée sur l'aval du modèle, vers la gravière de Chevenon (contours des bassins représentés en pointillés).

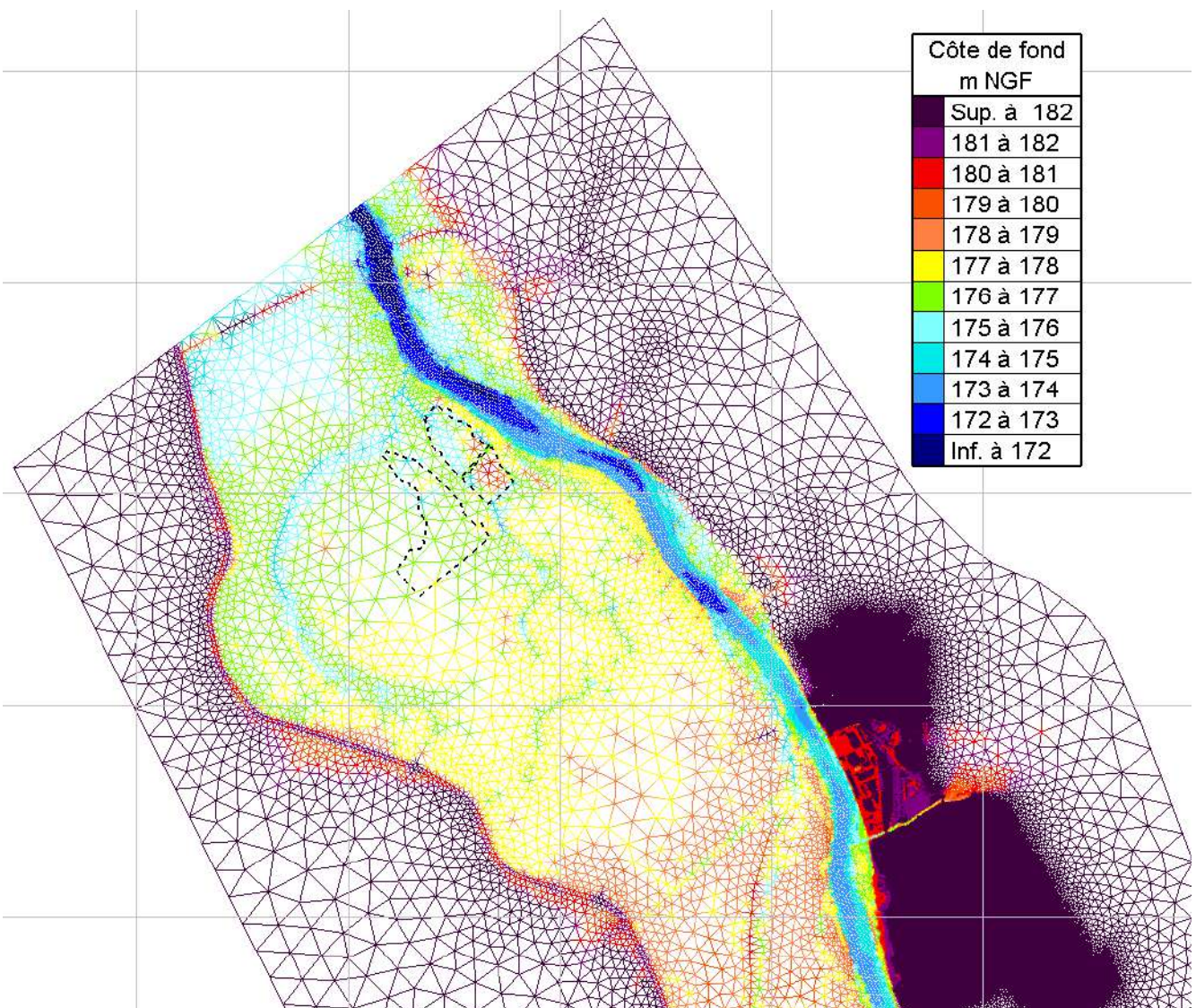


Figure 12: Maillage du modèle ANTEA avec les côtes de fond, centré sur l'aval

3.5. CONDITIONS AUX LIMITES

3.5.1. Condition amont

Les hydrogrammes de la Loire sont injectés en amont du modèle au droit du lieu-dit « Les Levêques » sur la commune de Saint-Martin-des-Lais. Les hydrogrammes de l'Aron sont injectés en amont du modèle en aval immédiat du pont de la RD169 sur la commune de Verneuil.

Une étude hydrologique détaillée dans le document a permis de déterminer ces hydrogrammes.

3.5.2. Condition aval

La condition limite aval est fixée au droit du bourg de Saint-Eloi.

Une courbe de tarage a été construite sur la base des niveaux de crues atteints à cet endroit, crues dont les débits de pointes ont pu être estimés.

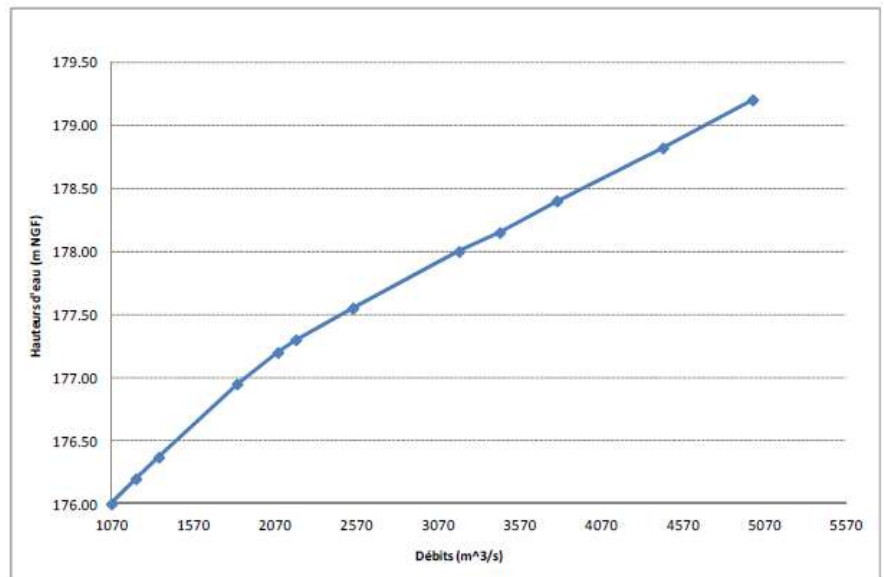


Figure 13: Courbe de tarage aval

3.6. COEFFICIENT DE RUGOSITE

Un calage a été effectué pour adapter les paramètres hydrauliques du modèle et ainsi reproduire le plus fidèlement possible les conditions d'écoulement réelles connues pour des crues historiques. Ce calage a été réalisé à l'aide de 4 crues de la Loire qui sont assez bien documentées (laises de crues, jaugeages, etc.).

A l'issue du calage, les coefficients de rugosité retenus sont :

Tableau 2: Coefficients de frottement retenus à l'issue du calage

Zone	Coefficient de Strickler K
Lit mineur Loire	20 à 40
Lit mineur Vieille Loire	30
Lit mineur Aron	20
Zones boisées	10
Prairies/cultures	20
Zones urbaines	15

3.7. UTILISATION POUR LE PROJET D'ÉLEMENTS

3.7.1. Scénario retenu

Dans le cadre du projet d'Éléments, une des préconisations de la DDT58 est que la centrale photovoltaïque doit résister à la PHEC. La plus forte crue connue correspond à la combinaison des crues historiques du 19^e siècle (1846, 1856 et 1866). Ces trois crues étant plus forte qu'une crue centennale, elles ont été retenues comme crue de référence (pour rappel, dans la réglementation des PPRi, la crue de référence doit être la crue centennale ou la PHEC si celle-ci est supérieure. C'est le cas ici). En cohérence avec la méthodologie retenue pour déterminer les vitesses d'écoulement du PPRi Loire, et à la demande de la DDT58, le scénario retenu pour la suite de l'étude est celui de la crue Q200 ans. L'hydrogramme correspondant est présenté dans la figure suivante.

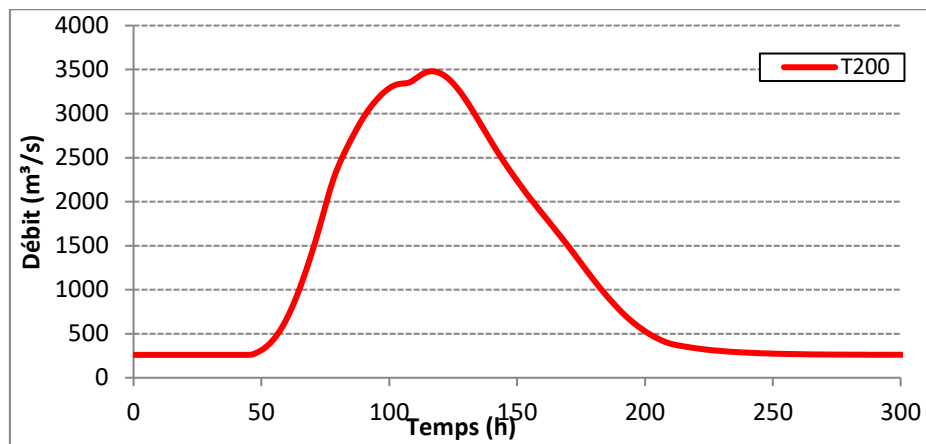


Figure 14: Hydrogramme injecté en amont du modèle de la Loire - Période de retour de 200 ans

Dans l'étude réalisée par ANTEA, le scénario de crue 200 ans est accompagné d'une rupture de digue. En effet, sur le linéaire modélisé, plusieurs digues sont présentes en bord de Loire. Afin de partir sur les mêmes hypothèses de modélisation, cet élément est conservé dans le cadre de la présente étude. La brèche modélisée est située sur la digue de Luthenay Uxeloup, sur le premier tronçon de la digue (à hauteur du lieudit Farchat). La largeur de brèche est de 150 m et descend jusqu'au TN de la zone protégée. Le temps d'ouverture est de 2h. Cette brèche est située bien en amont du site à l'étude, à environ 13 km (Figure 15).

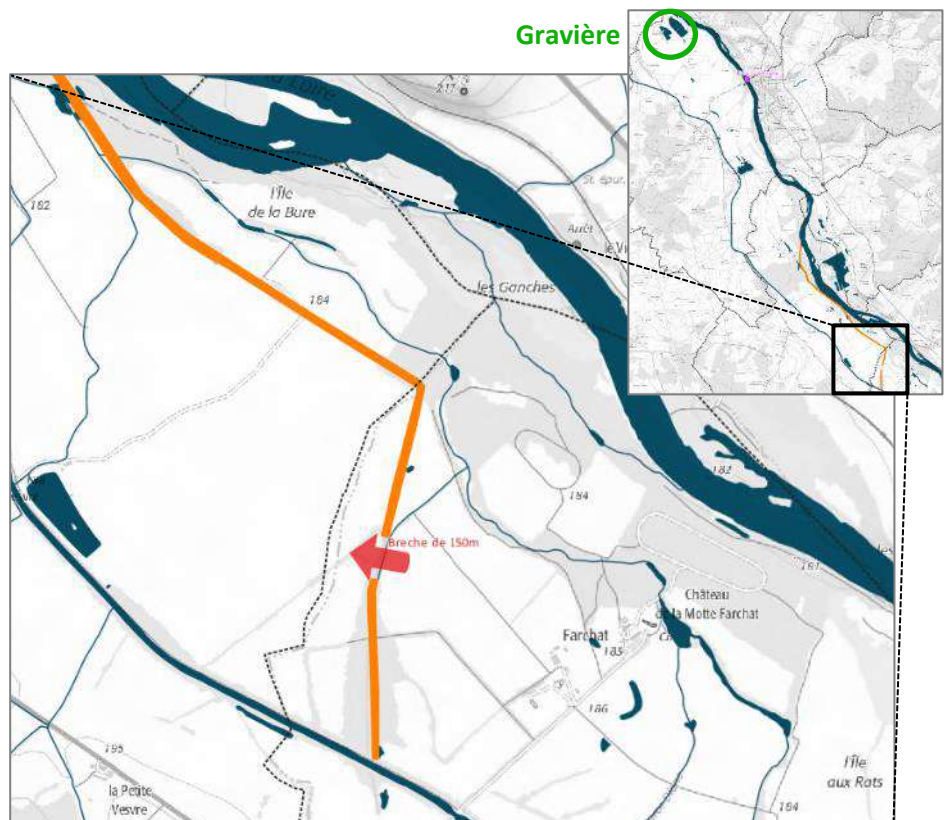


Figure 15: Localisation de la brèche modélisée

3.7.2. Lacunes du modèle

3.7.2.1. *Densité du maillage*

Comme vu précédemment, le modèle construit par ANTEA concerne un linéaire important de la Loire et de son lit majeur. Afin d'éviter des problématiques d'instabilité du modèle et des temps de calculs disproportionnés, la densité du maillage a été ajustée au mieux. Sur les zones ne présentant pas d'intérêt majeurs (absence d'enjeux notamment) il est normal que la densité du maillage ne soit pas élevée.

Ainsi, la zone concernant le projet de centrale correspondait auparavant à une zone sans enjeu, d'où le maillage proposé par ANTEA qui est à juste titre assez lâche : les mailles sont d'environ 70 mètres (de 30 mètres à 180 mètres pour les plus grandes, voir en Figure 16). Le modèle est donc correct mais il ne permet pas de représenter finement le terrain, notamment en vue d'y intégrer la centrale photovoltaïque et d'étudier ses impacts. Il est important de souligner cet élément constituant une première limite du modèle en l'état : il serait opportun de densifier le maillage au droit du site.

3.7.2.2. *Topographie*

Sur la zone de la gravière, les données topographiques disponibles et intégrées au modèle sont issues du LIDAR. Cependant, la technologie LIDAR ne permet pas de réaliser des levés bathymétriques suffisamment fiables pour être exploités. En effet, le LIDAR peut mesurer l'altitude du fond d'une surface en eau seulement lorsqu'il y a un faible tirant d'eau et que la turbidité de l'eau est faible. Dans le cas contraire, le LIDAR fournit l'altimétrie de la surface de l'eau.

Ainsi, le fond de la gravière n'a pas été correctement pris en compte dans le modèle réalisé par ANTEA. Dans la Figure 16, un extrait du maillage au niveau de la gravière permet de visualiser la topographie interpolée en chaque point. Alors que le fond de la gravière se situe à la cote de 167 mNGF environ, on observe que dans l'emprise des bassins la topographie varie entre 176 mNGF et 180 mNGF. Soit largement au-dessus. Afin de représenter au mieux la gravière et son influence sur les écoulements, il serait nécessaire d'actualiser localement la topographie.

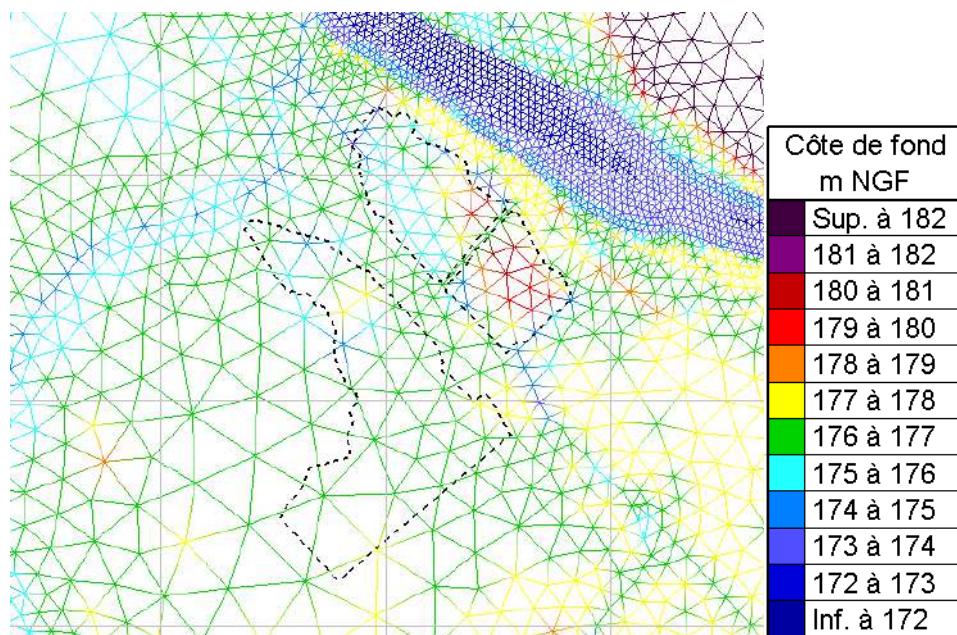


Figure 16: Maillage avec topographie au niveau de la gravière dans le modèle ANTEA

3.7.2.3. Coefficient de frottement

Comme pour la topographie, la gravière n'a pas été prise en compte localement en termes de rugosité. Le même coefficient de frottement a été appliqué dans tout le lit majeur sur ce secteur, qualifié en prairies et cultures (soit $K=20$) comme le montre la figure suivante.

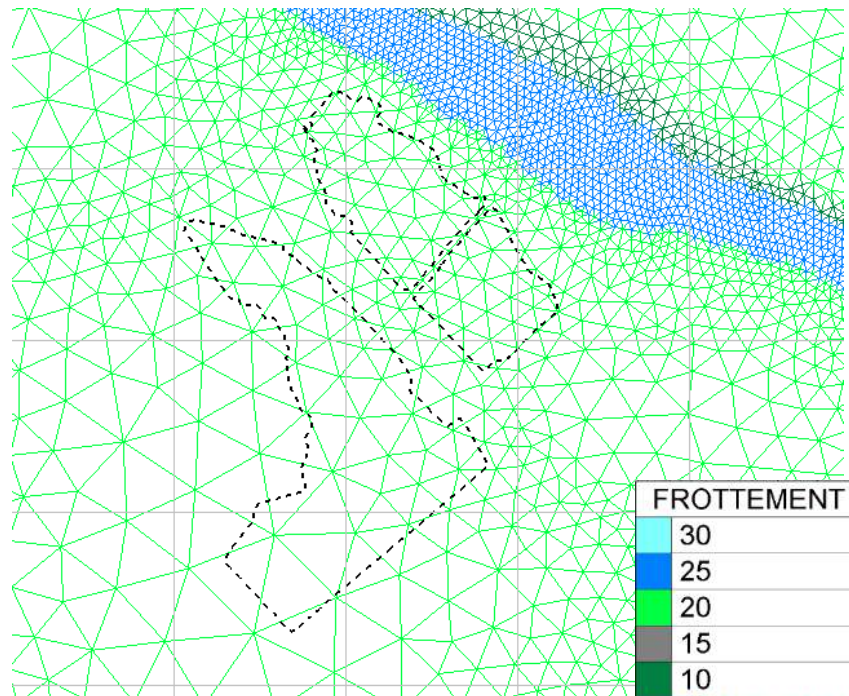


Figure 17: Maillage avec coefficient de frottement au niveau de la gravière dans le modèle ANTEA

3.7.3. Synthèse de l'analyse du modèle d'ANTEA

La DDT 58 souhaite que le modèle réalisé par ANTEA serve de base pour la réflexion sur les impacts de la centrale. Ce modèle apparaît comme une base solide sur laquelle s'appuyer dans le cadre de la présente étude : la zone traitée et les hypothèses de calculs sont pertinentes. **Cependant il possède certaines lacunes qui peuvent fausser une étude comparative de l'état actuel avec l'état futur après implantation de la centrale** : il est indispensable d'effectuer quelques ajustements du modèle, qui tendront à préciser la zone à l'étude et donc à fournir des résultats plus fins.

Dans ce contexte, malgré son exigence initiale d'utiliser le modèle ANTEA comme base, sans aucune modification, les services de l'Etat ont approuvé la démarche proposée qui consiste à modifier légèrement, et localement, le modèle pour y intégrer plus précisément la gravière. La méthode proposée consiste à modifier les points suivants :

- ▲ Densifier le maillage au droit du site à l'étude ;
- ▲ Actualiser la topographie du site ;
- ▲ Préciser les coefficients du frottement au niveau des bassins.

Le modèle ainsi actualisé et ses résultats formeront un scénario de base, de référence, qui pourra être comparé ensuite au scénario avec centrale.

Dans la suite de l'étude, les modifications effectuées sont détaillées et les résultats du modèle actualisé sont comparés à ceux du modèle ANTEA afin de quantifier et qualifier les impacts de ces modifications.

4. ACTUALISATION DU MODELE ANTEA

4.1. MODIFICATIONS

4.1.1. Densité du maillage

Dans les modèles hydrauliques, plus le maillage est dense, plus les temps de calculs sont allongés. C'est pourquoi, pour ne pas alourdir ces temps, le maillage est densifié uniquement sur le site de la gravière. De plus, l'étude portant sur cette zone, il n'est pas pertinent de densifier le maillage ailleurs.

Pour avoir une finesse des résultats sans trop allonger les temps de calculs, et en vue d'ajouter la centrale, une structure composée d'îlots de plusieurs dizaines de mètres, la densité du maillage sur le site à l'étude a été fixée avec des mailles de **10 mètres**. Cela permet de mieux représenter les variations du terrain sur et autour du site. Une illustration du maillage ainsi repris est présentée en Figure 18.

4.1.2. Topographie

Au niveau du site de la gravière, un levé terrestre a été réalisé en 2019. Il fait l'objet d'un plan topographique réalisé par GEOPLANS en date du 16/10/2019. Cette topographie intègre un levé du fond des bassins de la gravière à cette date. C'est cette topographie qui a été interpolée sur le maillage pour préciser la zone. De plus, en vue de l'extension de la gravière d'ici fin 2023 (fin de la tranche d'exploitation actuelle) la topographie a également été modifiée sur les futures zones d'excavation (sud du bassin en exploitation). Une côte de fond similaire au fond actuel de la gravière y a été interpolée (car le fond des bassins a une altitude assez constante), autour de 167 mNGF.

Le maillage interpolé avec la topographie modifiée est présenté dans la figure suivante.

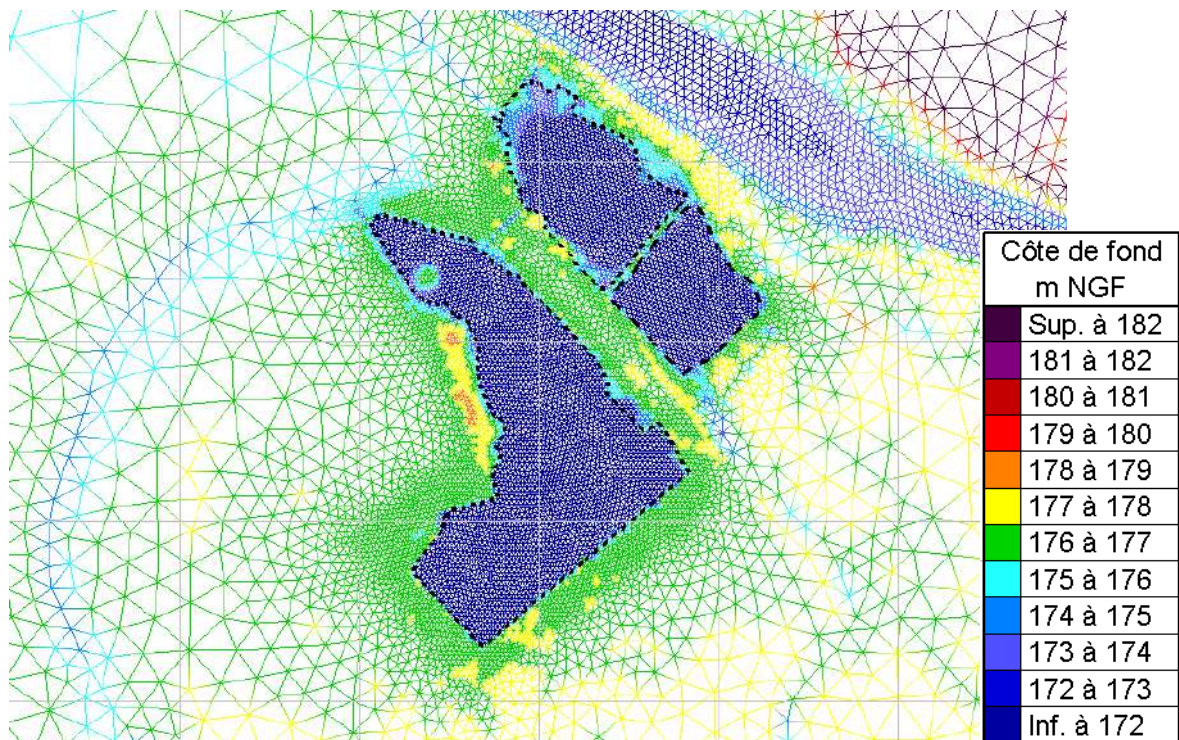


Figure 18: Maillage densifié et topographie ajustée dans le modèle actualisé

4.1.3. Coefficient de frottement

Afin de prendre en compte le fait que le site de la gravière soit des surfaces en eau, les coefficients de frottements ont été localement (à l'intérieur de l'emprise des bassins) fixés à 25 dans le maillage (correspondant au coefficient usuellement utilisé pour le lit mineur d'un cours d'eau « rugueux »).

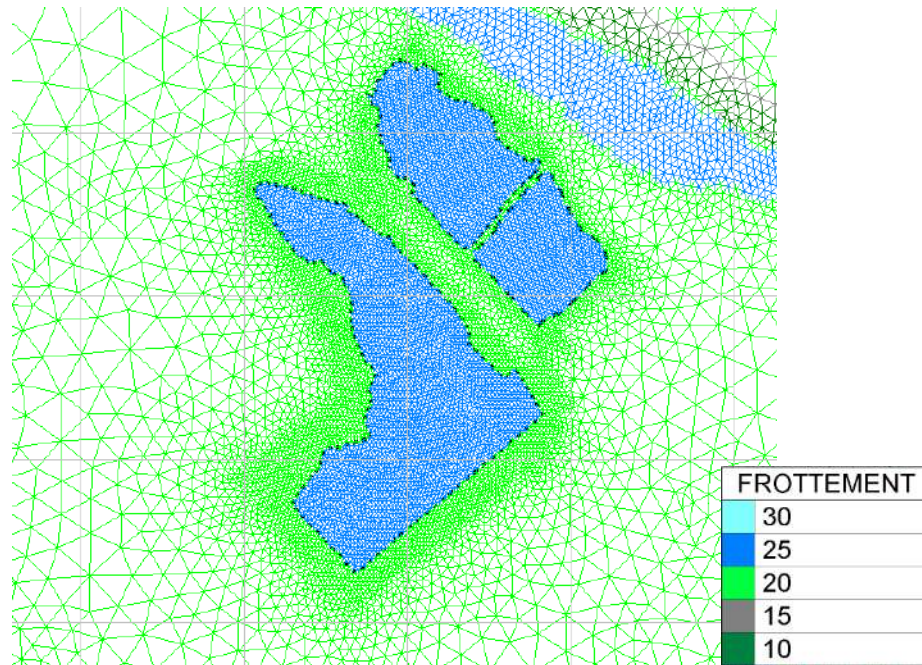


Figure 19: Maillage densifié avec coefficient de frottement dans le modèle actualisé

4.2. SYNTHÈSE DES MODÈLES UTILISÉS

La reprise du modèle ANTEA ne concerne que trois points : la densité du maillage, la topographie et les coefficients de frottements aux points du maillage situés dans la zone de la gravière. Le tableau suivant permet de synthétiser ces éléments ainsi que les hypothèses retenues pour la modélisation. Dans la suite de l'étude, un comparatif du modèle ANTEA et celui du modèle actualisé est faite, afin d'étudier l'impact de ces modifications et d'acter le choix du modèle qui servira ensuite de base pour l'étude de l'influence de la centrale photovoltaïque.

Pour alléger le texte, le terme « M.ANTEA » sera utilisé pour désigner le modèle ANTEA. Le terme « M.ACTUALISE » sera utilisé pour désigner le modèle actualisé.

Tableau 3: Synthèse des caractéristiques principales des modèles

Modèle TELEMAC 2D	Modèle ANTEA	Modèle actualisé
Scénario	Q200 ans avec brèche	
Emprise modèle	56 km de la Loire (jusqu'à Saint-Eloi) et 15km de l'Aron	
Maillage	Mailles de 30m et 70m dans la gravière	Mailles de 10m dans la gravière
Topographie	LIDAR => pas de bassin creusé dans le modèle	LIDAR + topo terrestre avec bathymétrie sur zone gravière
Rugosité	20 dans la zone de la gravière	25 dans la zone de la gravière
Condition aval	Courbe de tarage au droit de St-Eloi	

5. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LE MODELE ANTEA ET LE MODELE ACTUALISE

5.1. VISUALISATION DES RESULTATS

5.1.1. Documents graphiques


Les résultats de chaque modèle ont fait l'objet de cartographies indépendantes. Les résultats qui importent dans le cadre de cette étude sont les hauteurs d'eau maximales et les vitesses d'écoulements maximales. Ainsi, quatre cartographies ont tout d'abord été réalisées :

- ▲ Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour M.ANTEA
- ▲ Cartographie des vitesses d'écoulements maximales pour M.ANTEA
- ▲ Cartographie des hauteurs d'eau maximales pour M.ACTUALISE
- ▲ Cartographie des vitesses d'écoulements maximales pour M.ACTUALISE

Ces cartes sont présentées en annexe dans l'atlas cartographique.





5.1.2. Représentation des résultats

Concernant les hauteurs d'eau, les classes de hauteur utilisées dans l'établissement du PPRi ont été reprises avec le code couleur correspondant. Il s'agit de classes de hauteur par tranche de 50 cm :

	Moins de 0,5 m
	De 0,5 m à 1,0 m
	De 1,0 m à 1,5 m
	De 1,5 m à 2,0 m
	De 2,0 m à 2,5 m
	Plus de 2,5 m

Les cartes de hauteurs d'eau ont été réalisées à partir de l'extraction des résultats du maillage : la valeur de la surface libre maximale atteinte en chaque point du maillage a été extrapolée à l'ensemble de la zone d'étude. Ensuite, la côte du TN en tout point y été enlevée afin d'obtenir les hauteurs d'eau maximales sur toute la zone étude.

Concernant les vitesses d'écoulement, les classes de vitesse utilisées dans l'établissement du PPRi ont été reprises avec le code couleur correspondant, à savoir :

	Moins de 0,2 m/s
	De 0,2 m/s à 0,5 m/s
	De 0,5 m/s à 1,0 m/s
	Plus de 1,0 m/s

Les cartes des vitesses d'écoulement ont été réalisées à partir de l'extraction des résultats du maillage : la valeur de la vitesse maximale atteinte en chaque point du maillage a été extrapolée à l'ensemble de la zone d'étude afin d'obtenir une cartographie complète.

5.2. ANALYSE ET COMPARAISON DES RESULTATS

Pour étudier les différences entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé, les écarts de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement ont été étudiés séparément. Cela permet d'étudier plus en détail l'impact des modifications effectuées.

Remarque : Aussi, les hauteurs d'eau maximales observées n'apparaissent pas nécessairement au moment où les vitesses d'écoulements sont les plus fortes (et inversement). C'est pourquoi les deux paramètres doivent être analysés séparément, comme c'est le cas lors de la qualification du risque inondation dans les PPRi : les hauteurs d'eau maximales observées sont cartographiées puis les vitesses maximales d'écoulement. Enfin, une superposition de ces deux paramètres permet de qualifier le risque inondation, mais qui en réalité ne correspond pas forcément à un état réellement observable.

Pour analyser finement les différences entre les deux modèles, un traitement des résultats issus des deux modèles a été réalisé pour aboutir à de nouvelles cartographies :

- ▲ Différences de hauteurs d'eau en valeurs brutes entre les modèles
- ▲ Changements de classes de hauteurs d'eau entre les modèles
- ▲ Différences de vitesses d'écoulement en valeurs brutes entre les modèles
- ▲ Changements de classes de vitesses d'écoulement entre les modèles

Ces cartes sont présentées dans les pages suivantes et reprises en annexe.

Le détail de ces cartes est présenté dans les paragraphes suivants.

5.2.1. Différences en termes de hauteurs d'eau

5.2.1.1. *Documents graphiques*

Pour étudier les différences en termes de hauteur d'eau entre les deux modèles, deux cartographies ont été réalisées :

- ▲ **Une cartographie des différences de hauteurs en valeurs brutes (Figure 20)** : les hauteurs obtenues dans M.ACTUALISE ont été soustraites à celles obtenues dans M.ANTEA. Le signe permet de savoir si M.ACTUALISE induit une hausse de la hauteur (signe positif) ou une baisse de la hauteur (signe négatif). La valeur indiquée quantifie l'écart entre les deux modèles.

Ainsi, si la valeur - 0,1 m est indiquée, cela signifie que le modèle M.ACTUALISE donne une valeur de la hauteur d'eau de 0,1 m inférieure à celle donnée par M.ANTEA.

Cette carte permet donc de savoir en tout point la différence réelle de la hauteur d'eau observée.

- ▲ **Une cartographie des changements de classes de hauteurs d'eau entre les modèles (Figure 21)** : ici en chaque point (et pour chacun des deux modèles), seule la classe de hauteurs, telle que définie dans le PPRi, a été conservée. Ensuite, on a comparé entre M.ACTUALISE et M.ANTEA si la classe de hauteurs changeait.

La carte représente neufs types de changement :

- Une baisse d'une classe : M.ACTUALISE se place dans la classe du dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une baisse de deux classes : M.ACTUALISE se place deux classes en dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une baisse de trois classes : M.ACTUALISE se place trois classes en dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une baisse de quatre classes : M.ACTUALISE se place quatre classes en dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une baisse de cinq classes : M.ACTUALISE se place cinq classes en dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse d'une classe : M.ACTUALISE se place dans la classe du dessus par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse de deux classes : M.ACTUALISE se place deux classes en dessus par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse de trois classes : M.ACTUALISE se place trois classes en dessus par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse de quatre classes : M.ACTUALISE se place quatre classes en dessus par rapport à celle de M.ANTEA.

En dehors des zones colorées, la classe de hauteur est identique entre les deux modèles.

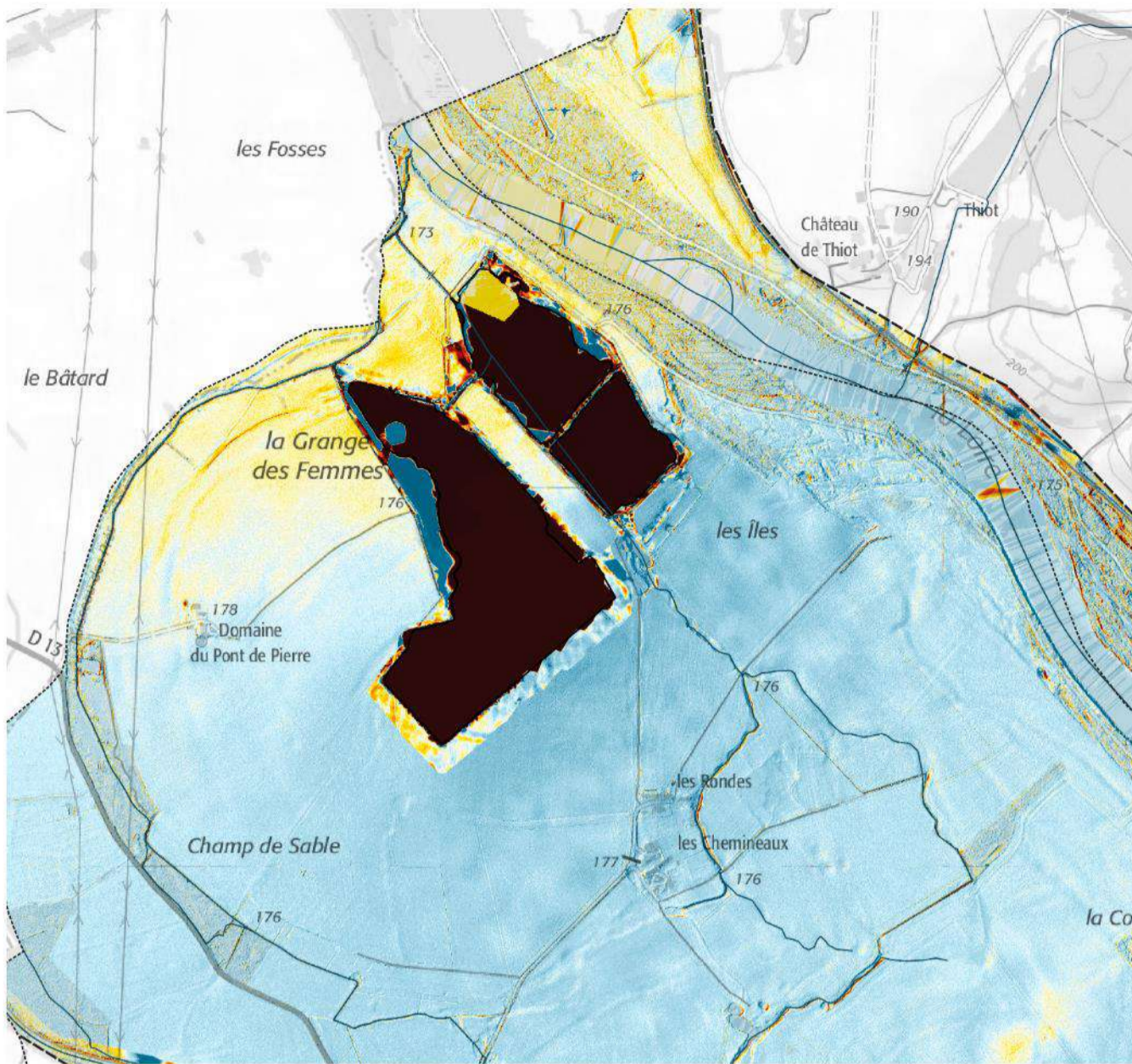
5.2.1.2. *Analyse*

L'analyse de ces cartes permet de faire le constat suivant :

- ▲ Les modifications ont un impact visible pour les hauteurs : sur presque toute la zone d'inondation on observe des changements de hauteurs d'eau (Figure 20). La modification du maillage engendre des modifications minimales dans l'interpolation de la topographie. Il en découle alors que les hauteurs d'eau sont différentes entre les modèles.
- ▲ Ces différences sont à nuancer :
 - En amont de la gravière, on observe presque systématiquement une diminution des hauteurs d'eau, de l'ordre de -1 à -5 cm avec M.ACTUALISE.
 - En aval de la gravière, on observe plutôt une hausse des hauteurs d'eau, de l'ordre de 1 à 5 cm et plus localement allant jusqu'à 10 cm, avec M.ACTUALISE.
 - Très ponctuellement des hausses ou des baisses plus importantes ont lieu mais comme expliqué précédemment, cela est dû à des différences d'interpolation de la topographie, qui est modifiée très localement.
 - Enfin au sein même de la gravière on observe de forts changements, dus à l'actualisation de la topographie et du maillage qui représente plus finement la réalité du terrain. Ainsi les hauteurs observées semblent cohérentes au regard de la géométrie du site (profondeur des bassins, remblais ...).

- ▲ Ces changements de hauteurs, bien que généralisés à l'ensemble de la zone d'inondation n'impliquent que très peu de changements de classes de hauteurs. Comme le montre la Figure 21, les changements de classes sont minimales hors de la gravière :
 - En amont de la gravière, on observe très ponctuellement des baisses d'une classe de hauteurs (en cohérence avec la Figure 20 où on observe sur cette zone des baisses de hauteurs).
 - En aval de la gravière, on observe très ponctuellement des hausses d'une classe de hauteur (en cohérence avec la Figure 20 où on observe sur cette zone des hausses de hauteurs).
- ▲ Les changements notables en termes de classes de hauteurs d'eau ont donc lieu au sein même de la gravière :
 - On observe naturellement une hausse de classes sur la zone exploitée depuis le levé LIDAR et donc creusée avec M.ACTUALISE (en rouge dans la Figure 21).
 - D'autre part, on observe une importante diminution des classes de hauteurs d'eau sur les zones en bordure de bassin actuellement occupées par des remblais, zones où la topographie a également été modifiée (en bleu foncé dans Figure 21).

Dans la gravière, M.ACTUALISE permet d'ajuster les hauteurs d'eau pour correspondre à un état réel. Les implications des modifications opérées dans le modèle sont assez minimales en termes de hauteurs hors du site.



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA**
Q200 ans avec brèche

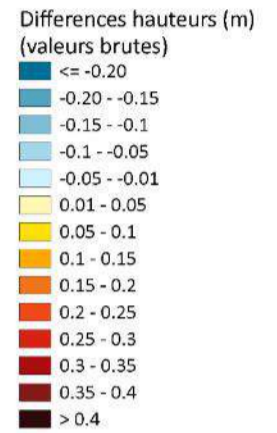
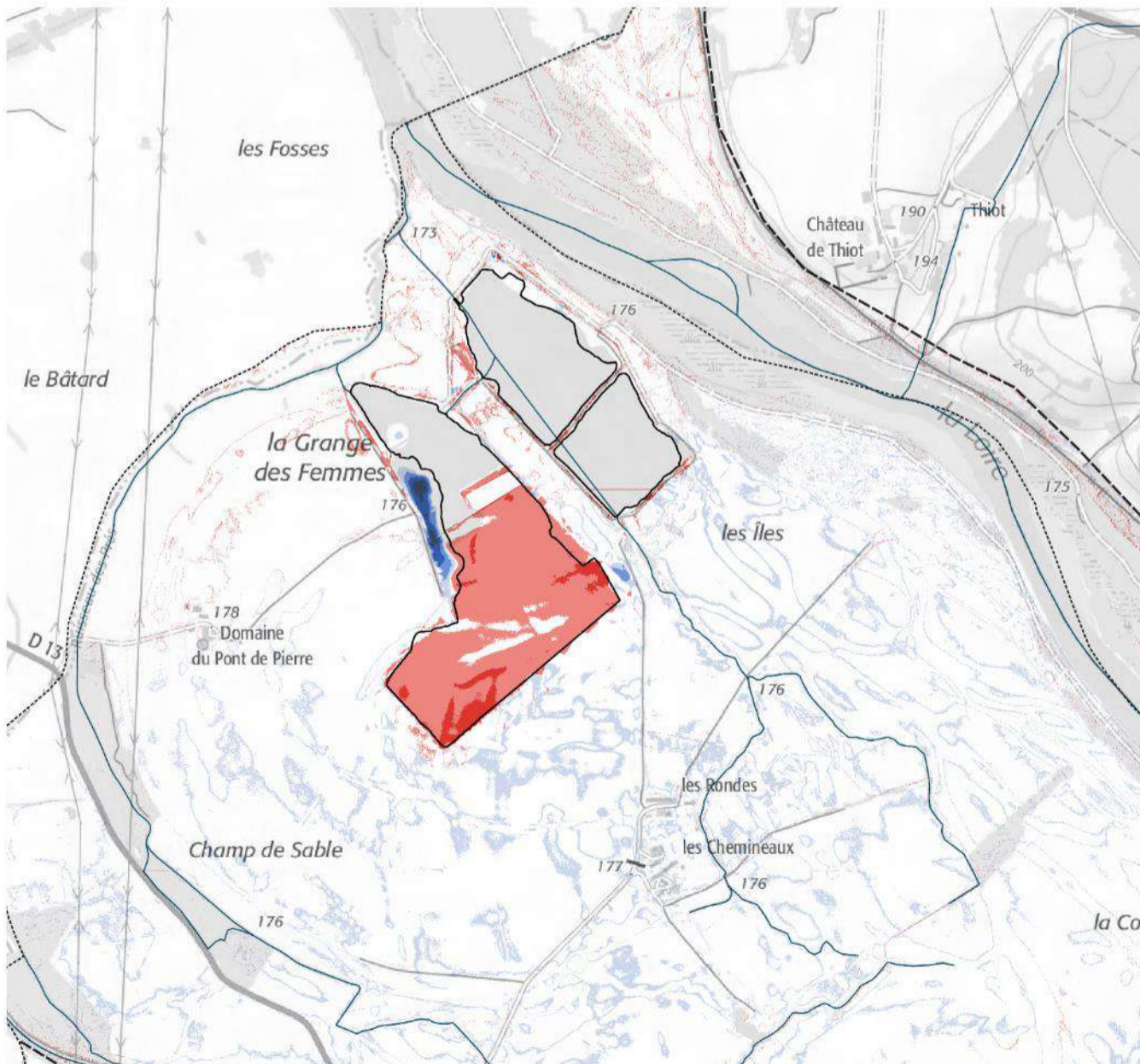


Figure 20: Différences de hauteurs d'eau observées entre M.ACTUALISE et M.ANTEA



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS GRAVIERE -
MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA**
Q200 ans avec brèche



Figure 21: Changements de classes de hauteurs observés entre M.ACTUALISE et M.ANTEA

5.2.2. Différences en termes de vitesses d'écoulement

5.2.2.1. *Documents graphiques*

Pour étudier les différences en termes de vitesses d'écoulement entre les deux modèles, deux cartographies ont été réalisées :

- ▲ **Une cartographie des différences de vitesses en valeurs brutes (Figure 22)** : les vitesses obtenues dans M.ACTUALISE ont été soustraites à celle obtenues dans M.ANTEA. Le signe permet de savoir si M.ACTUALISE induit une hausse de la vitesse (signe positif) ou une baisse de la vitesse (signe négatif). La valeur indiquée quantifie l'écart entre les deux modèles.

Ainsi, si la valeur - 0,1 m/s est indiquée, cela signifie que M.ACTUALISE donne une valeur de la vitesse d'écoulement de 0,1 m/s inférieure à celle donnée par M.ANTEA.

Cette carte permet donc de savoir en tout point la différence réelle de la vitesse d'écoulement observée.

- ▲ **Une cartographie des changements de classe de vitesse d'écoulement entre les modèles (Figure 23)** : ici en chaque point (et pour chacun des deux modèles), seule la classe de vitesses, telle que définie dans le PPRi, a été conservée. Ensuite, on a comparé entre M.ACTUALISE et M.ANTEA si la classe de vitesses changeait.

La carte ne représente que quatre types de changement :

- Une baisse d'une classe : M.ACTUALISE se place dans la classe du dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une baisse de deux classes : M.ACTUALISE se place deux classes en dessous par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse d'une classe : M.ACTUALISE se place dans la classe du dessus par rapport à celle de M.ANTEA ;
- Une hausse de deux classes : M.ACTUALISE se place deux classes en dessus par rapport à celle de M.ANTEA.

Aucun autre type de changement n'a été observé : en dehors des zones colorées, la classe de vitesses est identique entre les deux modèles.

5.2.2.2. *Analyse*

L'analyse de ces cartes permet de faire le constat suivant :

- ▲ Les modifications ont également un impact visible pour les vitesses et, comme pour les hauteurs, sur presque la totalité du champ d'inondation (Figure 22). Pour les mêmes raisons (la modification du maillage engendre des modifications minimales dans l'interpolation de la topographie) il en découle alors que les vitesses d'écoulement sont différentes entre les modèles.

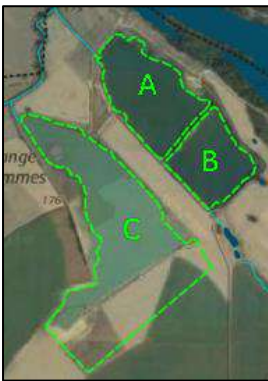
▲ Ces différentes sont à nuancer :

- A distance de la gravière, c'est-à-dire : en amont du hameau « Les Rondes », au niveau de la Loire et à l'Est du Ruisseau des Prés, les changements de vitesses sont minimes. Ils sont compris entre -0.05 m/s et 0.05 m/s.
- En se rapprochant de la gravière, on observe des différences plus marquées. En amont immédiat des bassins, les vitesses sont augmentées jusqu'à 0.2 m/s (en jaune foncé). A l'Est de la gravière on observe plutôt des diminutions des vitesses, allant jusqu'à -0.3 m/s (en bleu claire à azur). Enfin, à l'aval des bassins, on observe une augmentation des vitesses allant de 0.1 m/s à 0.5 m/s localement (en jaune, orange et rouge). Ce changement s'explique par la topographie mieux prise en compte dans M.ACTUALISE qui permet donc de représenter les fortes vitesses à la sortie des bassins.

▲ C'est au sein de la gravière où les différences sont les plus importantes :

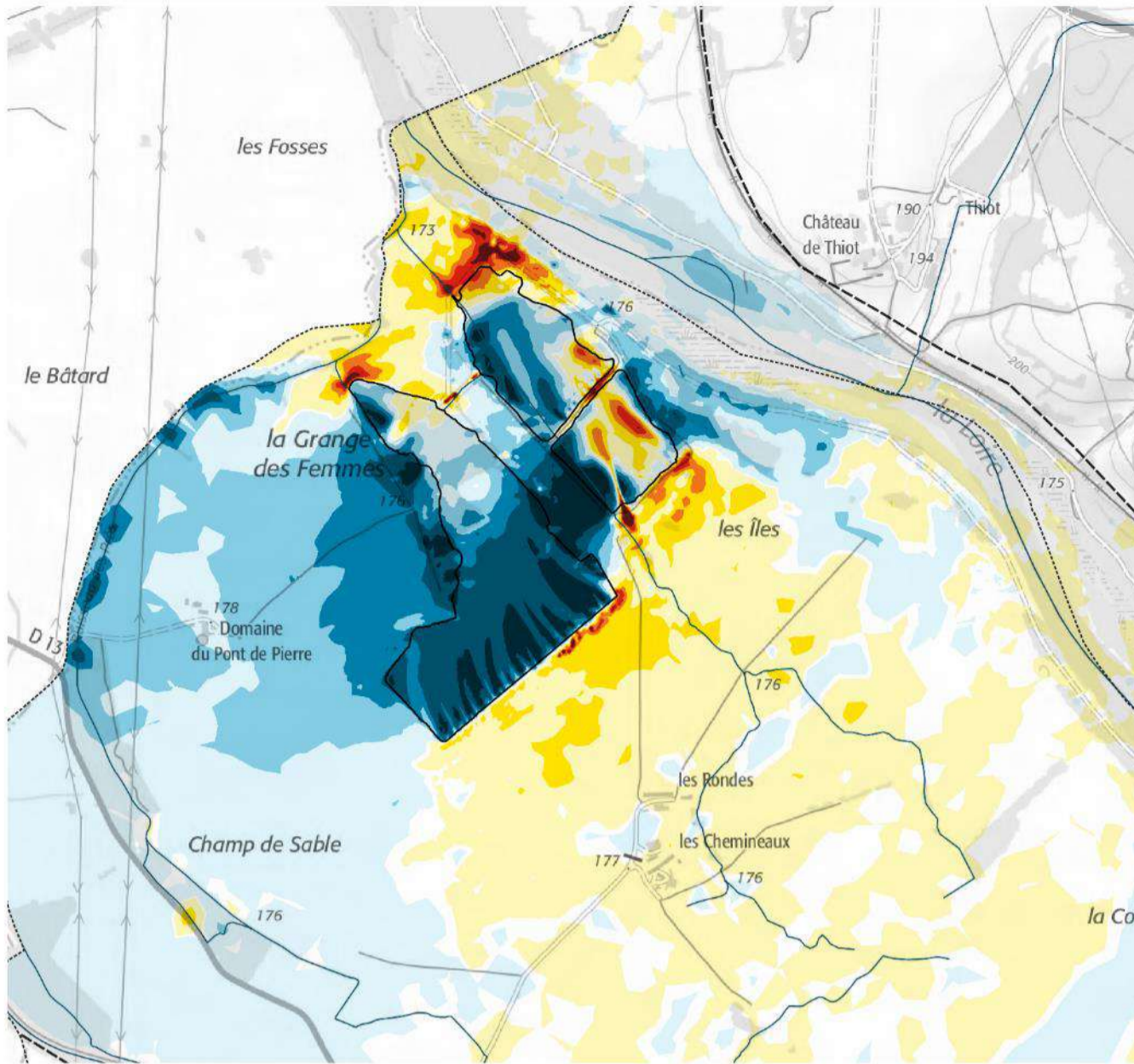
- Les vitesses sont fortement ralenties dans le bassin C qui a été creusé et où le coefficient de frottement a été ajusté. On observe bien les trainées bleu foncé qui représentent un ralentissement des vitesses à l'entrée dans la gravière.
- Dans le bassin B, en revanche on observe une accélération des vitesses dans M.ACTUALISE. Ici encore la topographie intégrée dans M.ANTEA était très élevée, ce qui avait pour incidence de diriger les écoulements sur les côtés. En rétablissant la bonne topographie, on a donc un abaissement des vitesses sur les bords (en bleu foncé) et une augmentation au centre (en jaune, orange et rouge). Le champ des vitesses est plus homogène dans le bassin.
- Enfin, on observe une forte augmentation des vitesses à l'entrée du bassin B, dans l'angle Sud (en rouge). Il s'agit du point bas, en assec, présenté en page 11 et en Figure 8. C'est un axe d'écoulement préférentiel qui a donc tendance à concentrer les écoulements et donc est le lieu de vitesses plus élevées qu'en dehors. Cet élément est ainsi mieux représenté avec M.ACTUALISE.

Pour rappel



- ▲ En termes de changements de classes de vitesses, la carte en Figure 23 montre bien que ces changements sont pratiquement tous situés dans la gravière ou à proximité immédiate. Quelques zones localisées sont concernées par une hausse d'une classe de vitesses (en rouge). Sur le site de la gravière, les changements de classes opérés permettent une meilleure appréciation des vitesses.

Les implications des modifications opérées dans le modèle sont donc minimes en termes de vitesses hors de la gravière.



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES DE VITESSES
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche**

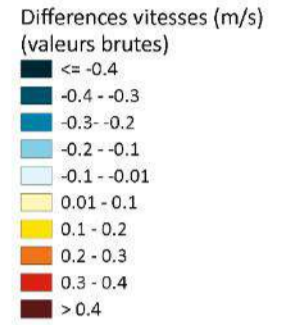
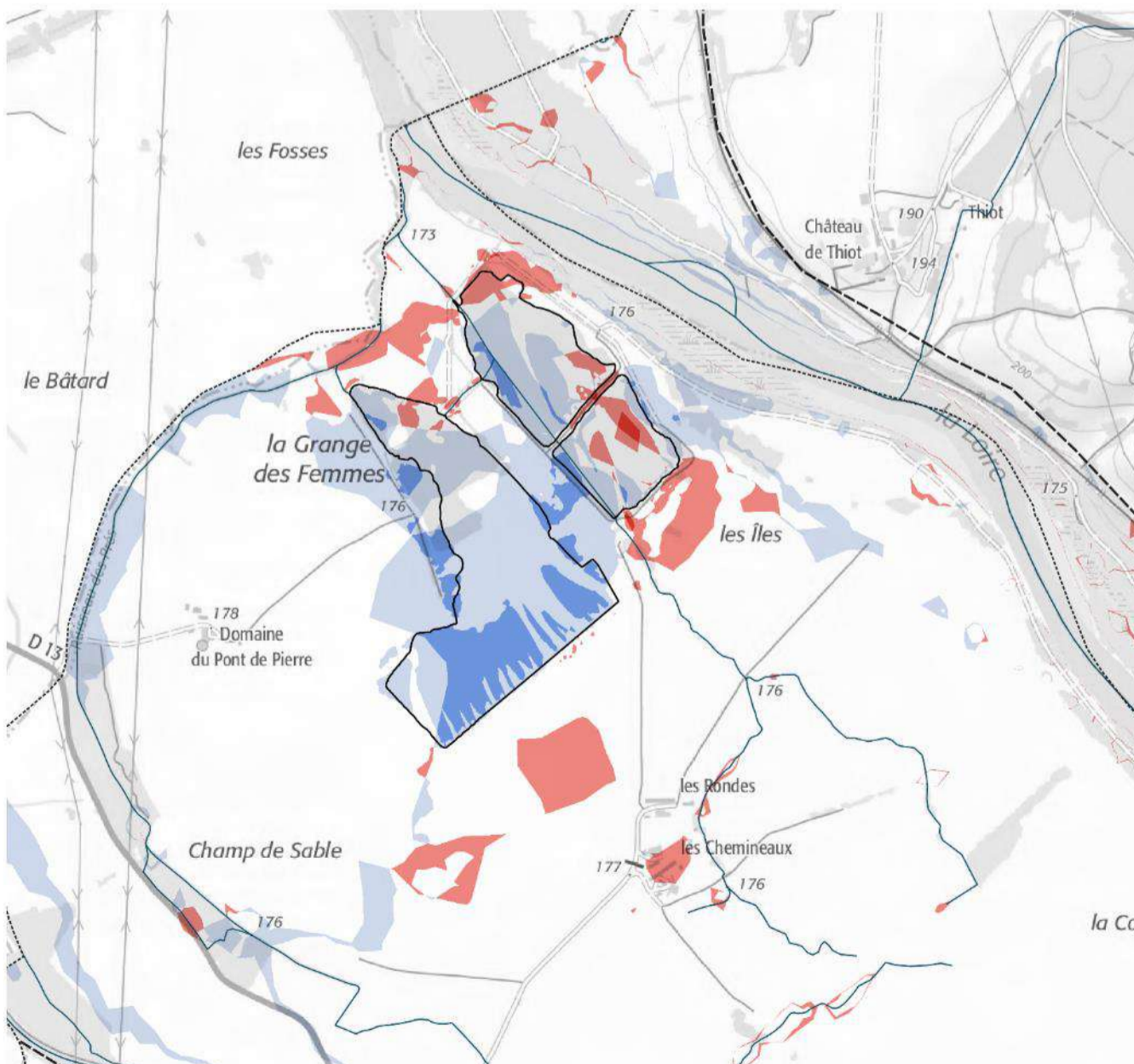


Figure 22: Différences de vitesses d'écoulement observées entre M.ACTUALISE et M.ANTEA



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES GRAVIERE -
MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche**

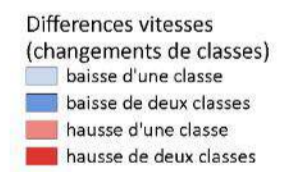


Figure 23: Changements de classes de vitesses observés entre M.ACTUALISE et M.ANTEA

5.3. SYNTHÈSE DE L'ACTUALISATION DU MODÈLE ANTEA

L'analyse a montré, tant sur les hauteurs d'eau que sur les vitesses d'écoulements que l'actualisation du modèle réalisé par ANTEA n'engendrait pas de changements majeurs. Les seuls changements notables ont lieu au sein même de la gravière, ce qui semble logique puisque c'est précisément à cet endroit que les modifications du modèle ont été faites, tendant à préciser la situation actuelle. En dehors de la gravière, les changements sont mineurs. De plus, une grande partie, ces changements sont une diminution de la hauteur d'eau et/ou de la vitesse d'écoulement, ce qui n'implique donc pas une aggravation de la qualification du risque (mais au contraire une diminution).

Les principaux éléments de la comparaison des résultats entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé sont donc :

- ▲ Des diminutions locales des vitesses d'écoulements et des hauteurs d'eau ;
- ▲ Pas de changement de classe de hauteurs d'eau en dehors de la gravière ;
- ▲ De faibles changements de classe de vitesses d'écoulement localisés à proximité de la gravière ;
- ▲ De forts changements au sein même de la gravière mais qui permettent une connaissance plus fine des hauteurs et des vitesses.

Fort de ce constat, il paraît opportun de retenir le modèle actualisé comme modèle référence pour la suite de l'étude. Les résultats issus de la modélisation avec implantation de la centrale pourront donc être comparés avec ceux issus du modèle actualisé pour effectuer une analyse pertinente.

6. MODELISATION AVEC CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE

6.1. PLAN DU PROJET DE CENTRALE

Dans le cadre de son projet et en concertation avec les différents acteurs impliqués, la société Eléments a réalisé un plan de projet de la centrale photovoltaïque sur le site de la gravière. Il s'agit du plan qui va servir de référence pour l'étude hydraulique et la construction du modèle avec centrale.

Le plan est présenté en Figure 25 en page suivante.

Le projet de centrale est composé des éléments principaux suivants :

- ▲ 5 îlots de flotteurs : 1 îlot sur le bassin A, 1 îlot sur le bassin B et 3 îlots répartis sur le bassin C, avec leurs lignes d'ancrages.
- ▲ Quelques zones aménagées : voiries, clôtures, transformateur, zones de chantier provisoires.
- ▲ Protections « anti-embâcles », développées au paragraphe 7 en page 45.

6.2. INTEGRATION AU MODELE

Le logiciel utilisé pour les modélisations est TELEMAC 2D. Il permet de simuler des écoulements dans un maillage en deux dimensions. Les possibilités pour intégrer une structure flottante telle qu'imaginée par Eléments sont limitées, puisque les écoulements seront plutôt en trois dimensions.

Etant donné la petite taille de certains éléments du projet ne permettant pas d'être pris en compte dans le modèle qui possède des mailles de 10 mètres, seuls les îlots vont être intégrés dans la modélisation. Il s'agit de plus des seuls éléments pouvant engendrer de fortes perturbations des écoulements.

L'intégration de la structure au modèle se traduit donc par une modification du coefficient de frottement au droit des îlots. Par soucis de sécurité, on impose un coefficient de frottement extrême pour simuler une forte rugosité induite par la présence des îlots. On choisit un coefficient de Strickler égale à 1 (Figure 24).

Cette valeur se veut pessimiste, mais elle a l'avantage d'étudier localement les vitesses maximales qui pourraient avoir lieu sur les côtés de la structure et donc auxquelles elle devra résister.

Dans la réalité, le coefficient de frottement est certes réduit aux abords de la structure, en surface, mais en profondeur les écoulements seront moins perturbés et donc la répartition de vitesse devrait être plus homogène à l'échelle du site.

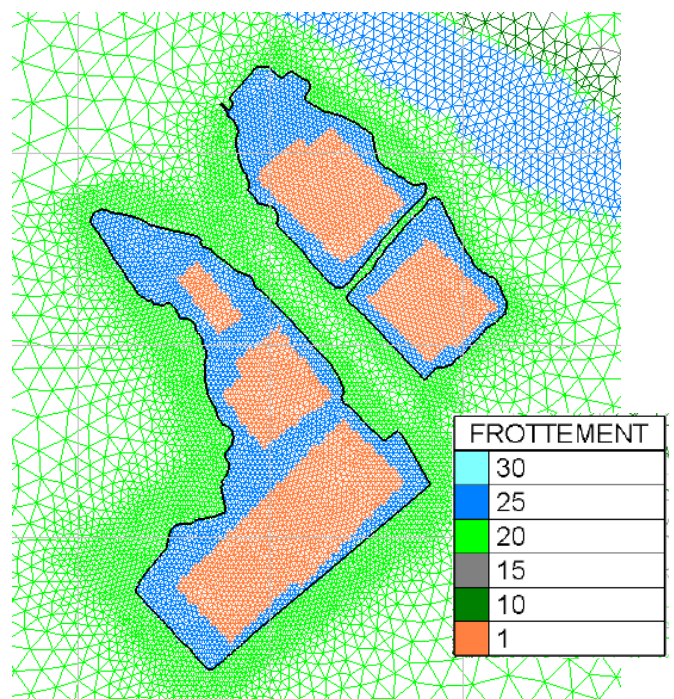


Figure 24: Coefficients de frottement dans le modèle avec centrale

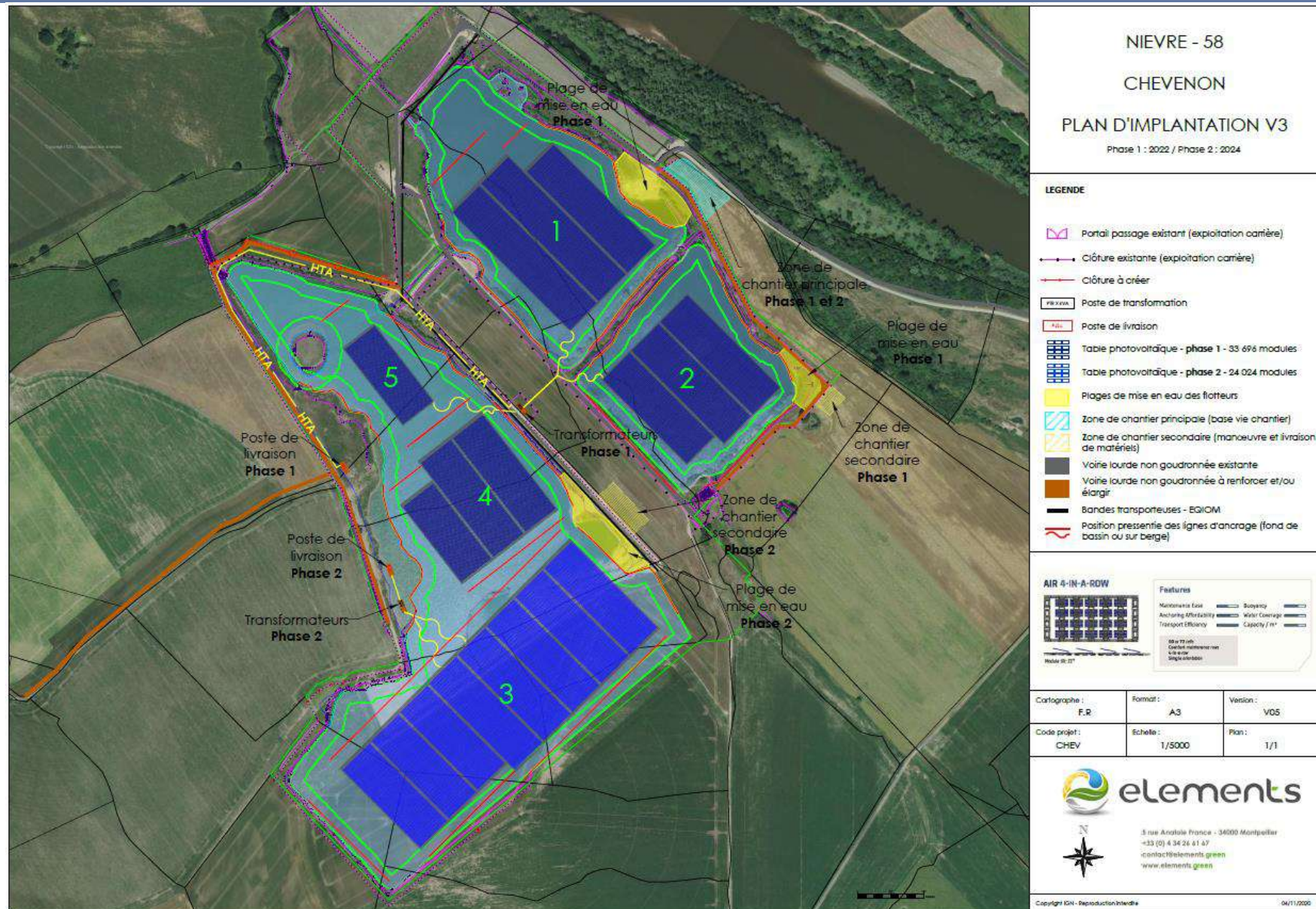


Figure 25: Plan de projet d'implantation de la centrale établi par Eléments, au 4 novembre 2020

6.3. RESULTATS

Pour permettre une comparaison aisée avec les résultats obtenus dans le cadre du modèle actualisé auxquels seront comparés les résultats du modèle avec centrale, les résultats sont présentés sous le même format :

- ▲ Une cartographie des hauteurs d'eau avec les mêmes classes et codes couleurs que dans le cadre du PPRi et présentées en page 23 ;
- ▲ Une cartographie des vitesses d'écoulements avec les mêmes classes et codes couleurs que dans le cadre du PPRi et présentées en page 23.

Ces cartes sont présentées en annexe.

Dans la suite du rapport le terme M.CENTRALE désigne le modèle avec centrale.

6.4. IMPACT DE LA CENTRALE SUR LE RISQUE INONDATION

6.4.1. Analyse et comparaison des résultats modèles sans et avec centrale

Pour étudier les impacts de la centrale sur le risque inondation comme proposé dans la méthodologie décrite en page 13, les résultats du modèle avec centrale sont comparés avec ceux du modèle sans centrale. Le modèle sans centrale correspond au modèle actualisé, qui sert de référence pour caractériser l'état actuel, comme vu précédemment.

Pour étudier les différences entre ces modèles, les écarts de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement ont été étudiés séparément. Cela permet d'étudier plus en détail l'impact des modifications effectuées.

Pour analyser finement les différences entre les deux modèles, un traitement des résultats issus des deux modèles a été réalisé pour aboutir à de nouvelles cartographies :

- ▲ Différences de hauteurs d'eau en valeurs brutes entre les modèles
- ▲ Changements de classes de hauteurs d'eau entre les modèles
- ▲ Différences de vitesses d'écoulement en valeurs brutes entre les modèles
- ▲ Changements de classes de vitesses d'écoulement entre les modèles

Ces cartes sont disponibles dans les pages suivantes et reprises en annexe.

Le détail de l'analyse de ces cartes est présenté dans les paragraphes suivants.

6.4.1.1. *Différences en termes de hauteurs d'eau*

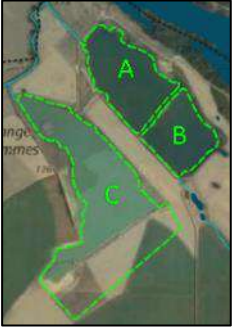
a. Documents graphiques

La méthodologie pour l'élaboration de ces cartes et les légendes associées sont identiques à celles développées dans la comparaison entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé. Pour revenir sur ces points, se référer au paragraphe 5.2.1.1 Documents graphiques en page 24.

b. Analyse

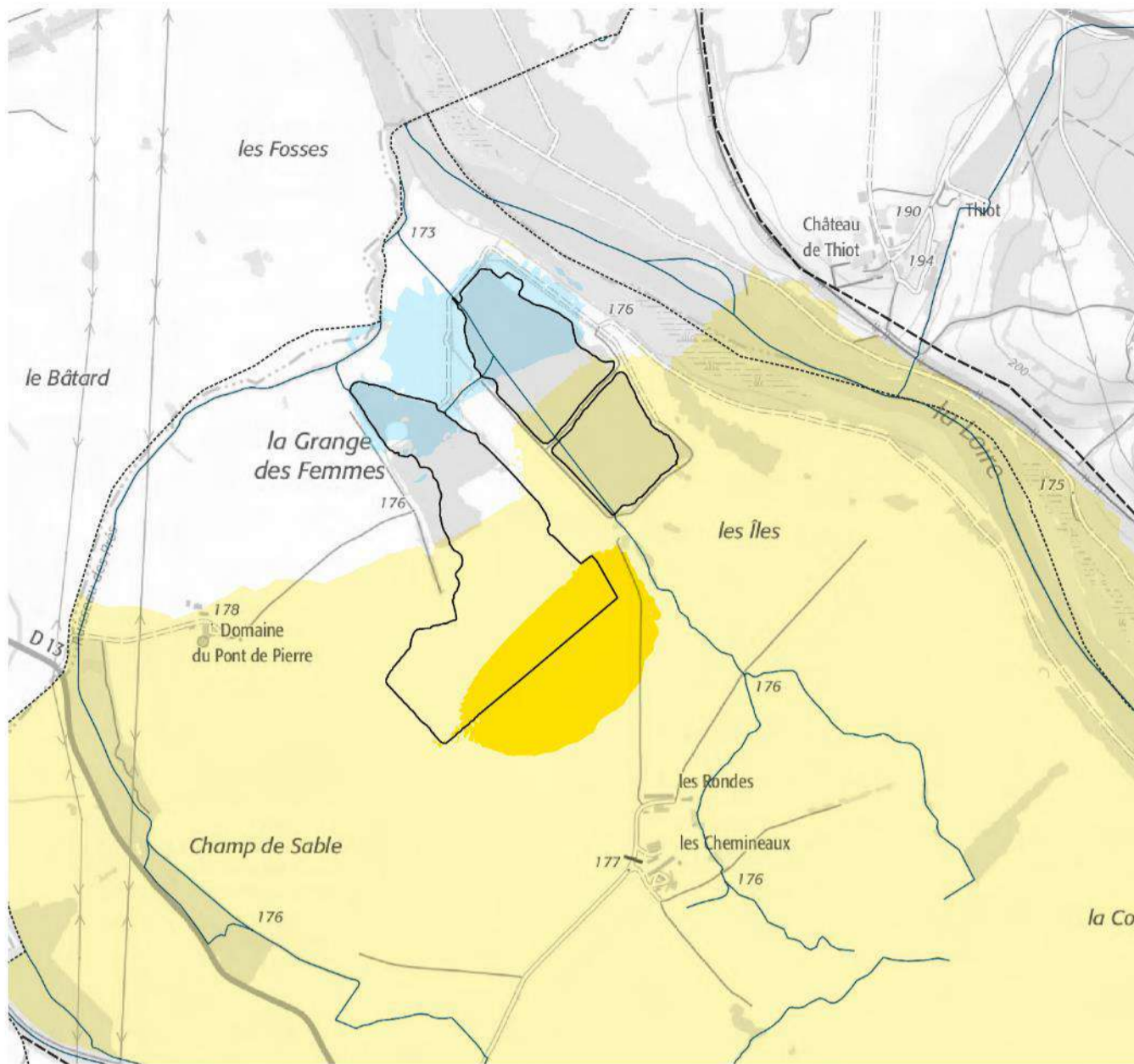
L'analyse de ces cartes permet de faire le constat suivant :

Pour rappel



- ▲ La présence de la centrale a un impact visible pour les hauteurs, jusqu'au droit de Imphy. Cependant, entre cette limite amont et jusqu'au niveau de la moitié des bassins de la gravière, il s'agit d'une hausse des hauteurs d'eau de 1 à 5 cm au maximum (en jaune pâle sur la Figure 26).
- ▲ Localement, en amont du bassin C, on observe toute une zone (en jaune foncé sur la Figure 26) où la différence de hauteurs est plus importante : une hausse d'au maximum 10 cm. Cette hausse est due à un ralentissement de l'écoulement à cet endroit, comme le montre les cartes d'analyse des vitesses dans le paragraphe suivant.
- ▲ Enfin, on observe une légère baisse des hauteurs d'eau, de -1 à -5 cm (en bleu claire sur la Figure 26) qui est localisée sur l'aval des bassins.
- ▲ En dehors de ces zones, il n'y a pas d'impact de la centrale sur les hauteurs d'eau.
- ▲ En termes de classes de hauteurs d'eau, la carte présentée en Figure 27 montre clairement que les différences détaillées ci-dessus sont minimales et n'engendrent que très localement une hausse d'une classe de hauteurs pour l'amont de la gravière ou une baisse à l'aval. Pour mieux se rendre compte de l'impact négligeable de la centrale à distance, la même cartographie que la Figure 27 est disponible en Figure 30 mais avec une échelle plus grande, qui permet de voir tout le lit majeur jusqu'à Imphy.

Les impacts en termes de hauteurs sont donc très minimales.



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAÏQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

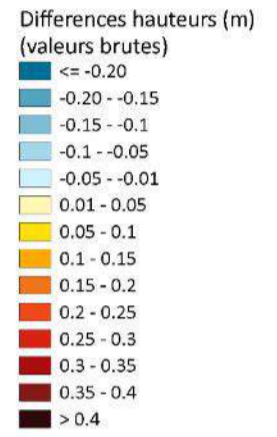
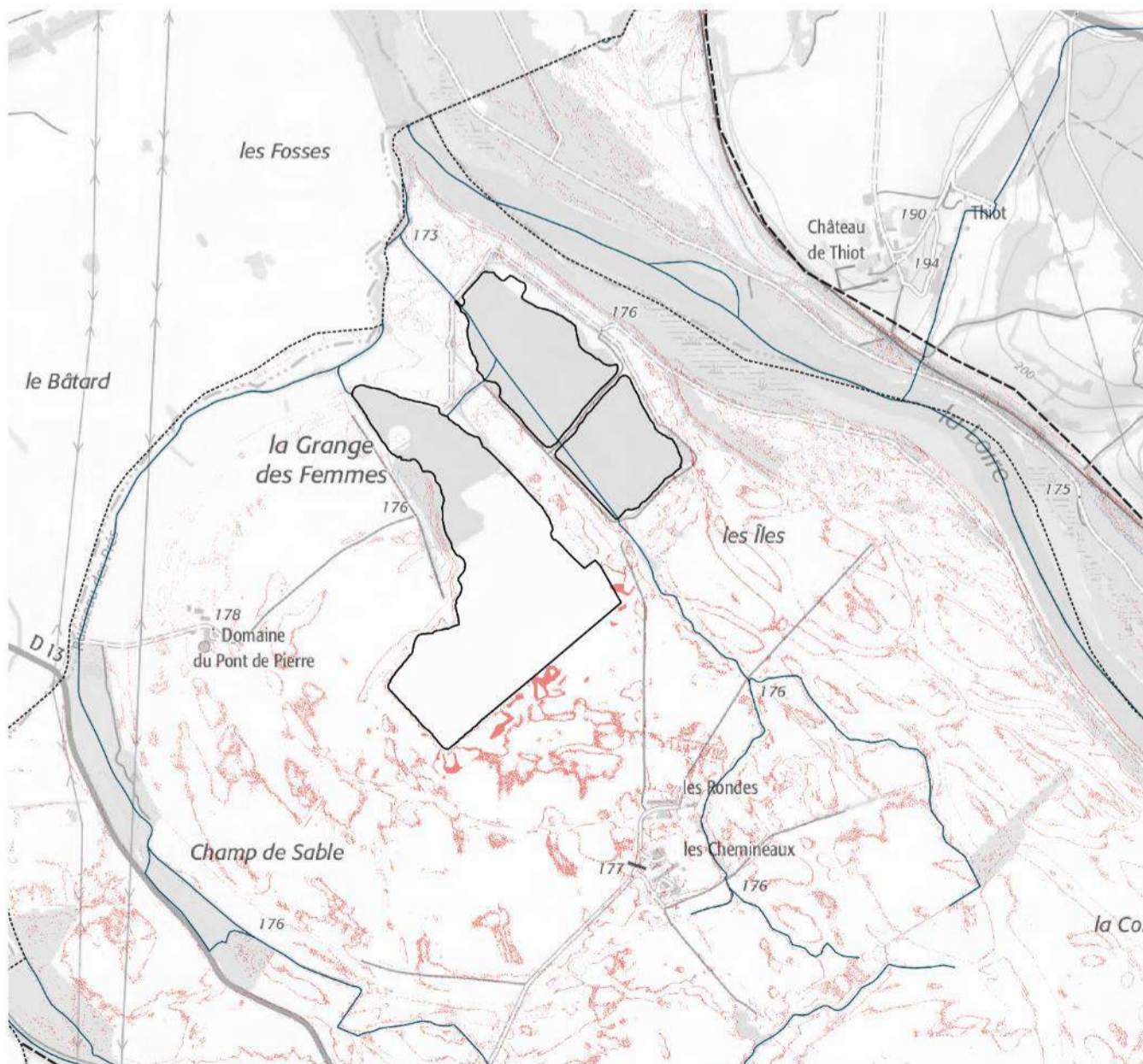


Figure 26: Différences de hauteurs d'eau observées entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAÏQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS GRAVIERE -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche



Figure 27: Changements de classes de hauteurs observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE

6.4.1.2. Différences en termes de vitesses d'écoulement

a. Documents graphiques

La méthodologie pour l'élaboration de ces cartes et les légendes associées sont identiques à celles développées dans la comparaison entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé. Pour revenir sur ces points, se référer au paragraphe 5.2.2.1 Documents graphiques en page 28.

b. Analyse

L'analyse de ces cartes permet de faire le constat suivant :

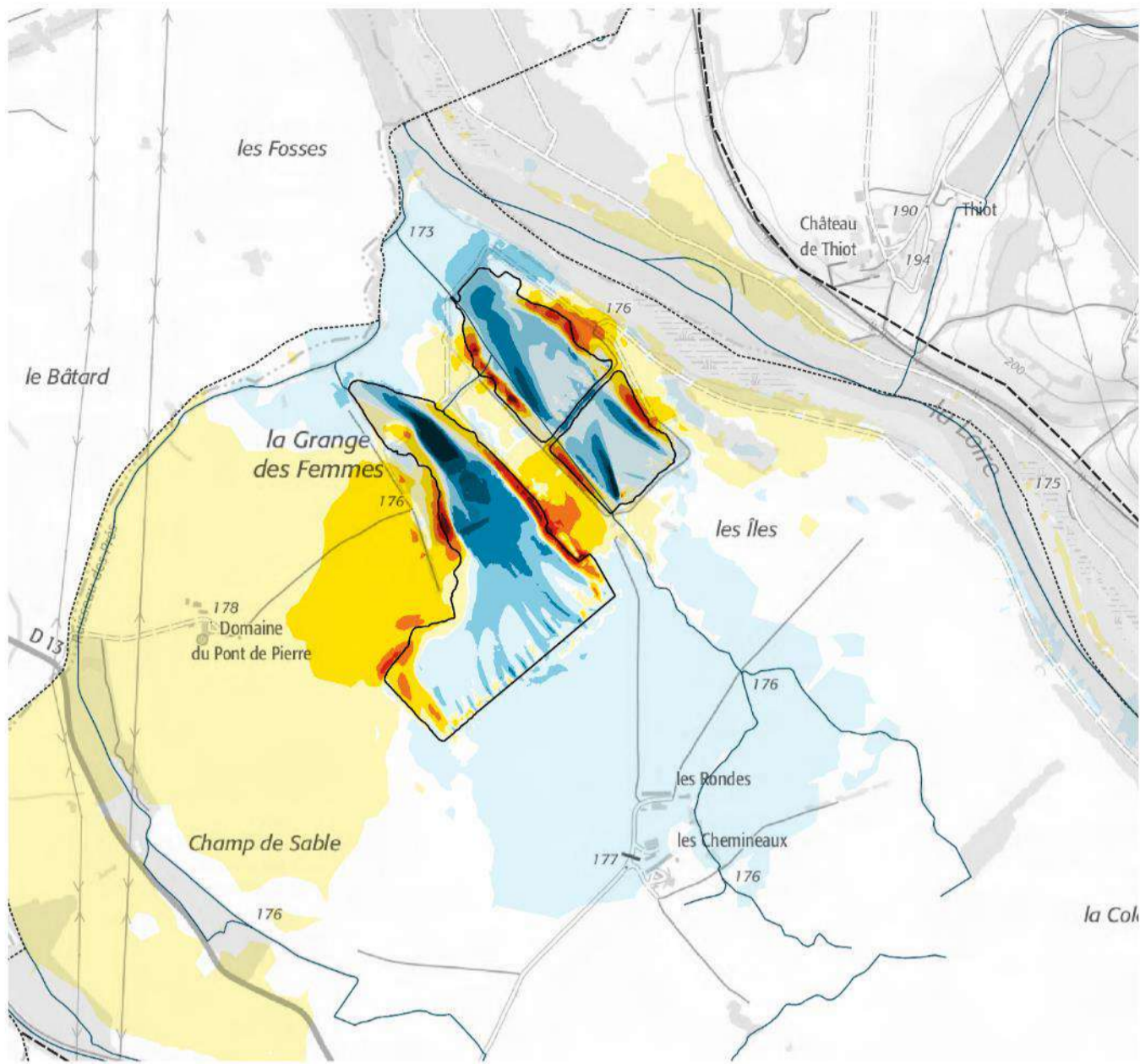
- ▲ La présence de la centrale a un impact visible pour les vitesses jusqu'en amont du hameau « Les Rondes » (Figure 28). Entre cette limite amont et la gravière ainsi qu'au niveau de la Loire et à l'Est du Ruisseau des Prés, les changements de vitesses sont minimales : ils sont compris entre -0.05 m/s et 0.05 m/s.
- ▲ C'est seulement à proximité immédiate et au sein de la gravière que les changements sont plus notables :

Pour rappel



- Aux milieux des bassins, à l'emplacement des îlots, on note un fort ralentissement des vitesses allant jusqu'à -0.5 m/s (en bleu clair puis foncé). Cette observation est logique au regard du coefficient de rugosité qui a été changé dans les îlots : les écoulements sont alors « freinés » au niveau des îlots.
 - En revanche, on note une accélération des écoulements entre les berges et les îlots : les vitesses augmentent de 0.1 à 0.5 m/s (bandes jaunes à oranges puis rouges dans les bassins). Ce phénomène est lié aux écoulements qui, freinés au niveau des îlots, vont alors se concentrer plus facilement sur les bords des îlots en créant ainsi un courant plus fort.
 - Enfin, à l'Est du bassin C, on observe une hausse des vitesses d'écoulement de 0.05 à 0.2 m/s (en jaune en direction de l'Est et du Ruisseau des Prés).
- ▲ En termes de classes de vitesses, la carte présentée en Figure 29 montre clairement que les différences détaillées ci-dessus n'engendrent des modifications notables de classes de vitesses qu'au sein même de la gravière. Essentiellement, on note une baisse d'une classe au niveau des îlots (en bleu) et une hausse d'une classe autour des îlots (en rouge). Pour mieux se rendre compte de l'impact négligeable de la centrale à distance, la même cartographie que la Figure 29 est disponible en Figure 31 mais avec une échelle plus grande, qui permet de voir tout le lit majeur jusqu'à Imphy.

Les impacts en termes de vitesses sont donc très modérés.



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES DE VITESSES
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

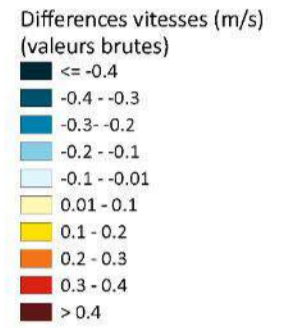
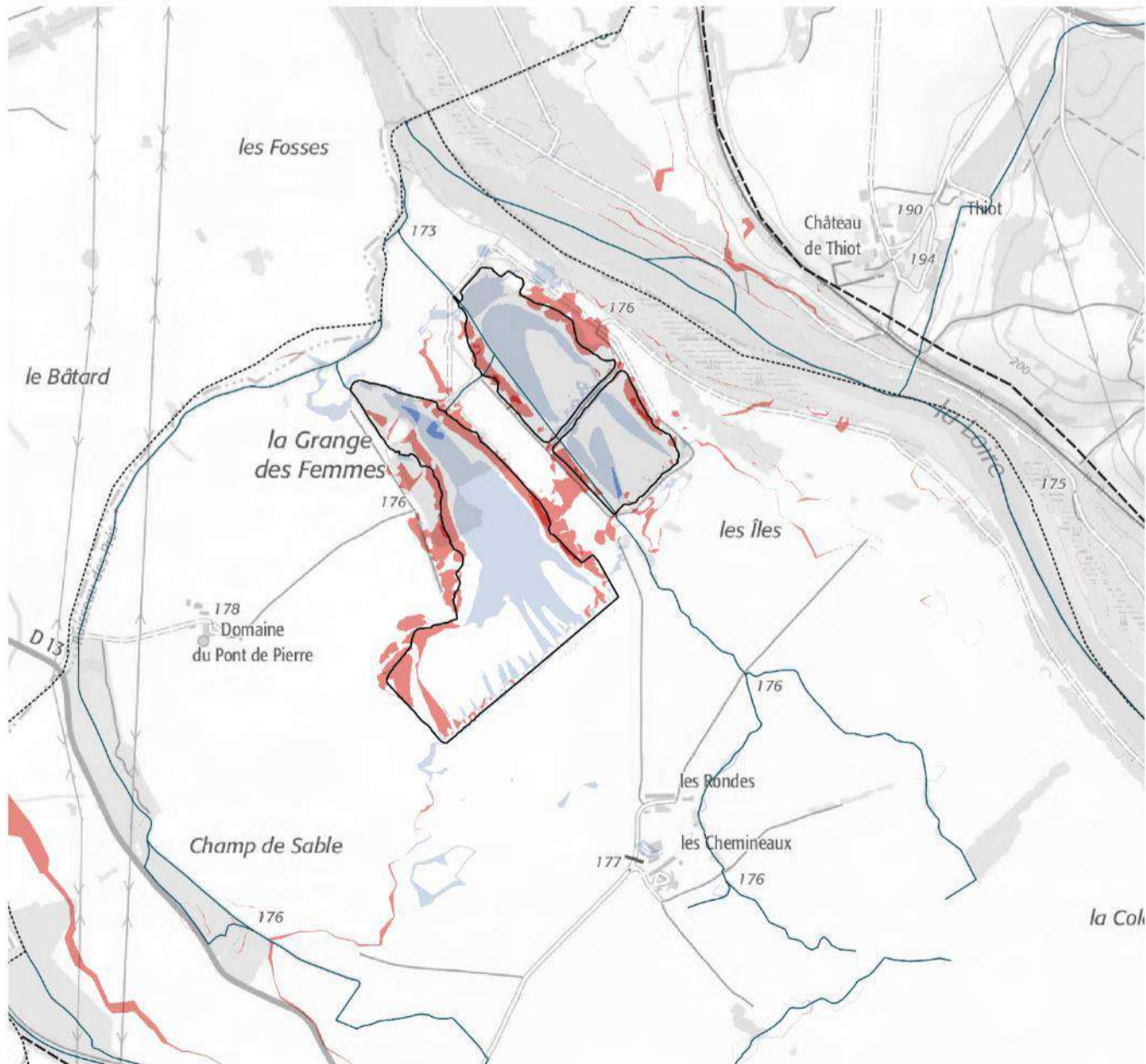


Figure 28: Différences de vitesses d'écoulement observées entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES GRAVIERE -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

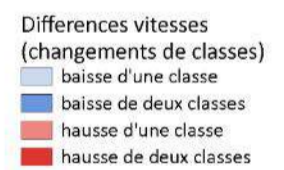
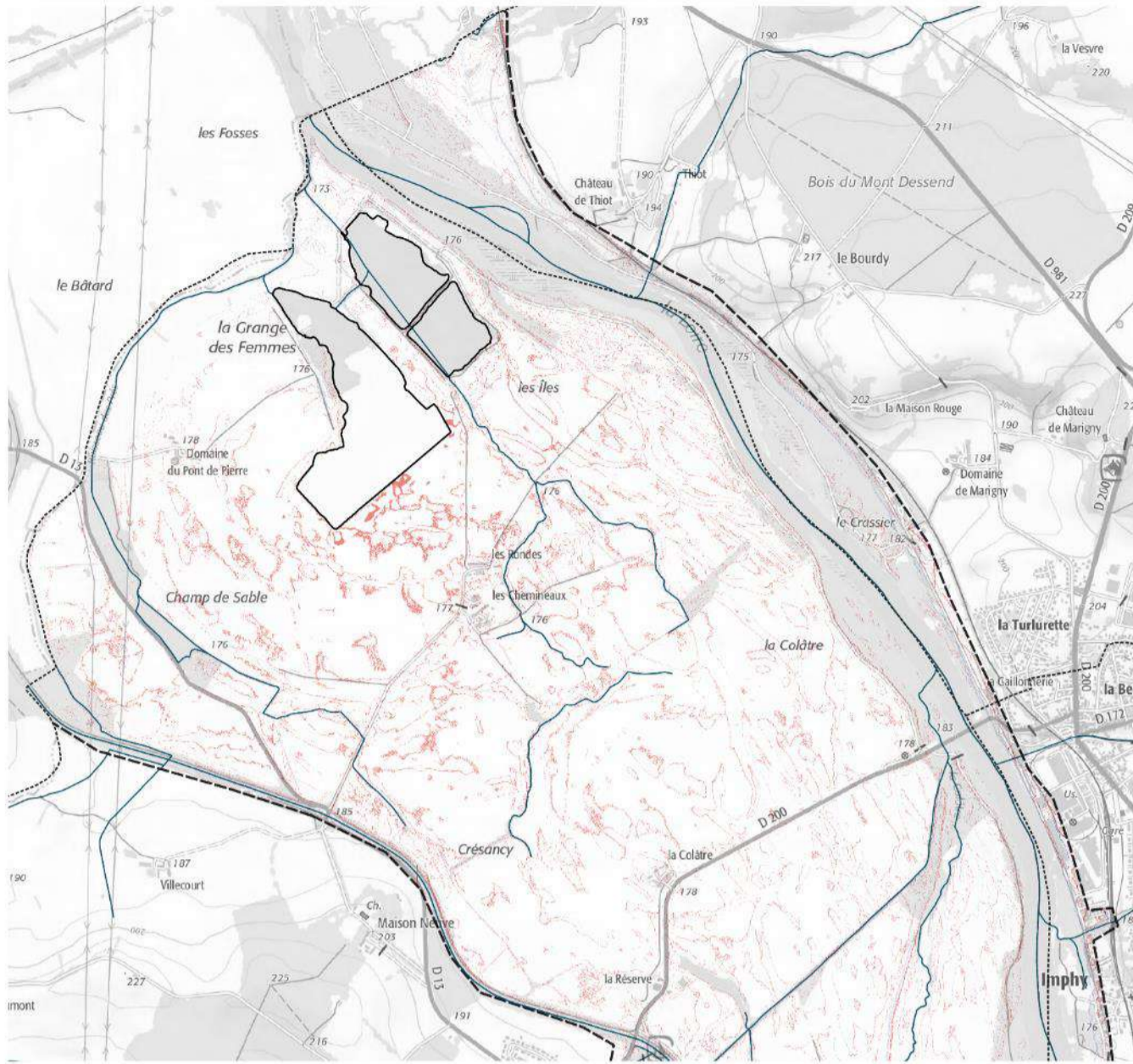


Figure 29: Changements de classes de vitesses observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

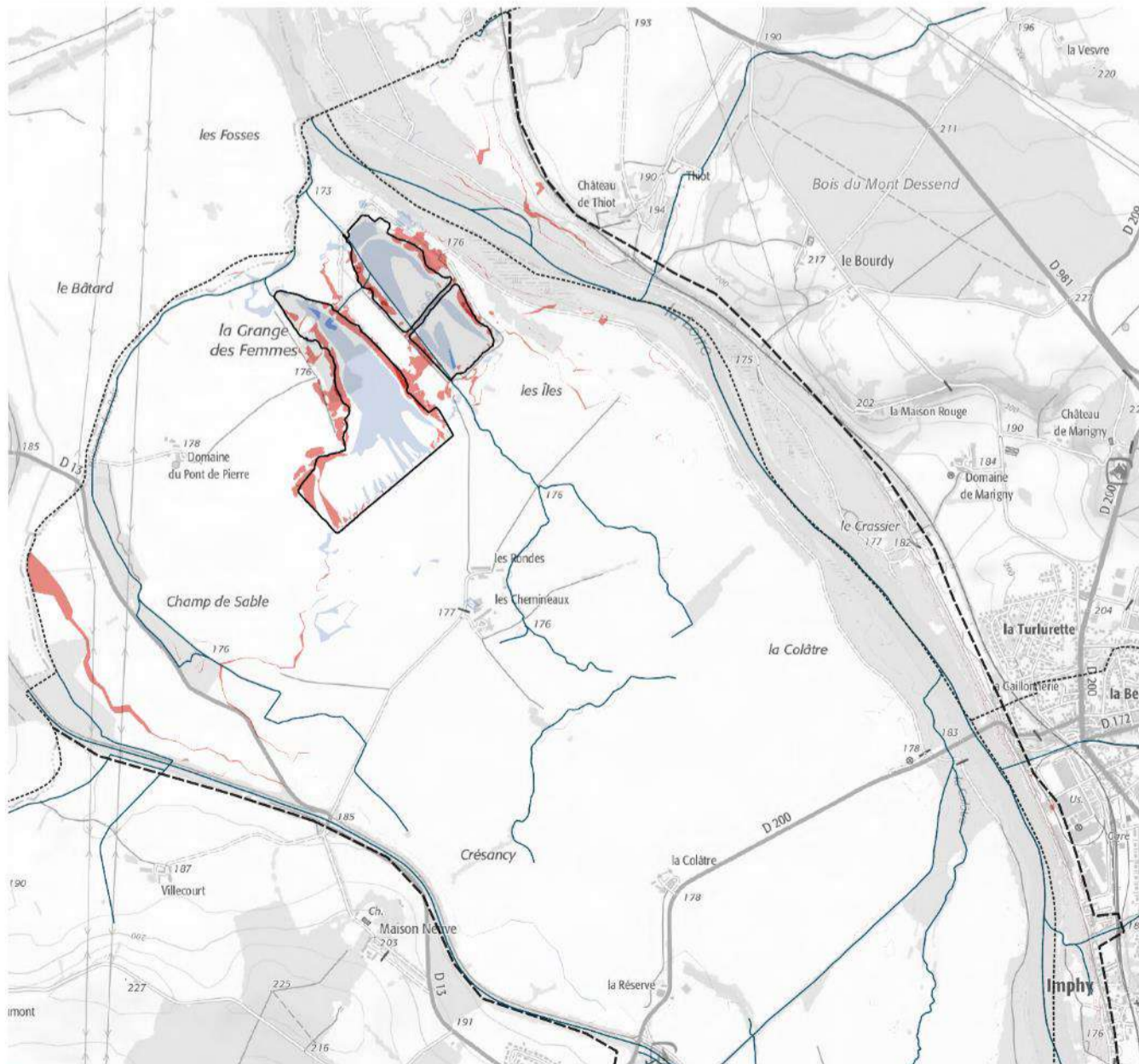
**CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS AVAL -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

- Différences hauteurs
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - baisse de trois classes
 - baisse de quatre classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes
 - hausse de trois classes



Figure 30: De-zoom de la Figure 27 - Changements de classes de hauteurs d'eau observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES AVAL - MODELE
CENTRALE et MODELE
ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

- Différences vitesses
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes



Figure 31: De-zoom de la Figure 29 - Changements de classes de vitesses d'écoulement observés entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE

6.4.2. Test de sensibilité avec un coefficient de frottement plus modéré

Afin d'étudier l'impact de la valeur du coefficient de frottement (qui a été fixé à 1 dans les îlots dans M.CENTRALE), un second modèle a été réalisé avec un coefficient de frottement de 10 dans les îlots. Cela permet d'étudier, dans un cas qui se veut plus réaliste, les différences de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement. Ce modèle a été nommé M.CENTRALE-2.

Concernant les hauteurs d'eau, la présence de la centrale ainsi représentée est négligeable : les différences de hauteurs entre M.ACTUALISE et M.CENTRALE-2 sont de l'ordre du millimètre et donc négligeables aux regards de la précision des modèles hydrauliques. Concernant les vitesses d'écoulement, les vitesses obtenues dans M.CENTRALE et M.CENTRALE-2 sont très similaires.

Ce constat permet de faire la conclusion suivante : le choix du coefficient de frottement pour représenter la centrale semble pertinent dans la mesure où les vitesses d'écoulements sont bien modifiées et leur répartition est perturbée par la présence des îlots. En revanche, alors que choisir un coefficient de frottement égal à 1 semblait un cas extrême, le test de sensibilité a montré que la valeur du coefficient de frottement avait un impact modéré : l'important étant ainsi de fixer dans les îlots un coefficient inférieur au reste de gravière pour bien représenter le « freinage » induit par la présence de la centrale. Par soucis de sécurité, on choisit de retenir le scénario M.CENTRALE avec un coefficient de frottement égal à 1 dans la suite de l'analyse.

6.4.3. Synthèse de l'impact de la centrale sur le risque inondation

L'analyse a montré, tant sur les hauteurs d'eau que sur les vitesses d'écoulements que la présence de la centrale n'avait que très peu d'influence en dehors de la gravière : les hauteurs d'eau sont légèrement augmentées en amont mais pas de façon suffisante à changer la classe de hauteurs. Il en est de même pour les vitesses d'écoulements.

Le projet de centrale a donc un impact notable (et toutefois modéré) uniquement sur les dynamiques d'écoulements au sein de la gravière. Cela implique que :

- ▲ **Les deux premières exigences de la DDT 58 semblent être remplies, à savoir :**
 - « 1 - que la présence de l'installation n'aggrave pas le risque inondation ;
 - 2 - que l'installation n'a pas de conséquence négative sur les zones de grand écoulement des crues, à savoir les zones de vitesse élevée. »
- ▲ **Le dimensionnement de la structure (ancrage, longueur de câble) doit être fait en prenant en compte les résultats du modèle avec centrale pour résister à la crue de référence, à savoir M.CENTRALE.**

On peut souligner que ce modèle a été établi en prenant une hypothèse forte sur le coefficient de frottement, seul moyen de représenter la centrale en 2D. En réalité, l'écoulement se faisant en 3D, les écoulements auront donc tendance à être plus homogènes dans la hauteur d'eau des bassins. Ainsi, les perturbations engendrées par la présence de la centrale devraient être moindres à l'échelle du site. **Le choix de retenir M.CENTRALE peut alors paraître très conservateur.**

Cependant, même si les vitesses ne seront pas extrêmes en tous points comme dans M.CENTRALE, localement il pourrait y avoir de telles valeurs atteintes, induites par des perturbations locales difficiles à estimer et à modéliser. Par sécurité, ne pouvant déterminer où pourraient se produire les vitesses extrêmes, on choisit de retenir les vitesses extrêmes en tous points. **C'est pourquoi il semble impératif de conserver le modèle M.CENTRALE comme référence.**

Pour rappel : les hauteurs d'eau utilisées dans le PPRi sont issues des PHEC. Au niveau de la gravière, la valeur est de 179.5 mNGF. Dans le cadre du modèle avec centrale, le niveau d'eau maximale atteint est de 178.9 mNGF. Ainsi, le niveau d'eau obtenu à l'issu du modèle avec centrale ne dépasse pas les PHEC. Cet élément vient appuyer le constat que les impacts de la centrale n'aggravent pas le risque inondation.

6.5. AIDE AU DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE

Cette étape doit permettre de fournir au bureau d'études en charge du dimensionnement du système d'ancrage (Ciel&Terre), les données nécessaires pour assurer l'intégrité de la structure en cas de crue. Cela fait partie non seulement des demandes d'Eléments, en charge du projet, mais également de la DDT 58 par le biais de ces deux exigences :

« 3 - que l'installation résistera à une inondation de type PHEC (de par la hauteur de submersion et de par la vitesse d'écoulement de la crue) ;

4 - que l'installation sera dimensionnée au niveau des ancrages pour éviter tout arrachement d'une partie des composants en cas de crue. »

6.5.1. Dimensionnement des ancrages

Afin de s'assurer que la structure ne subisse pas d'arrachement jusqu'à la crue de référence, il est nécessaire de prendre en compte les vitesses d'écoulements auxquelles elle sera soumise. C'est au niveau des ancrages que ces efforts doivent être repris. Pour illustration, un exemple d'implantation d'un îlot est présenté en Figure 32 : la ligne d'ancrage et l'ancrage en bout doivent reprendre les efforts induits par les vitesses sur la centrale, c'est-à-dire sur les lignes de flotteurs portant les panneaux photovoltaïques.

Dans son calcul du dimensionnement des ancrages le bureau d'études Ciel&Terre étudie les efforts en chaque point par tranche de 20°. Ainsi, les vitesses maximales observées, du modèle avec centrale, ont été extraites avec leur direction. Puis, par tranche de 20°, les valeurs maximales observées sur l'ensemble de l'emprise de la gravière ont été retenues.

On se place ainsi dans une situation conservatrice : pour un point d'ancrage donné A1, on le dimensionne en prenant en compte la vitesse maximale ayant lieu dans la gravière parmi tous les points d'ancrage. Cette vitesse n'apparaissant donc pas nécessairement au point d'ancrage A1, on se place dans une situation sécuritaire.

Les valeurs à retenir sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 4: Vitesses maximales extraites dans la gravière, du modèle avec centrale

Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est)									
Dir (°)	0 à 20	20 à 40	40 à 60	60 à 80	80 à 100	100 à 120	120 à 140	140 à 160	160 à 180
V (m/s)	0.56	0.46	0.29	0.25	0.19	0.21	0.21	0.19	0.27
Dir (°)	180 à 200	200 à 220	220 à 240	240 à 260	260 à 280	280 à 300	300 à 320	320 à 340	340 à 360
V (m/s)	0.27	0.35	0.31	0.42	0.69	0.73	0.82	0.79	0.70

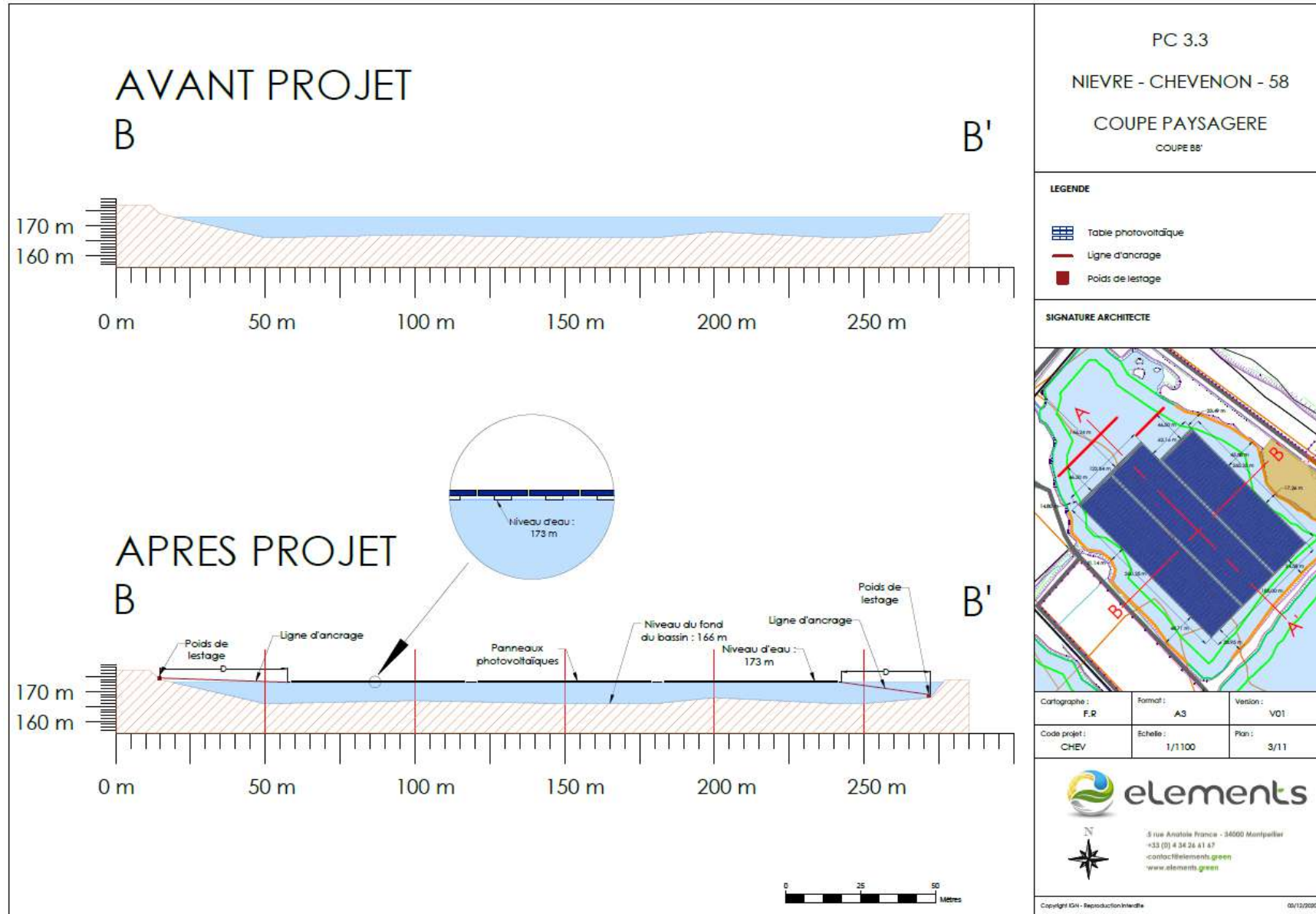


Figure 32: Coupe paysagère BB' de l'îlot 1 avec ancrage, réalisée par Eléments

6.5.2. Longueur des lignes d'ancrage

La longueur des lignes d'ancrage doit permettre à la structure d'être constamment en flottaison sur les bassins. L'amplitude des câbles doit donc être suffisante pour maintenir la structure en cas de situation d'étiage mais également en cas de crue (et donc éviter la submersion).

Pour la situation d'étiage, l'analyse des piézomètres autour du site donne un niveau minimal de la nappe observé sur les mesures disponibles de 172.1 mNGF. Cependant les données ne sont disponibles que sur les 11 dernières années. Par soucis de sécurité, nous recommandons donc de se baser sur une côte minimale du niveau d'eau de la gravière de 171 mNGF.

Il conviendra également en conséquence du niveau d'eau minimal atteint par les bassins de prévoir un recul par rapport aux berges. En effet, en cas de baisse du niveau de l'eau, les berges seront donc à nues sur une partie. Selon le profil des berges et leur pente, il ne faudrait pas que la structure vienne à « s'échouer » sur les berges à nues si la centrale se situe trop proche de celles-ci. Cet élément semble déjà avoir été pris en compte par Eléments, comme le montre la figure suivante : la ligne verte impose un décalage de la zone d'implantation des îlots par rapport aux berges. Ce constat est également visible dans la figure précédente (Figure 32) où l'îlot est maintenu à distance des berges via la ligne d'ancrage.

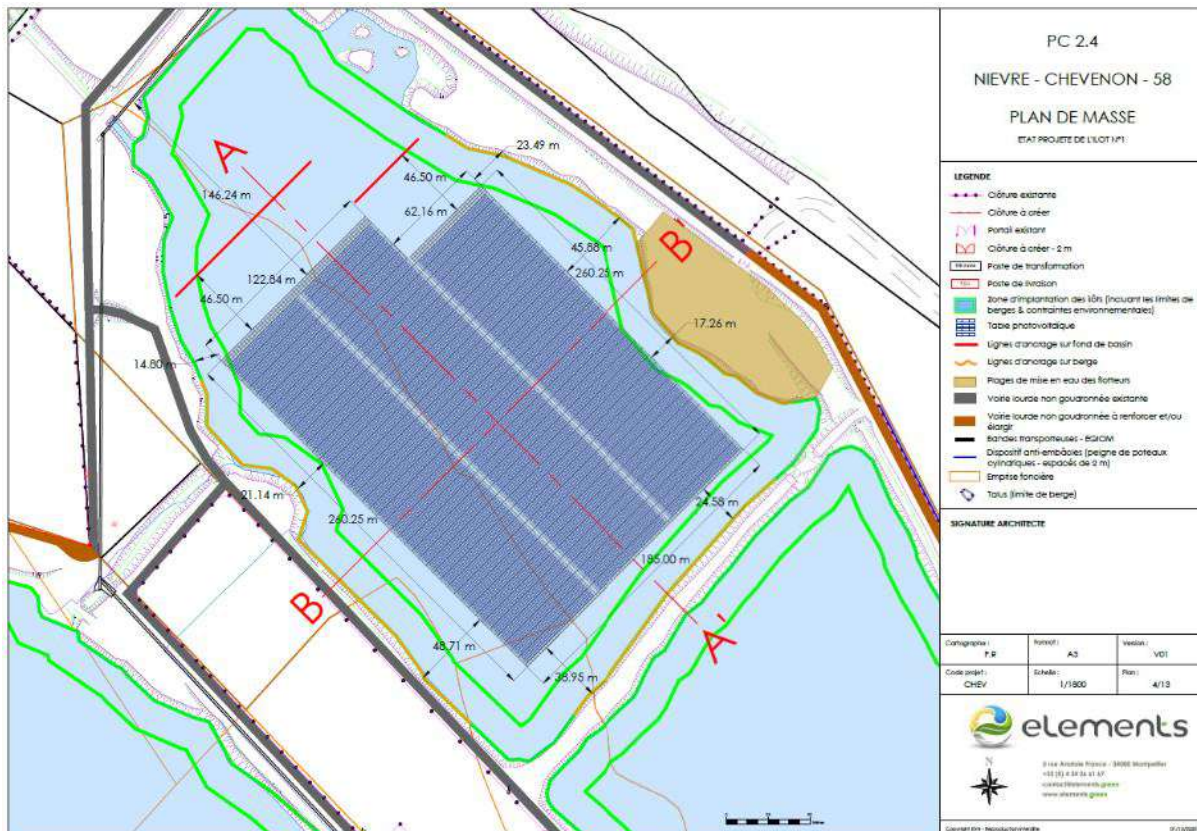


Figure 33: Plan de masse, état projeté de l'îlot 1, réalisé par Eléments

Pour la situation en crue, l'analyse des résultats du modèle avec centrale indique que le niveau d'eau maximale observé pour la crue de référence serait situé à la côte de 178.9 mNGF. Pour les PHEC, cette valeur est située à 179.5 m NGF. Par soucis de sécurité, nous recommandons donc de se baser sur une côte maximale du niveau d'eau de la gravière de 180 mNGF.

Ainsi, nous recommandons de dimensionner la longueur des câbles d'ancrage pour un niveau de la gravière pouvant varier entre les côtes de 171 mNGF et 180 mNGF.

6.5.3. Côte d'implantation des éléments sensibles

Dans le projet porté par Eléments, parmi les éléments composants la centrale, on compte des sites sensibles qui doivent rester hors d'eau en cas de crue (notamment les transformateurs). Par soucis de sécurité, il est recommandé de les implanter à une côte supérieure aux PHEC retenues sur le site, à savoir 179.5 mNGF. Une marge de sécurité d'au moins 50 centimètres devra être prévue. Dans la mesure du possible les éléments sensibles pourront être étanchésés.

Ainsi, les sites sensibles devront être implantés à la côte de 180 mNGF a minima.

6.5.4. Synthèse des éléments dimensionnants

A la suite de l'envoi de ces valeurs, le bureau d'étude Ciel&Terre a réalisé une étude d'ancrage avec les vitesses données dans la Tableau 4. Le dimensionnement des ancrages prend en compte plusieurs éléments : les efforts induits par le vent, par les vagues et par l'eau. Pour plus de détail, se référer au rapport d'ancrage.

Dans sa conclusion, le bureau d'études semble bien prendre en compte les valeurs issues du scénario avec centrale. Pour exemple, le tableau récapitulatif des efforts sur l'îlot 1 est repris dans la figure suivante. De même, les longueurs de câbles ont été ajustées avec les valeurs préconisées.

#1	Arrière	Gauche	Droite	Avant
Efforts combinés	896.83 kN	194.91 kN	242.14 kN	480.89 kN
Différence des efforts combinés par rapport à l'étude sans impact en condition d'utilisation	+3.65 kN	-11.73 kN	+37.03 kN	+40.88 kN
Nombre de spreader bars	83 pcs	32 pcs	36 pcs	48 pcs
Différence du nombre de spreader bars par rapport à l'étude sans impact en condition d'utilisation	+1 pcs	+0 pcs	+4 pcs	+4 pcs
Différence du nombre de points d'ancrages par rapport à l'étude sans impact en condition d'utilisation	+1 pcs	+0 pcs	+4 pcs	+2 pcs

Figure 34: Résultats des efforts appliqués à l'îlot 1 et des ancrages à prévoir - Ciel&Terre

En prenant en compte ces quatre éléments dans le dimensionnement de la structure, l'intégrité de la centrale devrait être assurée jusqu'à la crue de référence et le projet remplit les deux dernières exigences de la DDT 58 citées en page précédente. Il s'agit donc de s'assurer :

- ▲ De dimensionner les ancrages sur les bases des vitesses issues du modèle M.CENTRALE ;
- ▲ De prévoir une longueur suffisante des lignes d'ancrage pour s'adapter au marnage des bassins et assurer la stabilité de la centrale ;
- ▲ De prévoir un décalage par rapport aux berges des bassins ;
- ▲ D'implanter les sites sensibles à une côte suffisante pour être hors d'eau dans le cas de la survenance d'une crue de type PHEC, et les étanchésier.

En se basant sur la conclusion de l'étude de Ciel&Terre, ces éléments semblent bien avoir été pris en compte.

7. PROBLEMATIQUE DES EMBACLES

7.1. SENSIBILITE DU SITE ET HISTORIQUE

La problématique d'embâcles est un élément à considérer dans la mesure où le projet consiste à implanter une structure dans le lit majeur de la Loire. Les flottants alors charriés lors d'une crue pourraient venir endommager la centrale.

Il existe peu d'études permettant d'apprécier la production de flottants pouvant former des embâcles, qui plus est sur le tronçon de la Loire qui nous intéresse. Cependant, un examen du secteur étudié et une analyse des événements historiques peuvent donner des indications.

7.1.1. Sensibilité du site

Une présentation de la situation du site est disponible en Figure 35.

La gravière se situe dans le lit majeur de la Loire. En amont du site et sur plus de 8km, on trouve très peu de zones boisées. Les seules zones boisées identifiées sont situées en bordure de Loire, formant ainsi la ripisylve. Il en résulte que les zones pouvant produire des flottants susceptibles de former des embâcles au niveau de la centrale sont principalement constituées par la ripisylve. Cependant, en cas d'inondation si la ripisylve est en bon état, elle va plutôt jouer un rôle d'obstacle : elle aide au ralentissement des vitesses d'écoulements en formant un obstacle « rugueux ». Elle forme un peigne naturel et vient ainsi bloquer les flottants sur les berges de la Loire plutôt que de les laisser transiter vers le lit majeur.

De plus, en cas de crue, les vitesses d'écoulements les plus importantes ont généralement lieu dans le lit mineur des cours d'eau. C'est le cas de la Loire pour les crues étudiées, où les vitesses sont comprises entre 1 m/s et 2 m/s au pic de crue dans le lit mineur, alors que les vitesses dans le lit majeur avoisinent les 0.5 m/s (et localement atteignent 0.8 m/s). Il en résulte que les flottants, qui sont plus facilement charriés par des écoulements rapides, seront principalement charriés dans le lit mineur. **Ils n'auront pas tendance à emprunter des courants perpendiculaires moins forts, dirigés vers le lit majeur.**

Enfin, généralement les embâcles sont formés avec des flottants issus de terrains à proximité. Comme vu précédemment, les zones pouvant fournir des flottants en amont de la gravière sont très limitées. Si la ripisylve est en bon état, les risques de transport de flottants vers la gravière sont minimes.

Aussi, on peut souligner la présence, en amont, du pont d'Imphy sur la Loire. Celui-ci est de grandes dimensions, donc peu sensible aux embâcles en cas de petites crues (voir en Figure 35). Cependant, en cas de crue très forte, on peut imaginer que le niveau de l'eau pourrait atteindre le bas du tablier. Ainsi, les flottants venus de l'amont seront stoppés au niveau de cet ouvrage, limitant le transfert vers l'aval.

Ces différents constats mènent à conclure que le site de la centrale est assez peu sensible à la problématique d'embâcles, d'autant plus à mesure que l'on s'éloigne du lit mineur de la Loire.

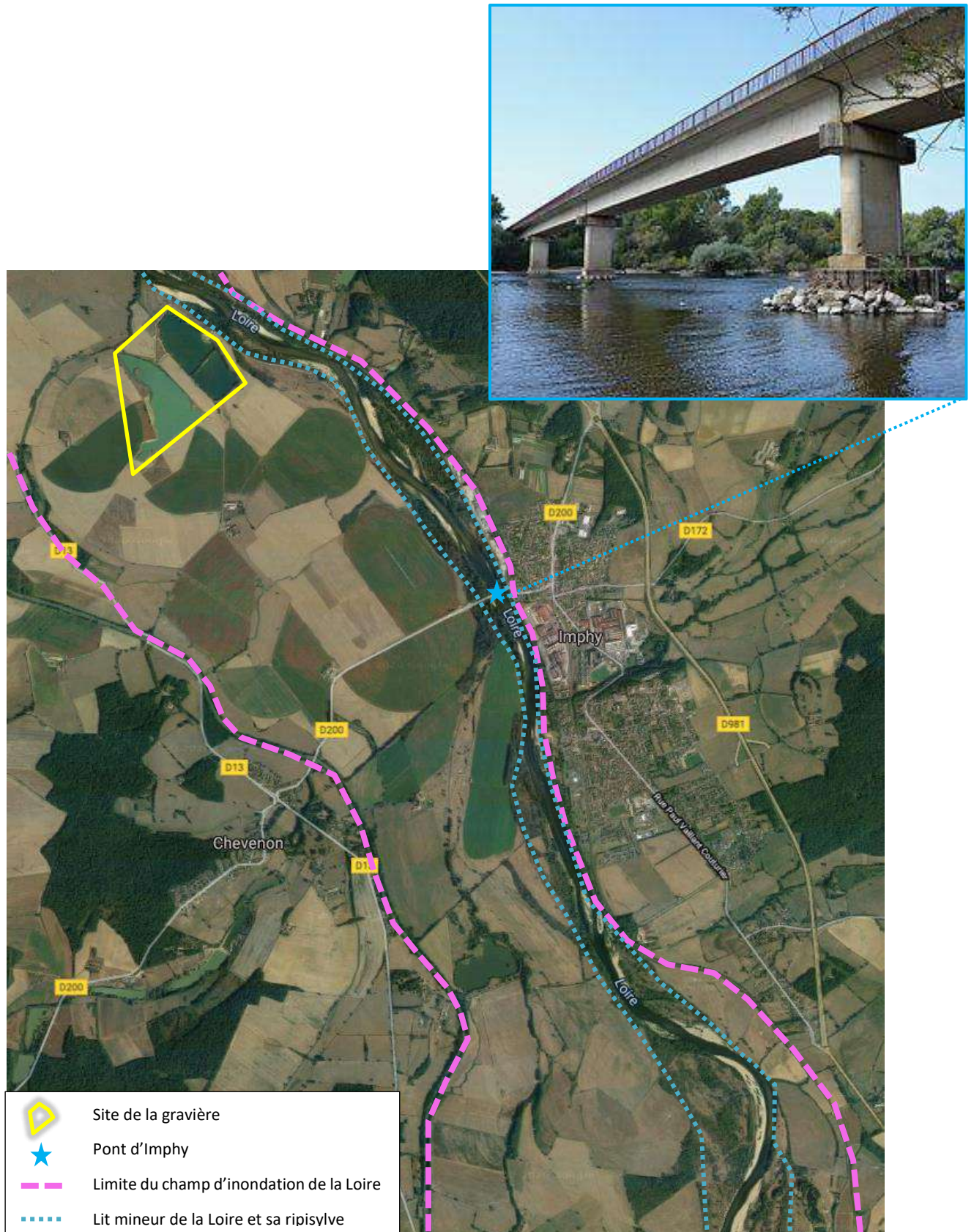


Figure 35: Situation du site à l'étude

7.1.2. Historique

Peu d'éléments sont disponibles quant à la présence de flottants en cas de crue sur le site de la gravière. Seuls quelques témoignages ont pu être recueillis indiquant les éléments suivants :

- ▲ Crue de 2008 : des photos ont pu être prises durant la crue au niveau de la gravière, elles sont présentées ci-dessous (fournies par M. Vincent, ancien exploitant agricole des terrains en amont de la gravière). La période de retour de cette crue a été estimée entre 10 et 20 ans. Pas d'éléments spécifiques à noter aux niveaux des flottants. Les photos suivantes montrent un champ d'inondation sans présence de corps flottants.



Figure 36: Photo prise lors de la crue de 2008 - Vue du bassin C depuis l'amont



Figure 37: Photo prise lors de la crue de 2008 - Vue des bassins A et B depuis l'amont

- ▲ Crues débordantes en lit majeur : il a été observé des clôtures de barbelés pliées après des crues lorsque des cannes de maïs sont venues s'accumuler dedans et, avec la pression de l'eau, elles ont fini par faire plier les clôtures peu résistantes. Aussi, quelques déchets végétaux ont été retrouvés dans les champs à la décrue.

7.1.3. Synthèse

L'analyse menée précédemment a permis de mettre en lumière les éléments suivants, indiquant une faible sensibilité au site à la formation d'embâcles :

- ▲ Les flottants susceptibles de former des embâcles sont généralement issus de zones proches en amont. Or en amont, on identifie peu de zones productives d'embâcles.
- ▲ La ripisylve en bord de Loire, si elle est en bon état, ne va pas fournir des flottants mais plutôt stopper ceux du lit mineur.
- ▲ Les flottants sont principalement charriés dans les zones de forts courants, donc a priori cela concerne assez peu la gravière, d'autant plus à mesure que l'on s'éloigne de la Loire.
- ▲ Les flottants du lit mineur de la Loire suivront principalement les courants forts dans le lit mineur et n'auront pas tendance à suivre des écoulements plus faibles perpendiculaire. Quand bien même cela se produirait, ils seront retenus par la ripisylve.
- ▲ Les informations collectées quant aux événements historiques survenus sur le site, indiquent soit l'absence de flottant soit la présence de quelques déchets végétaux éparses.

Cependant la centrale doit être protégée pour une crue dont la période de retour est similaire à la Q200. Aucun élément historique ne fournit d'information sur les embâcles lors de telles crues. De plus, une crue d'une telle intensité est toujours susceptible de créer de forts désordres localement qui peuvent engendrer la formation de flottants. C'est un phénomène extrêmement difficile à prévoir tant il peut être influencé par de nombreux éléments.

Ce constat mène ainsi à prévoir tout de même des solutions pour retenir des flottants en amont de la centrale et ainsi la protéger. La présence de cannes de maïs pouvant être charriées au moment de la coupe est également un aspect qui peut être pris en compte dans les solutions de protection.

7.2. SOLUTIONS PROPOSEES

Pour éviter tout risque d'embâcles, on distingue plusieurs types de solutions envisageables :

- ▲ Les mesures préventives : elles doivent permettre de limiter la production de flottants avant un événement.
- ▲ Les mesures actives : elles sont mobilisées pendant un événement. Lorsque la crue survient et que des flottants sont charriés en direction de la centrale, elles doivent la protéger.

7.2.1. Mesures préventives

Pour réduire la production de corps flottants susceptibles de former des embâcles, trois mesures principales peuvent être envisagées. Leur localisation est présentée en Figure 38. Ces mesures consistent en :

- ▲ Un entretien de la ripisylve :
Sur tout le linéaire de ripisylve longeant la gravière et jusqu'en amont du pont d'Imphy, il pourrait être pertinent de s'assurer que l'entretien de la ripisylve permette le maintien de végétation en bon état et qu'une vigilance particulière soit portée aux arbres malades. Le linéaire à surveiller est d'environ 3km.
- ▲ Une évacuation des débris en lit majeur à l'annonce d'une crue :
Les crues de la Loire au niveau du site à l'étude sont qualifiées de crues lentes. La montée des eaux se fait de manière progressive et la crue peut être anticipée. Les moyens de surveillance déployés aujourd'hui permettent d'anticiper ce phénomène et de donner l'alerte aux territoires potentiellement concernés.
C'est pourquoi, lorsqu'une alerte est donnée, il peut être pertinent de s'assurer qu'il n'y ait pas en amont de la gravière, dans le lit majeur, des débris végétaux ou de tous types susceptibles d'être emportés pendant la crue. Une fois identifiés, il conviendrait de les évacuer.

Cette mesure peut s'appliquer également aux cannes de maïs. En effet, comme identifié lors des événements historiques, si les cannes viennent d'être coupées et qu'une crue survient, elles pourront alors être aisément charriées vers la centrale. Dans la mesure du possible, un ramassage peut donc être organisé pour les évacuer.

Il semblerait que des débordements aient lieu dans le lit majeur dès la Q2. En accord avec le protocole d'alerte mis en place par les services de l'Etat, il conviendrait d'évacuer les débris dès l'alerte donnée pour cette crue (a minima). Ce point sera à préciser dans le protocole mis en place par Eléments.

▲ Une orientation du type de cultures :

L'occupation du sol en amont de la gravière peut également être orientée pour limiter au maximum les possibilités de fourniture de flottants. Parmi les mesures envisageables et dans la mesure du possible, les terrains en amont ne doivent pas être occupés par des arbres, arbustes ou éléments susceptibles d'être arrachés ou emportés par une crue. Cette mesure interviendrait principalement dans le cas où les terrains agricoles en amont seraient vendus.

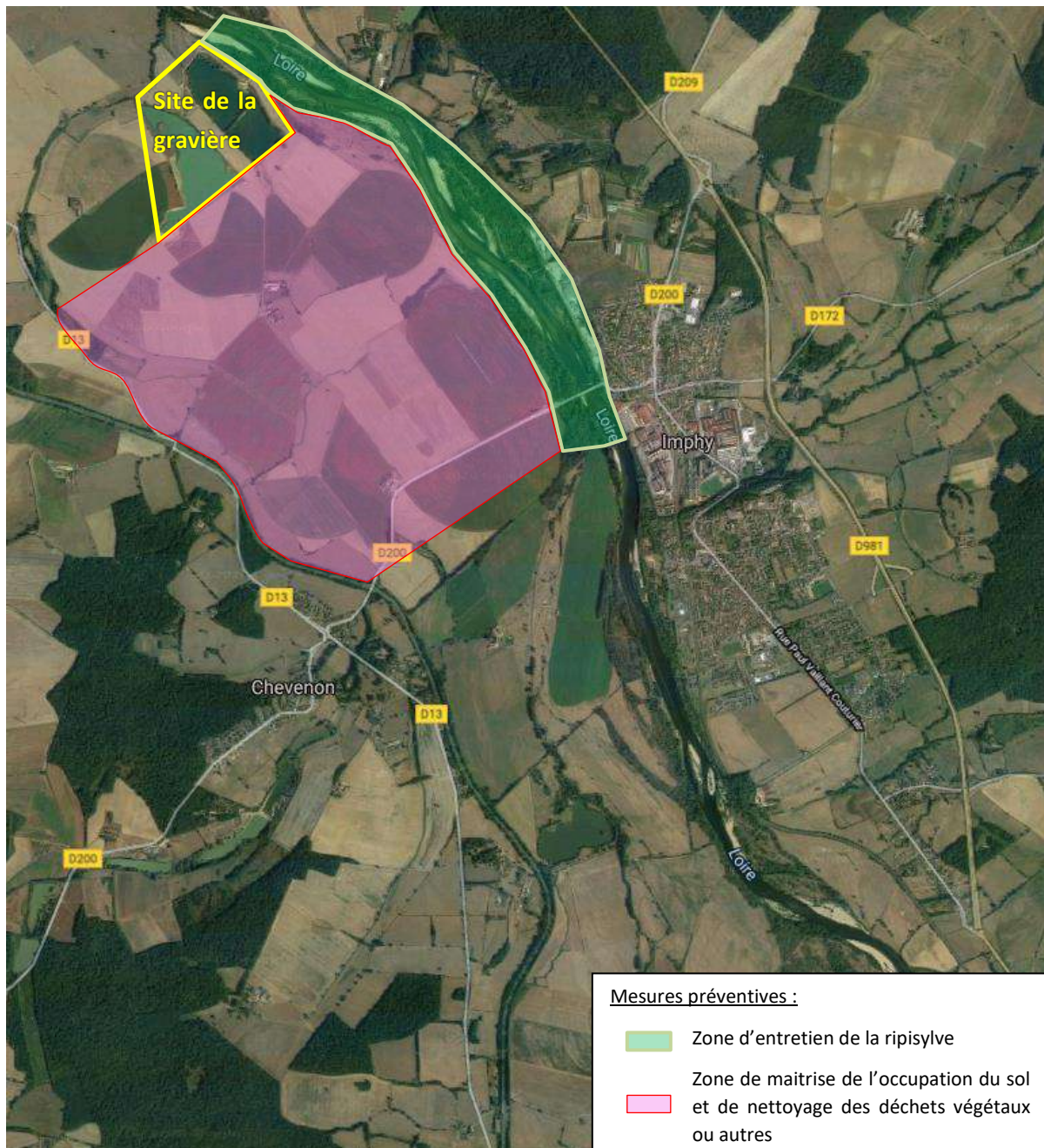


Figure 38: Localisation des mesures préventives

7.2.2. Mesures actives

7.2.2.1. *Protection dans la gravière*

Une protection permanente peut être mise en place dans les bassins de la gravière. L'objectif est de stopper les petits éléments charriés dans la hauteur de l'écoulement et en surface. Ce type de structures est appelé dromes.

Elles sont constituées de flotteurs en surface auxquelles sont attachées des filets ou des éléments immergés qui retiennent les déchets charriés sous la surface, tout en laissant passer l'eau. Des ancrages aux extrémités et un lestage du système doivent permettre à l'ouvrage de rester stable et en place. Ces dromes doivent également pouvoir s'adapter au marnage des bassins et donc assurer une protection en cas de crue. Un entretien post crue sera nécessaire pour retirer les éléments retenus en amont. Des exemples de dromes sont présentées ci-dessous.



Figure 39: Exemple de dromes



Figure 40: Exemple de dromes retenant des déchets

Afin de protéger les zones les sensibles, sur l'amont des bassins, nous préconisons de mettre en place des dromes sur toute la longueur des bassins en amont de l'îlot 2, soit sur 250 mètres environ et de l'îlot 3, soit sur 600 mètres environ, en prévision de l'extension du bassin C après 2023. En cas de crue, les courants principaux vont du Sud-Est vers le Nord-Ouest (voir extrait des résultats du modèles avec centrale en Figure 42) et donc orientent les potentiels déchets vers l'amont des bassins, ce choix d'emplacement semble le plus pertinent. Leur localisation est présentée dans la Figure 41.



Figure 41: Vue 3D du projet avec localisation des dromes

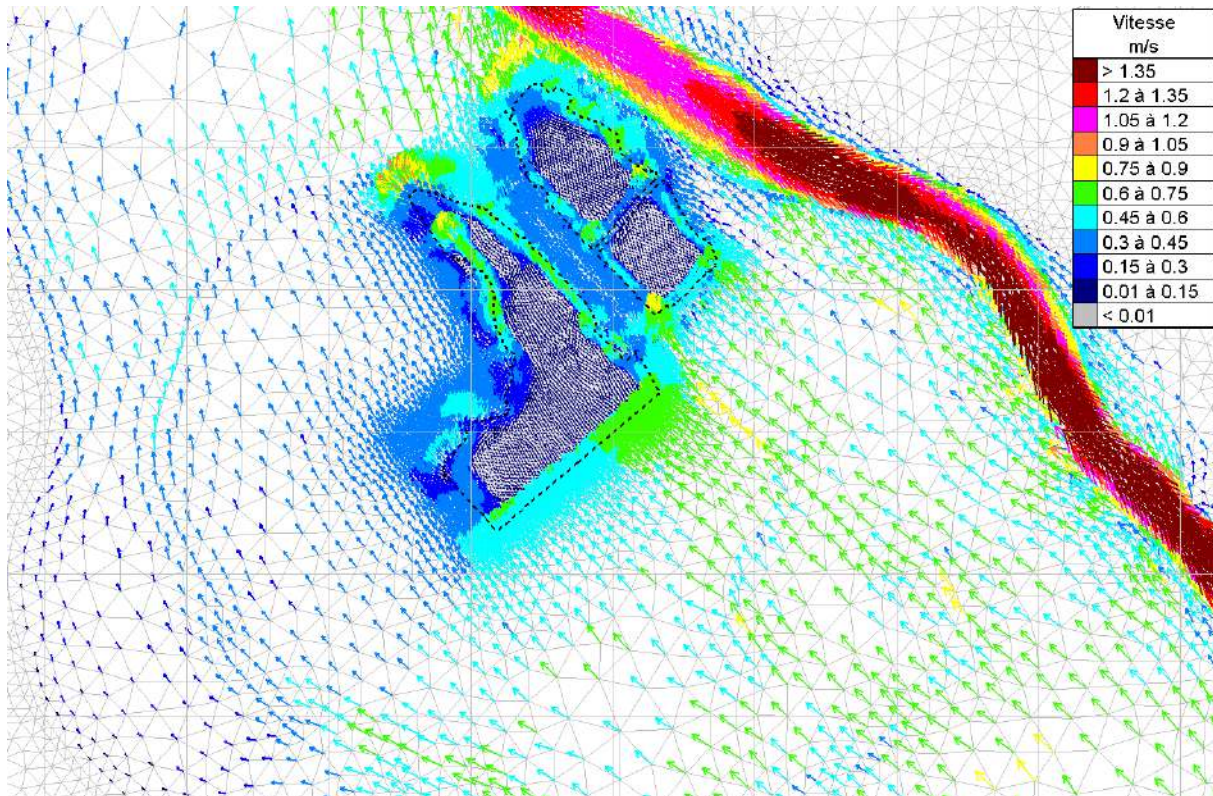


Figure 42: Direction et intensité des vitesses au pic de crue – Résultats modèle avec centrale

7.2.2.1. Protection hors gravière

a. Caractéristiques générales

Une protection permanente peut être mise en dehors des bassins, juste en amont de ceux-ci. L'objectif est de stopper les gros flottants tels que les troncs, branches ou autres en cas de crue. Ce type de structure est appelé communément protection « anti embâcles » et est habituellement mise en place dans le lit mineur des cours d'eau.

L'objectif est de retenir les gros flottants charriés en surface par le courant. Précédemment, il a été vu que les flottants pourraient venir de la Loire et par l'amont de la gravière. Ainsi, la protection envisagée serait de type peigne ou râtelier et située sur un linéaire de 600 mètres environ, en « L » le long du bassin B telle que dans la Figure 43.

La côte d'arasement du peigne devra être à 180 mNGF : cette côte correspond à la côte des PHEC avec une marge de 50cm. Ainsi, la protection permettra de retenir les flottants sur toute la hauteur de l'écoulement. Cela implique que les éléments du peigne auront une taille de 2.5 m de haut environ. Un espacement de l'ordre de 4 à 6 mètres devra être respecté entre les éléments, dont les diamètres seront de l'ordre de 200 mm. Une double ligne pourra également être envisagée.

Ce peigne peut être réalisé de différentes façons, des illustrations sont présentées en page suivante :

- ▲ "Rideau" de poutres métalliques, de type IPN, fichées dans le sol ;
- ▲ "Rideau" de palplanches (métallique très certainement) ;
- ▲ "Rideau" de pieux béton ou métallique, certainement de forme cylindre.

Post-crue, il s'agira de venir évacuer les débris piégés par l'ouvrage.

Afin de se fixer sur le choix et les caractéristiques plus précises de cet ouvrage, une étude géotechnique devra être réalisée. L'objectif est de connaître la nature des sols et ainsi de choisir les matériaux et les ancrages les plus appropriés. Une intégration paysagère pourra également être pensée (peinture ...).

C'est pourquoi le coût d'un tel ouvrage est difficile à estimer à ce stade de l'étude. A titre d'exemple, le prix unitaire d'un pieu peut varier de 100 € et 250 €.



Figure 43: Vue aérienne du projet et localisation du peigne "anti embâcles"



Figure 44: Exemple de pieux métalliques dans un champ



Figure 45: Exemple de peignes en lit mineur

b. Analyse des impacts hydrauliques

Un modèle hydraulique a été réalisé afin d'étudier l'incidence d'un tel ouvrage sur les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement en crue, l'objectif étant de ne pas aggraver la crue. Dans le modèle construit, deux scénarios pessimistes ont été envisagés :

- ▲ Peigne entièrement obstrué : nommé scénario 1 ;
- ▲ Peigne partiellement obstrué : nommé scénario 2.

Ces deux scénarios, notamment le scénario 1 avec obstruction totale, sont plutôt très pessimistes. En effet, l'analyse menée précédemment a montré la faible sensibilité du site aux embâcles du fait de la quasi absence de flottants. Il en résulte qu'il est peu probable que l'ouvrage soit obstrué sur toute sa hauteur et toute sa longueur.

Cependant ces cas ont été étudiés afin d'observer dans les pires conditions, l'incidence de l'ouvrage. Les deux modèles ont été construits sur la base du modèle avec centrale, en ajoutant une obstruction à l'écoulement à l'emplacement du peigne :

- ▲ Pour le scénario 1, l'obstruction concerne tout le linéaire (Figure 46) ;
- ▲ Pour le scénario 2, l'obstruction concerne 6 tronçons du peigne (Figure 47).

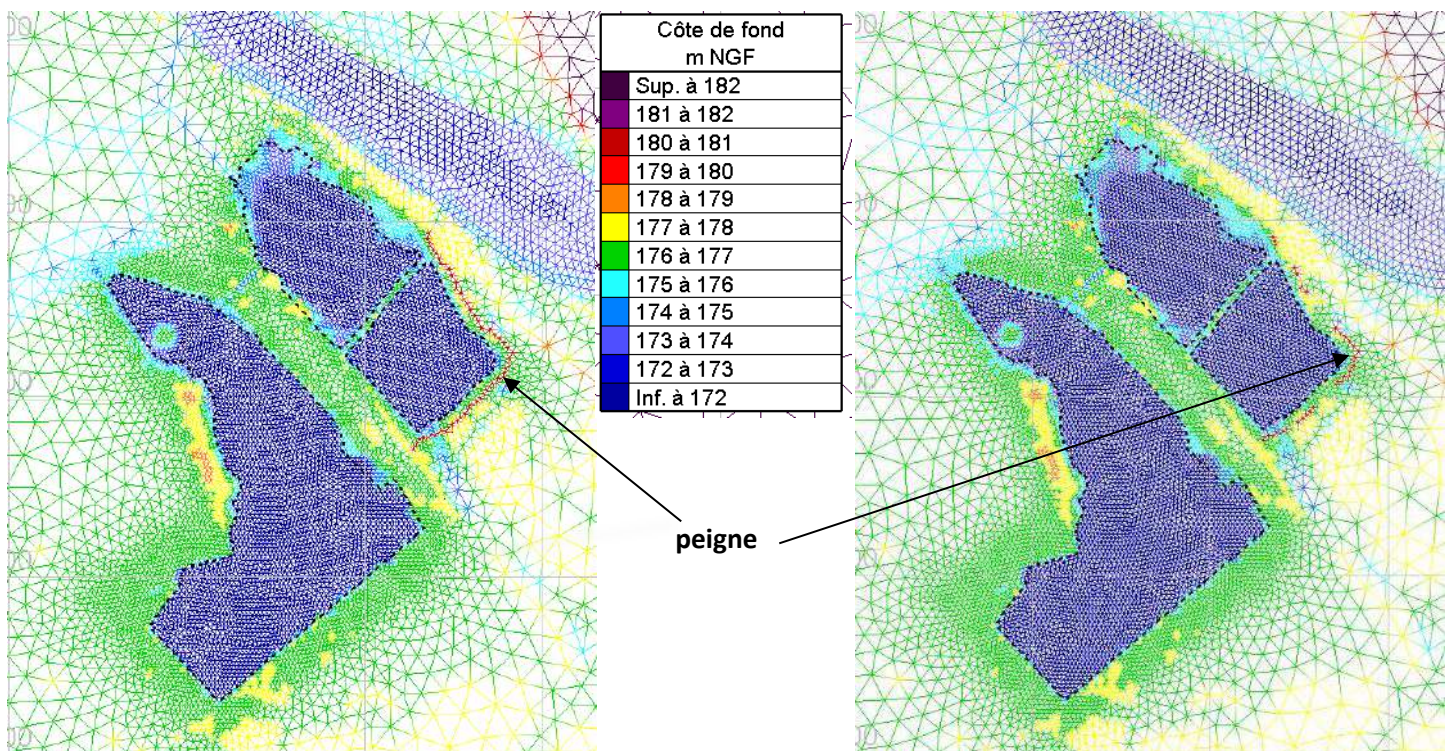


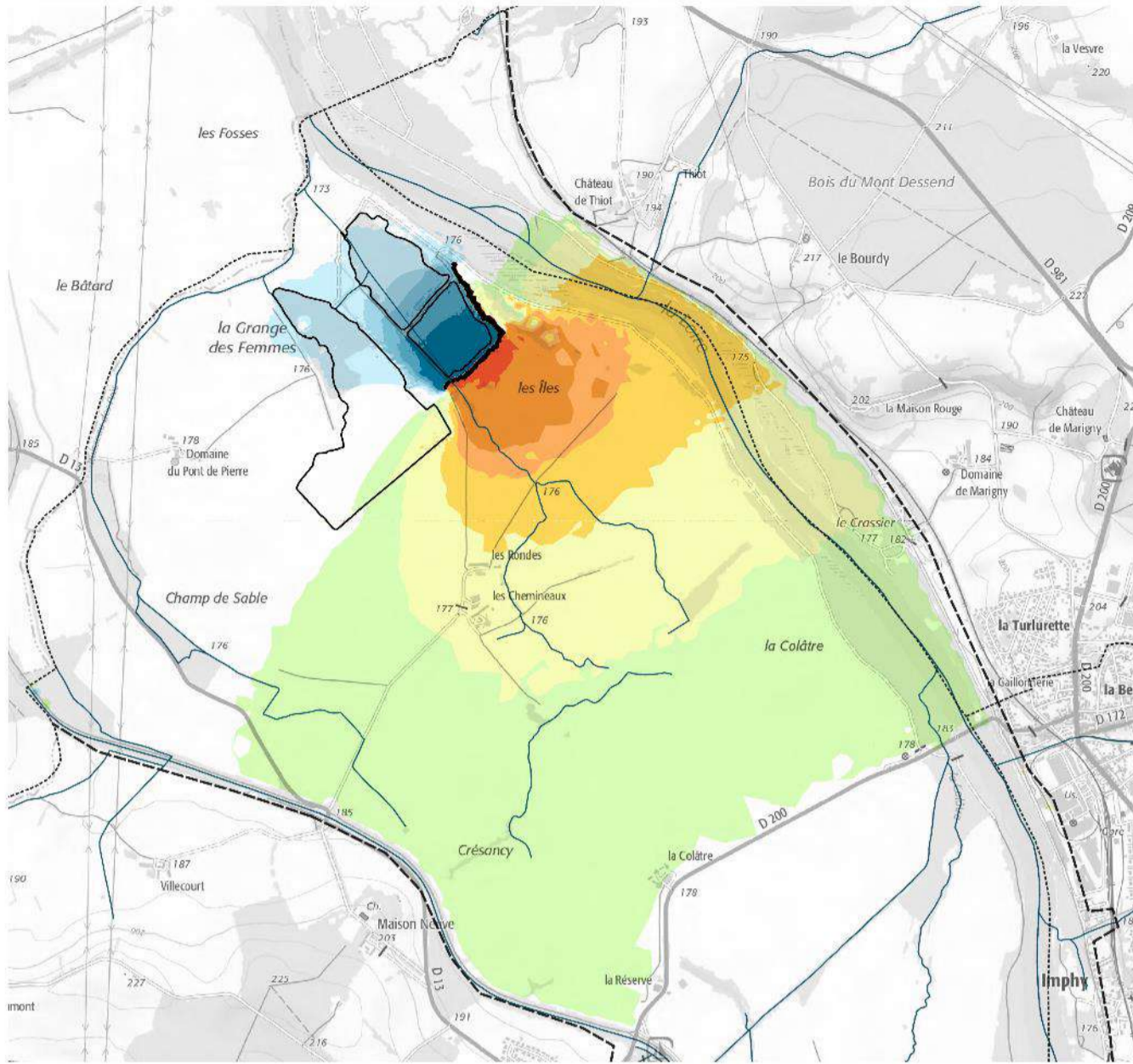
Figure 46: Maillage scénario 1 - Topographie avec peigne entièrement obstrué (en rouge)

Figure 47: Maillage scénario 2 – Topographie avec peigne partiellement obstrué (en rouge)

Pour chaque scénario, les différences de hauteurs et de vitesses d'écoulements avec le modèle avec centrale ont été étudiées et sont représentées dans les cartographies suivantes (reprises en annexes) :

- ▲ Pour les différences de hauteurs avec M.CENTRALE, la Figure 48 correspond au scénario 1 et la Figure 49 correspond au scénario 2.
- ▲ Pour les différences de vitesses avec M.CENTRALE, la Figure 50 correspond au scénario 1 et la Figure 51 correspond au scénario 2.

La méthodologie utilisée pour la réalisation de ces cartes est identique à celle présentée en partie 5 (au paragraphe 5 Comparaison des résultats entre le modèle ANTEA et le modèle actualisé, page 23).



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

Impacts du système anti embâcles

**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 1 et MODELE
CENTRALE**

Q200 ans avec brèche

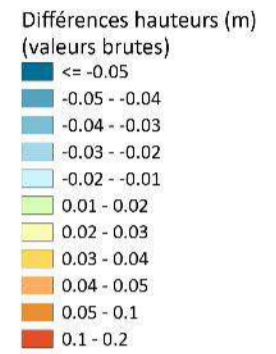
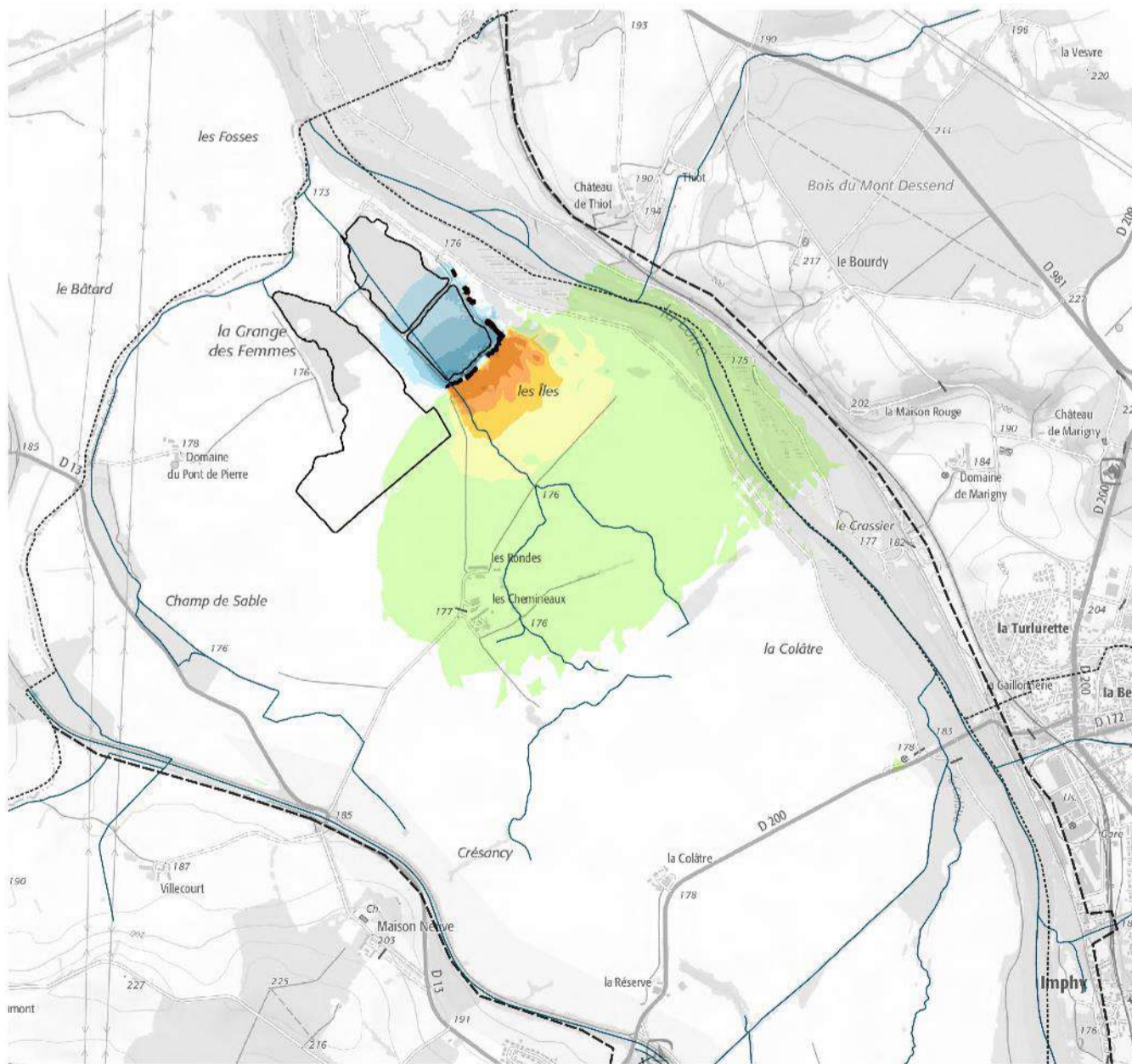


Figure 48: Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

Impacts du système anti embâcles

**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 2 et MODELE
CENTRALE**

Q200 ans avec brèche

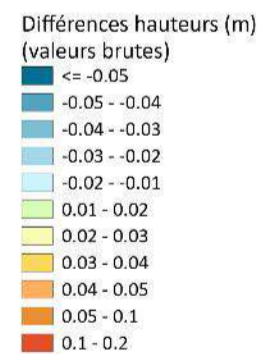
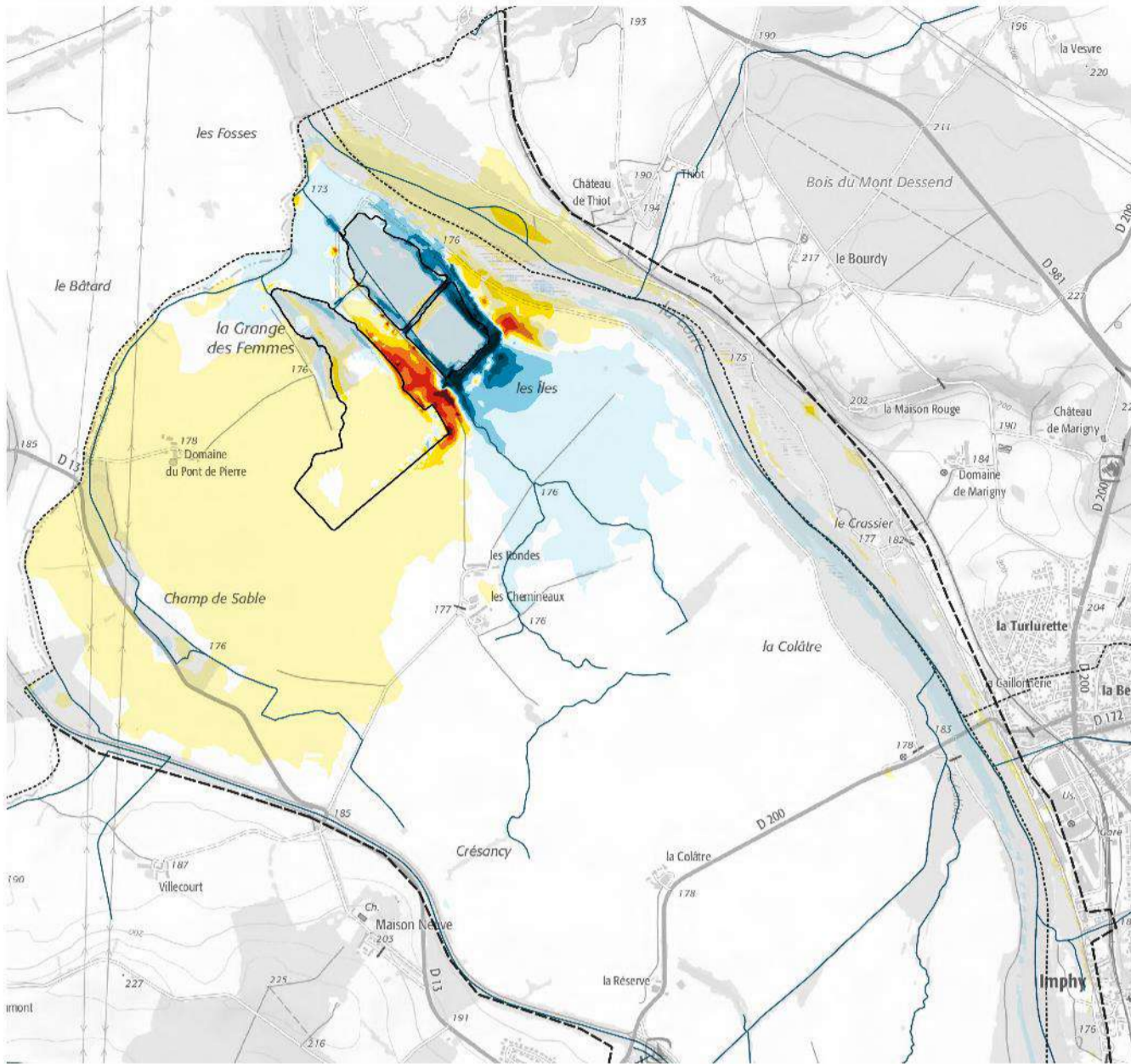


Figure 49: Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

Impacts du système anti embâcles

**DIFFERENCES VITESSES
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 1 et MODELE
CENTRALE**

Q200 ans avec brèche

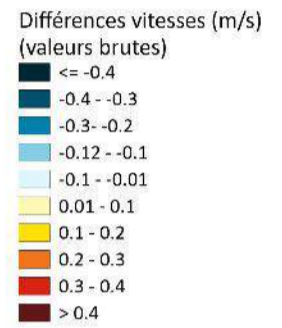
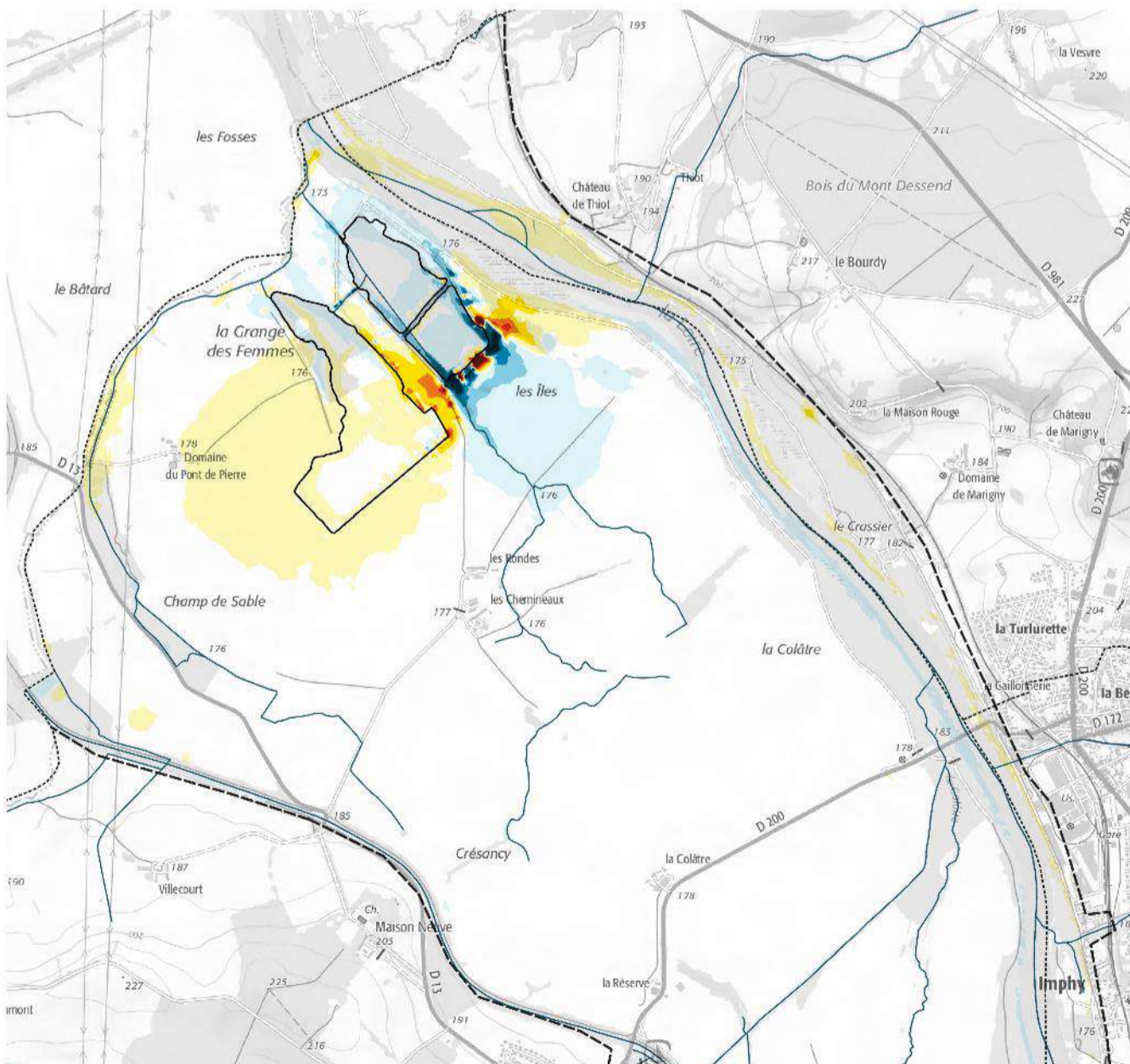


Figure 50: Différences de vitesses observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

Impacts du système anti embâcles

**DIFFERENCES VITESSES
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 2 et MODELE
CENTRALE**

Q200 ans avec brèche

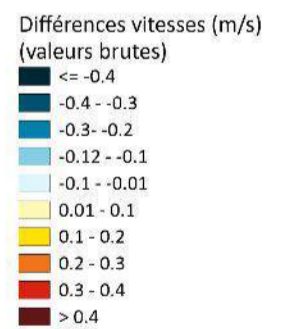
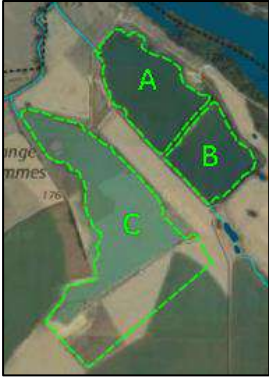


Figure 51: Différences de vitesses observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale

L'analyse de ces cartes permet de faire le constat suivant :

- ▲ En termes d'impact sur les hauteurs d'eau, les deux modèles indiquent des différences très minimales :

Pour rappel



- Dans le cas d'une obstruction totale, la hauteur d'eau augmente de 1 à 3 cm depuis Imphy jusqu'en aval du lieudit « Les Rondes » (en vert et jaune dans la Figure 48). En se rapprochant de l'amont du bassin B, la différence augmente légèrement, jusqu'à 10 cm (en orange). Enfin, au droit de l'ouvrage, la hauteur d'eau augmente de 15 cm (en rouge).
 - Dans le cas d'une obstruction partielle, l'impact de l'ouvrage est visible uniquement jusqu'au lieudit « Les Rondes » : de là jusqu'à proximité de l'ouvrage, les hauteurs n'augmentent que de 1 à 3 cm (en vert et jaune dans la Figure 49). Enfin, au droit de l'ouvrage, la hauteur d'eau augmente de 10 cm (en orange foncé).
 - A l'aval de l'ouvrage on observe une légère baisse du niveau d'eau, allant de 1 à 5 cm (en bleu dans la Figure 48 et la Figure 49), principalement localisée dans les bassins A et B.
- ▲ En termes d'impact sur les vitesses d'écoulement, les deux modèles indiquent des différences marquées par endroit mais localisées uniquement dans la gravière ou à proximité immédiate :
 - Dans le cas d'une obstruction totale, les vitesses sont fortement ralenties dans l'axe de l'ouvrage : on observe un ralentissement en amont et en aval du bassin B ainsi que tout le long de l'ouvrage (en bleu dans la Figure 50). En revanche, l'obstruction entraînant une déviation des écoulements, on observe une augmentation des vitesses à l'est du bassin C et surtout entre les bassins B et C (en rouge), au niveau du champ séparant la gravière. Cette augmentation n'a que peu d'impact au sein même des bassins et donc n'induit pas d'effort supplémentaire sur les panneaux photovoltaïques.
 - Dans le cas d'une obstruction partielle, on observe le même type de phénomène mais avec une intensité bien moindre dans les différences observées. On observe également une accélération de la vitesse dans l'ouvrage, au niveau des tronçons non obstrués. Cette accélération reste très localisée (en rouge dans la Figure 51) et ne modifie pas les vitesses au sein du bassin.

Cette analyse montre que les impacts de l'ouvrage anti embâcles sont très localisés et n'engendrent pas de changement majeur. De plus, comme vu précédemment, les scénarios étudiés se veulent très pessimistes au regard de la probabilité d'obstruction de l'ouvrage. Ainsi, l'impact de cette protection sera en réalité encore moindre qu'observé dans les cartes précédentes.

Aussi, dans l'hypothèse où une telle situation se produit, les vitesses d'écoulements et les hauteurs d'eau dans les bassins ne sont que très peu modifiées et les valeurs à retenir pour le dimensionnement des ancrages sont inchangées.

Un tel ouvrage peut donc être mis en place dans le cadre du projet aux regards de ses impacts hydrauliques, et ce sans modifier les valeurs dimensionnantes présentées au paragraphe 6.5.4 Synthèse des éléments dimensionnants en page 44.

7.3. SYNTHÈSE DE LA PROBLÉMATIQUE DES EMBÂCLES

L'analyse de la sensibilité du site à capturer des corps flottants pouvant générer des embâcles a montré que peu de débris pouvaient transiter sur le site en crue, notamment à mesure que l'on s'éloigne du lit mineur de la Loire. Les informations récoltées traitant des événements historiques semblent appuyer ce constat.

Cependant, la crue dimensionnante pour le projet est assimilée à une crue de période de retour 200 ans. Ce type de phénomène très intense peut engendrer des désordres difficiles à estimer mais où la présence de flottants est à envisager. Ainsi, pour préserver autant que possible l'intégrité de la centrale, des mesures de protections ont été proposées.

Deux grands types de solutions de protection ressortent, les mesures préventives et les mesures actives. Ces deux types de mesures sont complémentaires : pour s'assurer de minimiser autant que possible le risque, l'ensemble des mesures peut être envisagé en simultané. Quand les mesures préventives s'attachent à éviter, avant une crue, la production de flottants pouvant être problématiques, les mesures actives agissent au moment d'une crue pour retenir les flottants éventuellement charriés, aux abords de la centrale.

Pour s'assurer que les mesures actives pouvaient être mises en place sans aggraver le risque inondation, une étude d'impact a été réalisée. Les conclusions valident la quasi transparence de l'ouvrage et donc sa possibilité d'intégration au projet.

Les solutions de protection proposées consistent en :

- ▲ Un entretien de la ripisylve, sur environ 3 km en bord de Loire ;
- ▲ Une évacuation des débris en lit majeur à l'annonce d'une crue, du pont d'Imphy jusqu'à la gravière, a priori dès la Q2 ;
- ▲ Une orientation du type de cultures, pour limiter dans le futur les zones de production de flottants en amont de la gravière ;
- ▲ La mise en place des deux dromes, pièges flottants permanents, installées dans les bassins en amont des îlots, permettant de capturer les petits éléments en surface et sous la surface. Les deux dromes seraient de 250 mètres et 600 mètres environ ;
- ▲ La mise en place d'une protection anti embâcle, de type peigne, permettant de retenir les gros corps flottants. La côte d'arase doit être de 180 mNGF pour un linéaire de 600 mètres environ. Cette protection est à implanter le long du bassin B, en « L ».

En se basant sur les plans finaux d'Eléments, ces solutions semblent bien avoir été intégrées.

La localisation de ces mesures est présentée dans la figure récapitulative en page suivante.

Remarque : le risque d'ensablement n'a pas fait l'objet d'investigation poussée. Les éléments disponibles ne permettent pas de conclure à un risque élevé pour des crues d'intensité moyenne. La problématique de capture de la Loire par la gravière est un sujet qui a été traité par la société SETEC HYDRATEC dans son rapport de 2017. Des ouvrages permettant le remplissage anticipé de la gravière ont été prévus limitant ce risque. Il n'existe que peu d'autre action possible, mise à part une surveillance du site.

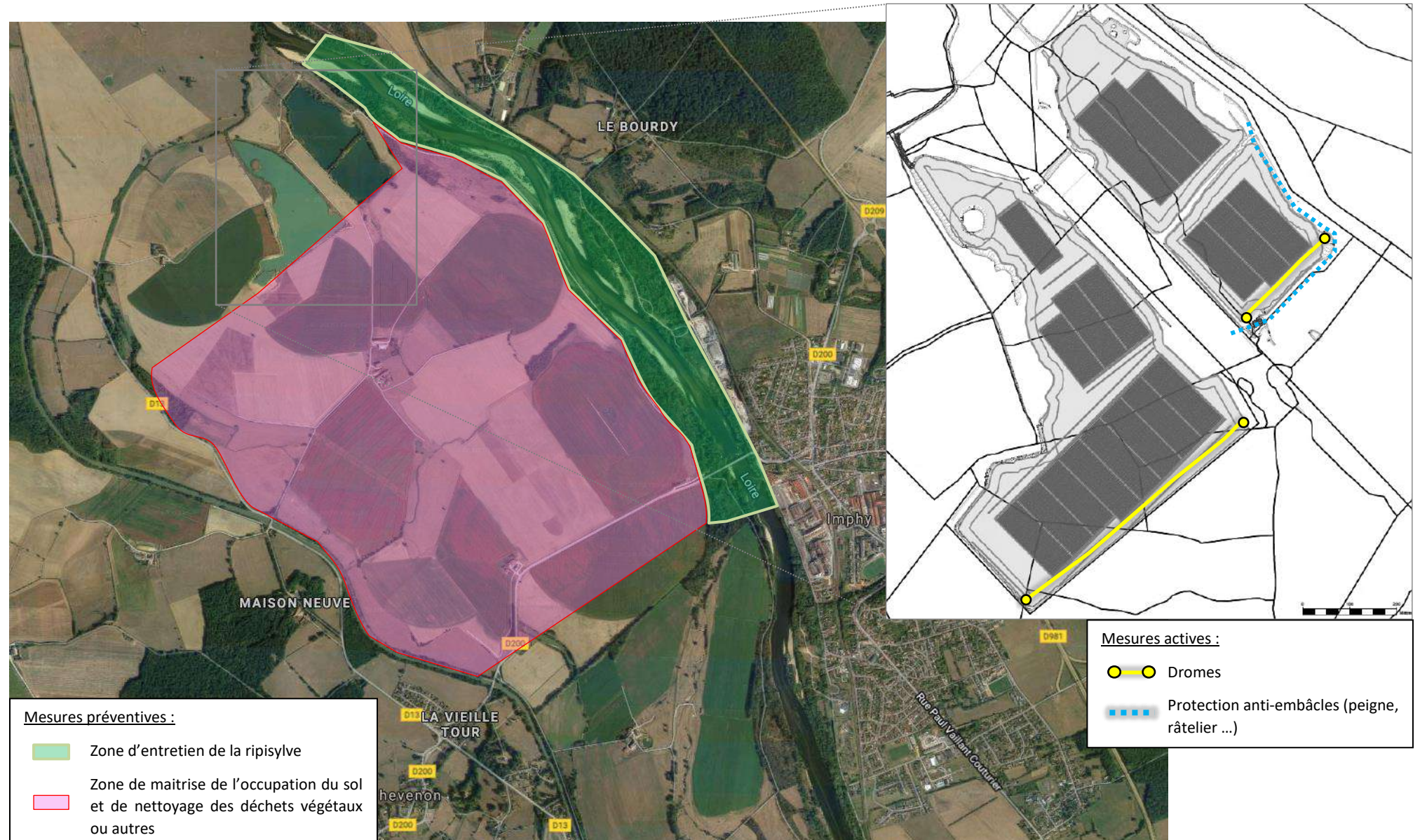


Figure 52: Synthèses des solutions pour répondre à la problématique d'embâcles

8. CONCLUSION

Le projet de centrale photovoltaïque flottante portée par la société Eléments a fait l'objet d'investigations hydrauliques. Le projet se trouvant sur la commune de Chevenon, sur une gravière en rive gauche de la Loire, dans le lit majeur, sa vulnérabilité aux inondations a été étudiée.

L'objectif est de donner des préconisations pour le dimensionnement de la centrale et sa protection, tant pour répondre aux besoins de la société Eléments que pour être en adéquation avec les exigences du PPRi en vigueur, porté par les services de l'Etat, le Service Loire Sécurité Risque de la Direction Départementale des Territoires de la Nièvre (DDT 58).

8.1. RESULTATS DE L'ANALYSE

En s'appuyant sur un modèle hydraulique 2D existant de la Loire sur ce secteur, repris et affiné au droit de la zone d'étude, les impacts hydrauliques de la centrale ont pu être étudiés. La crue de référence utilisée pour ce projet est la crue de type PHEC (prise équivalente à une crue de période de retour 200 ans pour l'étude des vitesses), choisie en discussion avec les services de l'Etat.

En intégrant la centrale au modèle 2D, les différences de hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulements avec le cas sans centrale ont été étudiées. L'analyse a montré que la présence de la centrale n'avait que très peu d'influence en dehors de la gravière : les hauteurs d'eau sont légèrement augmentées en amont mais pas de façon suffisante à changer la classe de hauteurs définies dans le PPRi. Il en est de même pour les vitesses d'écoulements. **Le projet de centrale a donc un impact notable (et toutefois modéré) uniquement sur les dynamiques d'écoulements au sein de la gravière.**

➔ Les deux premières exigences de la DDT 58 sont remplies :

- « 1 - que la présence de l'installation n'aggrave pas le risque inondation ;
- 2 - que l'installation n'a pas de conséquence négative sur les zones de grand écoulement des crues, à savoir les zones de vitesse élevée. »

Les résultats du modèle avec centrale ont ensuite été exploités pour fournir des entrants pour le dimensionnement de la centrale, afin qu'elle résiste à la crue de référence. **Quatre préconisations principales ont été formulées :**

- ▲ De dimensionner les ancrages sur les bases des vitesses issues du modèle hydraulique 2D avec centrale, à savoir :

Tableau 5: Vitesse maximale (m/s) observée par tranche de direction de 20° (0°=Nord ; 90°=Est) à retenir pour le dimensionnement des ancrages

Dir (°)	0 à 20	20 à 40	40 à 60	60 à 80	80 à 100	100 à 120	120 à 140	140 à 160	160 à 180
V (m/s)	0.56	0.46	0.29	0.25	0.19	0.21	0.21	0.19	0.27
Dir (°)	180 à 200	200 à 220	220 à 240	240 à 260	260 à 280	280 à 300	300 à 320	320 à 340	340 à 360
V (m/s)	0.27	0.35	0.31	0.42	0.69	0.73	0.82	0.79	0.70

- ▲ De prévoir une longueur suffisante des lignes d'ancrage pour s'adapter au marnage des bassins et assurer la stabilité de la centrale, à savoir autoriser un marnage entre les côtes de 171 mNGF et 180 mNGF ;
- ▲ De prévoir un décalage par rapport aux berges des bassins ;
- ▲ D'implanter les sites sensibles à une côte suffisante pour être hors d'eau dans le cas de la survenance d'une crue de type PHEC, et les étanchéiser, à savoir une côte minimale de 180 mNGF.

En prenant en compte ces quatre éléments dans le dimensionnement de la structure, **l'intégrité de la centrale devrait être assurée jusqu'à la crue de référence.**

➔ **Le projet remplit les deux dernières exigences de la DDT 58 :**

- « 3 - que l'installation résistera à une inondation de type PHEC (de par la hauteur de submersion et de par la vitesse d'écoulement de la crue) ;
- 4 - que l'installation sera dimensionnée au niveau des ancrages pour éviter tout arrachement d'une partie des composants en cas de crue. »

Enfin, la problématique des embâcles a été abordée. **L'analyse a montré la faible sensibilité du site à capturer des corps flottants pouvant générer des embâcles. Cependant, par précaution et pour préserver autant que possible l'intégrité de la centrale, des mesures de protections ont été proposées.**

Deux grands types de solutions ressortent, les mesures préventives et les mesures actives. Ces deux types de mesures sont complémentaires et sont à mettre en place en parallèle. **Elles consistent en :**

- ▲ **Un entretien de la ripisylve, sur environ 3 km en bord de Loire en amont ;**
- ▲ **Une évacuation des débris en lit majeur à l'annonce d'une crue, du pont d'Imphy jusqu'à la gravière, a priori dès la Q2 (à valider en fonction du protocole d'alerte mis en place par les services de l'Etat) ;**
- ▲ **Une orientation du type de cultures, pour limiter dans le futur les zones de production de flottants en amont de la gravière ;**
- ▲ **La mise en place des deux dromes, pièges flottants permanents, installées dans les bassins en amont des îlots, permettant de capturer les petits éléments en surface et sous la surface. Les deux dromes seraient de 250 mètres et 600 mètres environ ;**
- ▲ **La mise en place d'une protection anti embâcle, de type peigne, permettant de retenir les gros corps flottants. La côte d'arase doit être de 180 mNGF pour un linéaire de 600 mètres environ. Cette protection est à implanter le long de l'angle Sud-Est du bassin B, en « L ».**

La présente étude permet donc de répondre aux exigences du PPRi quant à la prise en compte du risque inondation dans le projet de centrale photovoltaïque flottante. Elle permet également de fournir les paramètres de dimensionnement à considérer pour assurer l'intégrité de la centrale jusqu'à la crue de projet ainsi que des solutions de protection associées.

8.2. INTEGRATION DES PRECONISATIONS DANS L'ETUDE GENERALE

Les différentes préconisations avancées dans cette étude semblent bien avoir été prises en compte par Eléments, porteur du projet de la centrale photovoltaïque, et le bureau Ciel&Terre, en charge de l'étude d'ancrage.

Concernant les préconisations sur le dimensionnement de la centrale, on peut relever les points suivants :

- ▲ Dans l'étude d'ancrage de Ciel&Terre, les vitesses d'écoulements du modèle avec centrale ont été intégrées aux calculs ;

8. ETUDE D'IMPACT EN CONDITION D'UTILISATION (PRESENCE DE L'ILOT SOLAIRE ET D'UN SYSTEME ANTI-EMBACLES)

8.1 DESCRIPTION

Afin de s'assurer du bon fonctionnement du système solaire flottant en condition d'utilisation, une étude des charges modélisant l'impact du courant sur les îlots solaires a été réalisée. Pour se faire, chaque ancrage a été dimensionné en prenant en compte la vitesse maximale ayant lieu dans la gravière (et donc pas nécessairement en chaque point). Il s'agit d'un modèle pessimiste qu'à réalisé le bureau d'études HYDRETIJDES afin de répondre aux points 3 et 4 du PPRi. (dimensionnement des ancrages). Les vitesses maximales (et donc conservatives) sont présentées ci-dessous :

Figure 53 : Extrait du rapport de Ciel&Terre concernant le dimensionnement des ancrages

- ▲ Toujours dans l'étude d'ancrage de Ciel&Terre, les caractéristiques du marnage des bassins ont bien prises en compte ;

Table 1: Conditions générales du réservoir

	CHEVENON
Localisation	Carrières, Chevenon, Nièvre, France
Conditions de mesure	N/D
Type de fond	Irrégulier
Niveau d'eau maximum (HWL)	Il correspond à la cote des plus hautes eaux, tenant compte des risques d'inondations HWL= 180.47 mNGF
Niveau d'eau moyen	MWL = 173 mNGF
Niveau d'eau minimum (LWL)	LWL = 171 mNGF
Profondeur approximative	En général : 7 à 8 m
Courant	Différentes valeurs ont été déterminées en fonction de la direction suite à une étude hydraulique réalisée par un bureau d'études spécialisé.

Figure 54: Extrait du rapport de Ciel&Terre concernant les paramètres d'entrées

- ▲ Le décalage par rapport aux berges apparaît bien dans les plans d'Eléments, ligne verte dans la figure suivante ;

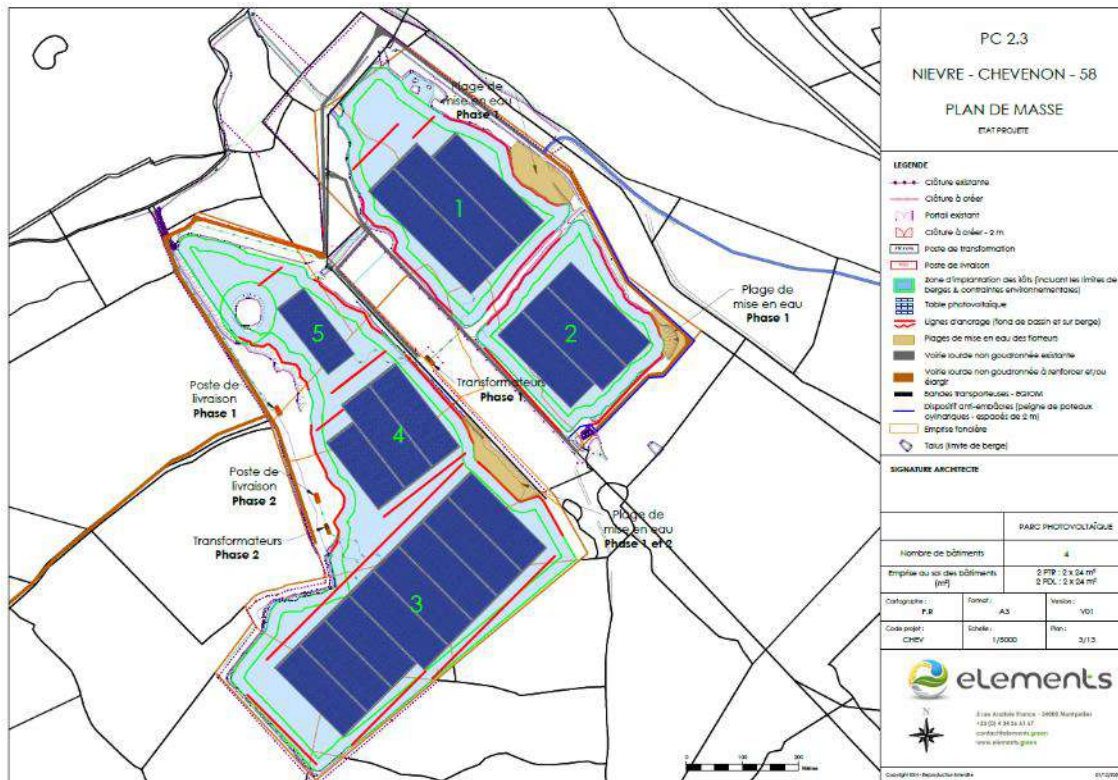


Figure 55: Plan de masse du projet réalisé par Eléments

- ▲ La surélévation au-dessus de la côte des PHEC des postes de transformations est bien représentée dans les plans réalisés par Eléments ;

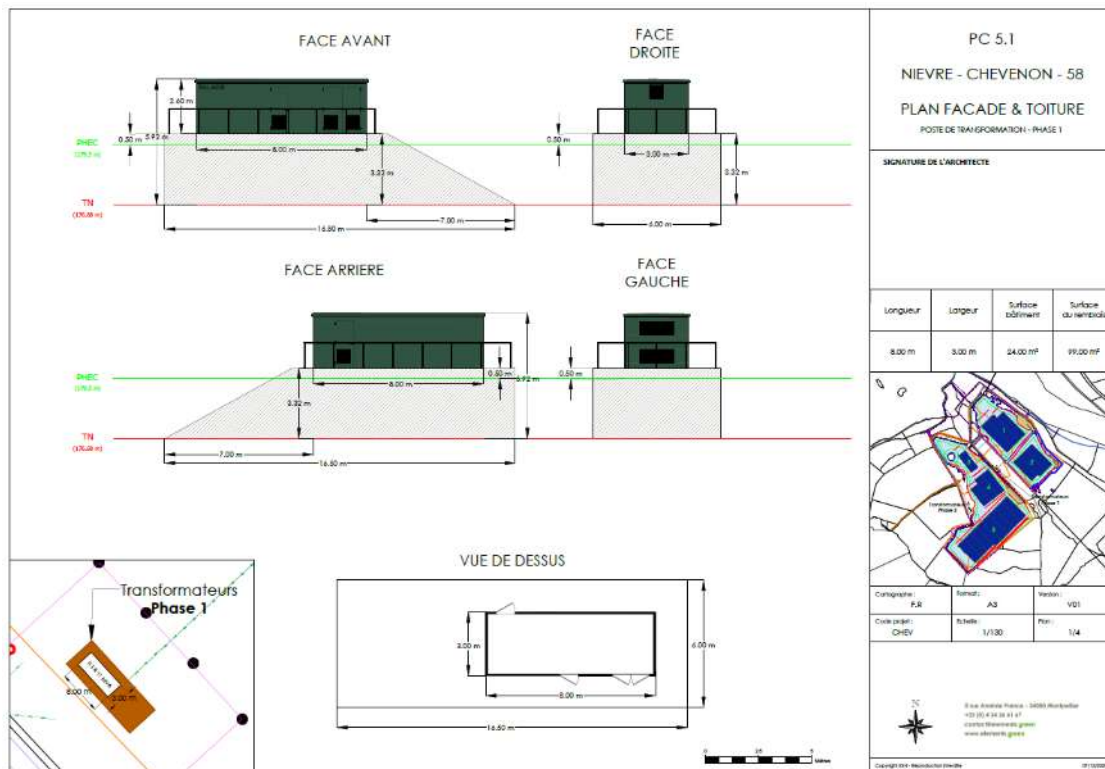


Figure 56: Plan de face d'un poste de transformation, réalisé par Eléments

Concernant les préconisations sur la protection de la centrale contre les embâcles, on peut relever les points suivants :

- ▲ Les mesures préventives (à savoir l'entretien de la ripisylve, l'évacuation des débris en lit majeur à l'annonce d'une crue et l'orientation du type de cultures) seront intégrées dans les protocoles d'exploitation et de maintenance d'Eléments.

Notamment, sur l'évacuation des débris, Eléments signera une convention de gestion spéciale avec l'exploitant de la zone afin de ramasser les débris solides à l'annonce d'une crue. Les équipes exploitation et maintenance Eléments intégreront cet enjeu.

Aussi, concernant l'entretien de la ripisylve, il est important de noter qu'un service dédié de la DDT 58 est en charge de cet entretien. Eléments se rapprochera de ce service pour prendre connaissance des mesures prises.

- ▲ Les mesures actives ont également été intégrées au projet à ce stade de l'étude, elles apparaissent dans les plans réalisés par Eléments.

ANNEXES – ATLAS CARTOGRAPHIQUES

Par ordre d'apparition

Cartes de résultats des modèles :

- ▲ Hauteurs d'eau de M.ANTEA
- ▲ Vitesses d'écoulements de M.ANTEA

- ▲ Hauteurs d'eau de M.ACTUALISE
- ▲ Vitesses d'écoulements de M.ACTUALISE

- ▲ Hauteurs d'eau de M.CENTRALE
- ▲ Vitesses d'écoulements de M.CENTRALE

Cartes de comparaison des résultats entre le modèle actualisé et le modèle ANTEA :

- ▲ Différences de hauteurs d'eau en valeurs brutes entre M.ACTUALISE et M.ANTEA
- ▲ Changements de classes de hauteurs d'eau entre M.ACTUALISE et M.ANTEA

- ▲ Différences de vitesses d'écoulements en valeurs brutes entre M.ACTUALISE et M.ANTEA
- ▲ Changements de classes de vitesses d'écoulements entre M.ACTUALISE et M.ANTEA

Cartes de comparaison des résultats entre le modèle avec centrale et le modèle actualisé :

- ▲ Différences de hauteurs d'eau en valeurs brutes entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE
- ▲ Changements de classes de hauteurs d'eau entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE
- ▲ Changements de classes de hauteurs d'eau entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE – Vue centrée sur l'aval

- ▲ Différences de vitesses d'écoulements en valeurs brutes entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE
- ▲ Changements de classes de vitesses d'écoulements entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE
- ▲ Changements de classes de vitesses d'écoulements entre M.CENTRALE et M.ACTUALISE – Vue centrée sur l'aval

Cartes d'étude d'impact du système anti embâcles :

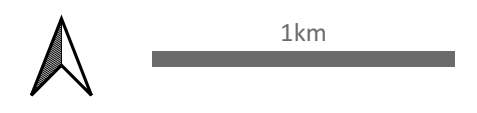
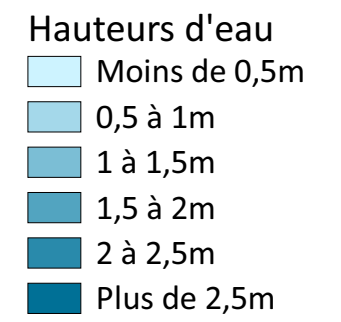
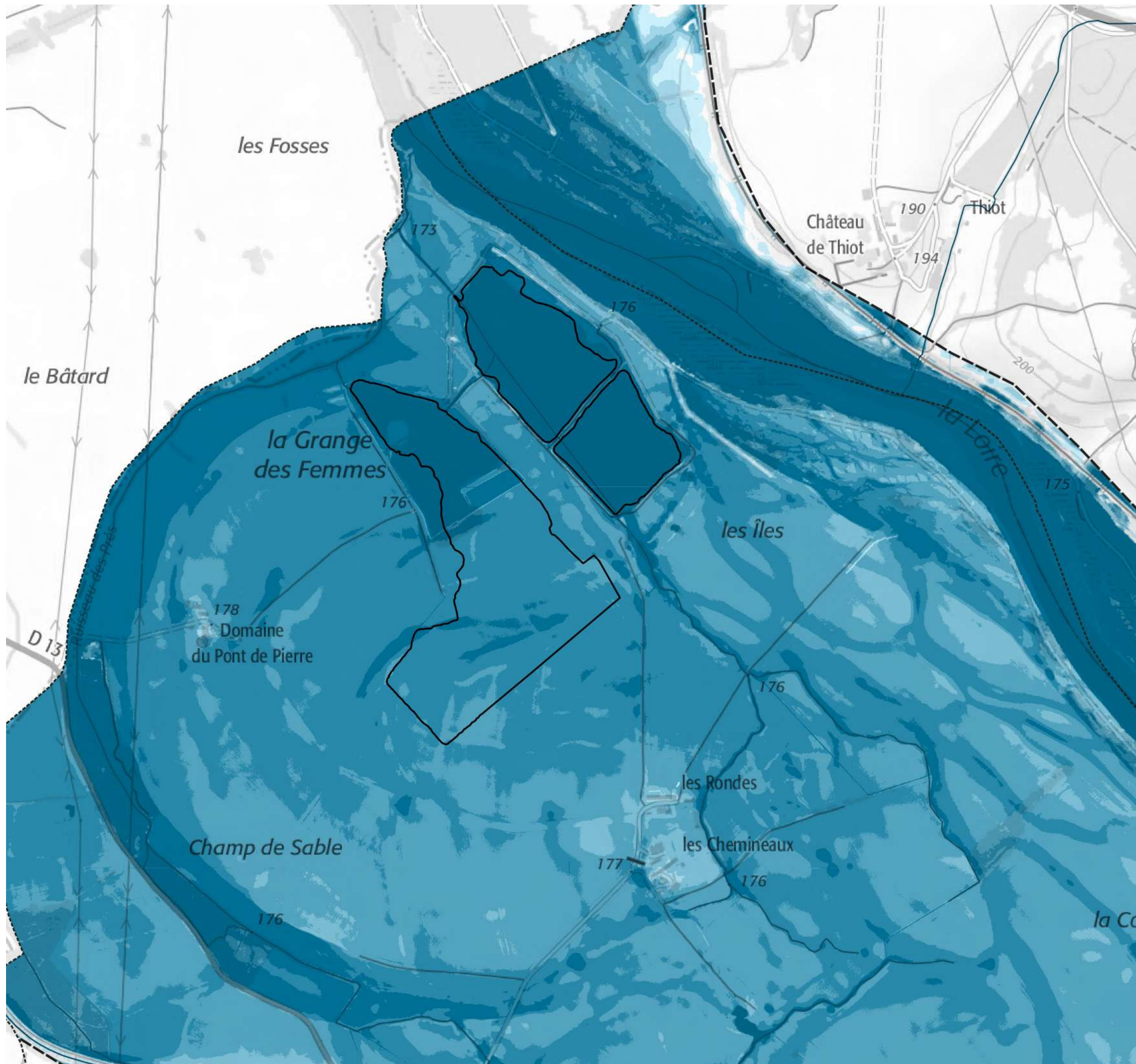
- ▲ Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale
- ▲ Différences de vitesses d'écoulement observées entre le scénario 1 et le modèle avec centrale

- ▲ Différences de hauteurs d'eau observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale
- ▲ Différences de vitesses d'écoulement observées entre le scénario 2 et le modèle avec centrale

ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

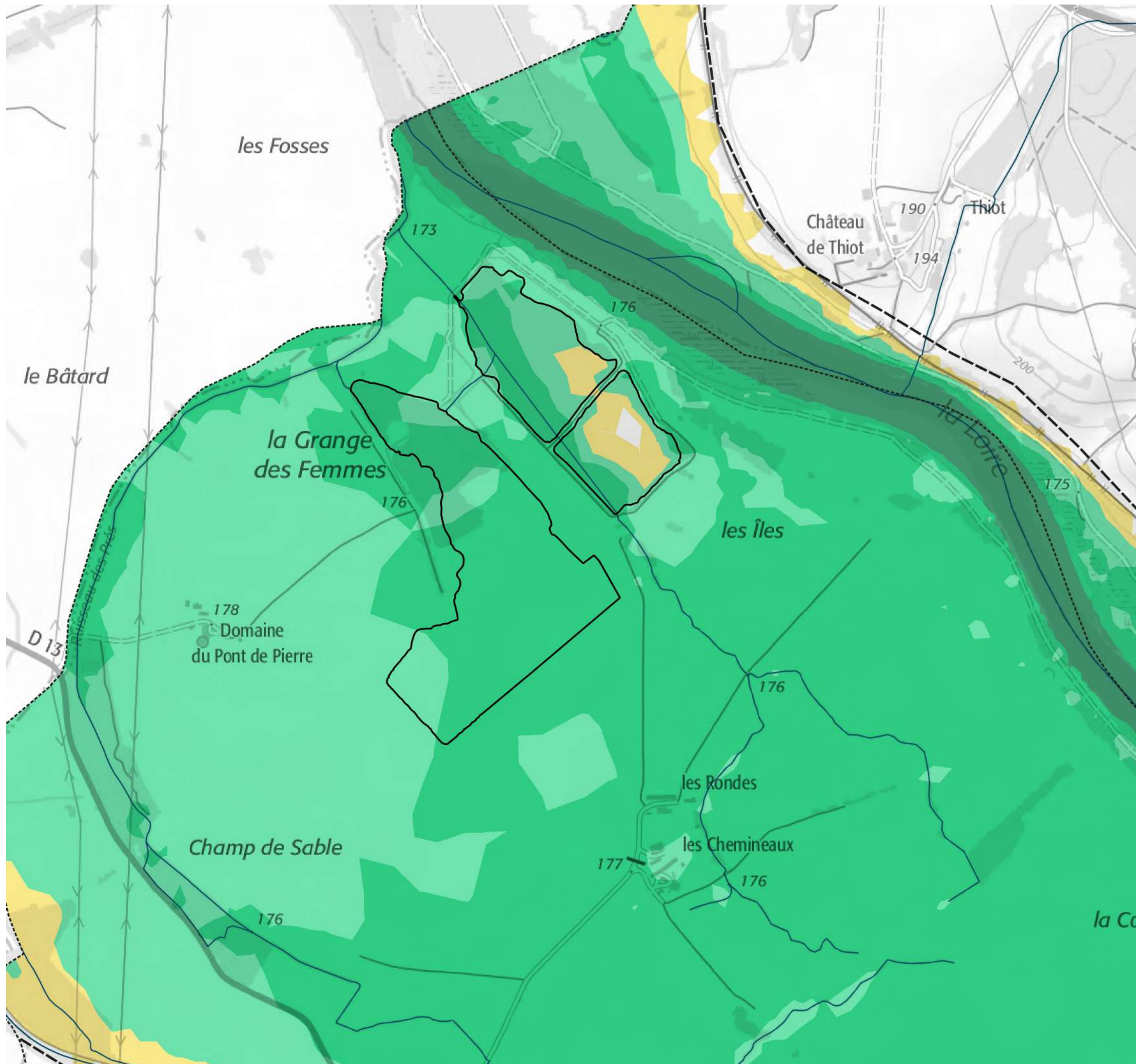
HAUTEUR D'EAU GRAVIERE
MODELE ANTEA

Q200 ans avec brèche



ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

VITESSES D'ÉCOULEMENT
GRAVIÈRE - MODÈLE ANTEA
Q200 ans avec brèche



- Vitesse d'écoulement
- Moins de 0,2m/s
 - 0,2 à 0,5m/s
 - 0,5 à 1m/s
 - Plus de 1m/s



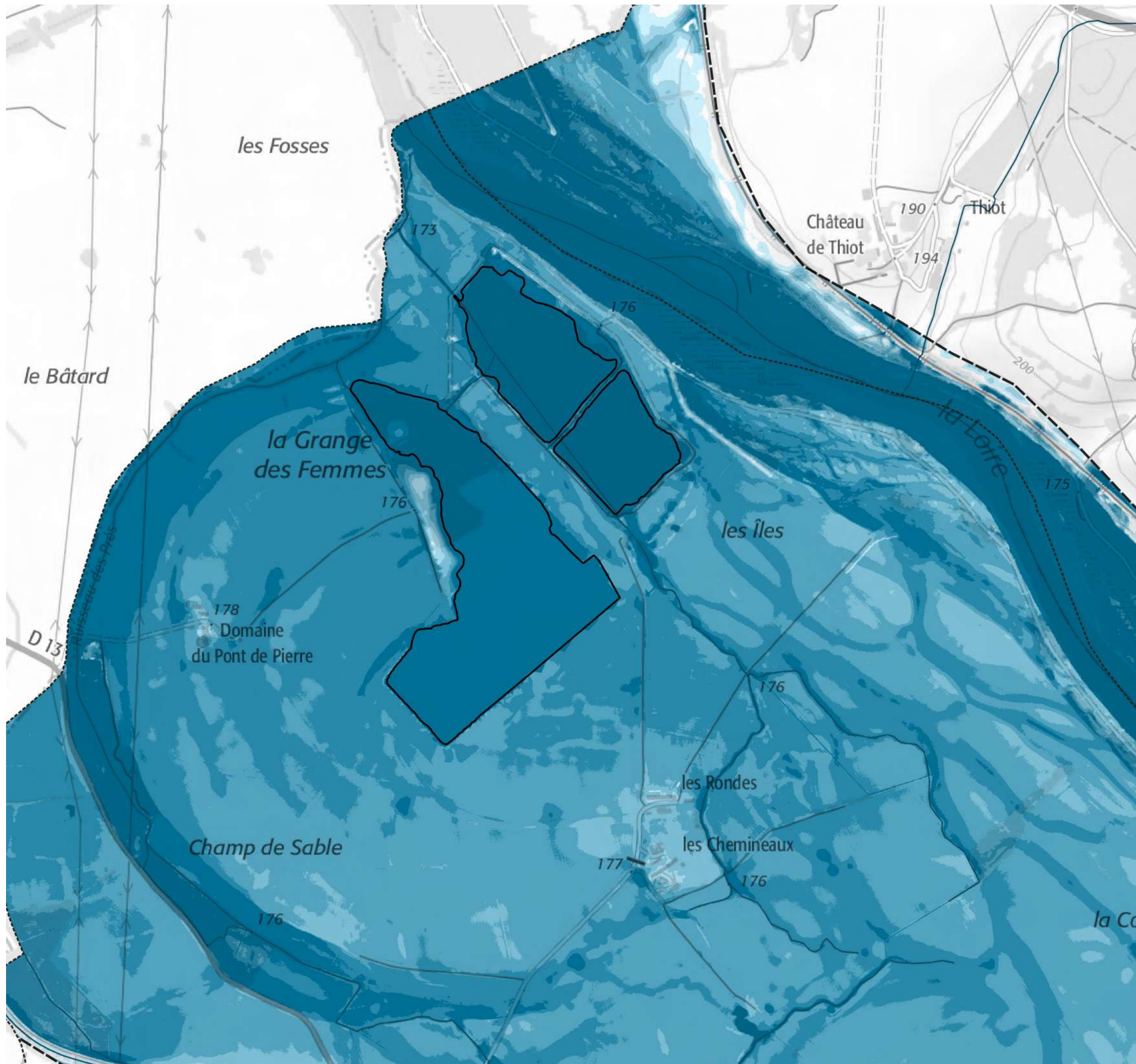
1km



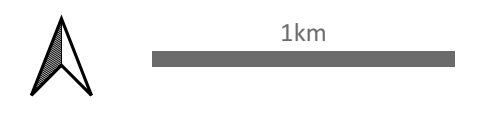
ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

HAUTEUR D'EAU GRAVIERE
MODELE ACTUALISE

Q200 ans avec brèche

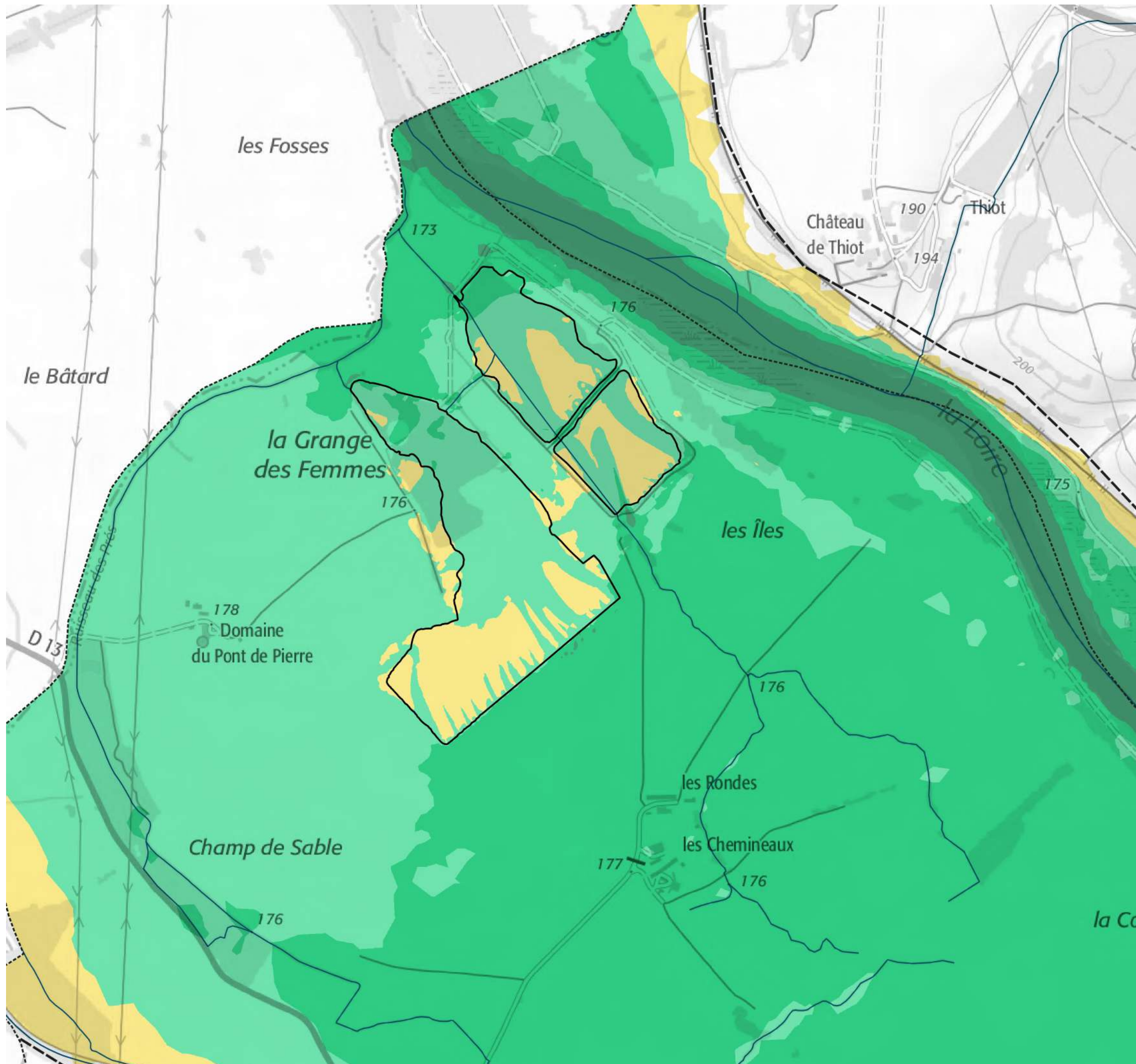


- Hauteurs d'eau
- Moins de 0,5m
 - 0,5 à 1m
 - 1 à 1,5m
 - 1,5 à 2m
 - 2 à 2,5m
 - Plus de 2,5m



ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

VITESSES D'ÉCOULEMENT
GRAVIÈRE - MODÈLE
ACTUALISÉ
Q200 ans avec brèche



- Vitesse d'écoulement
- Moins de 0,2m/s
 - 0,2 à 0,5m/s
 - 0,5 à 1m/s
 - Plus de 1m/s

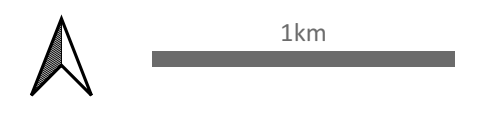
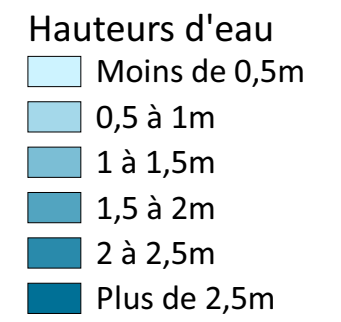
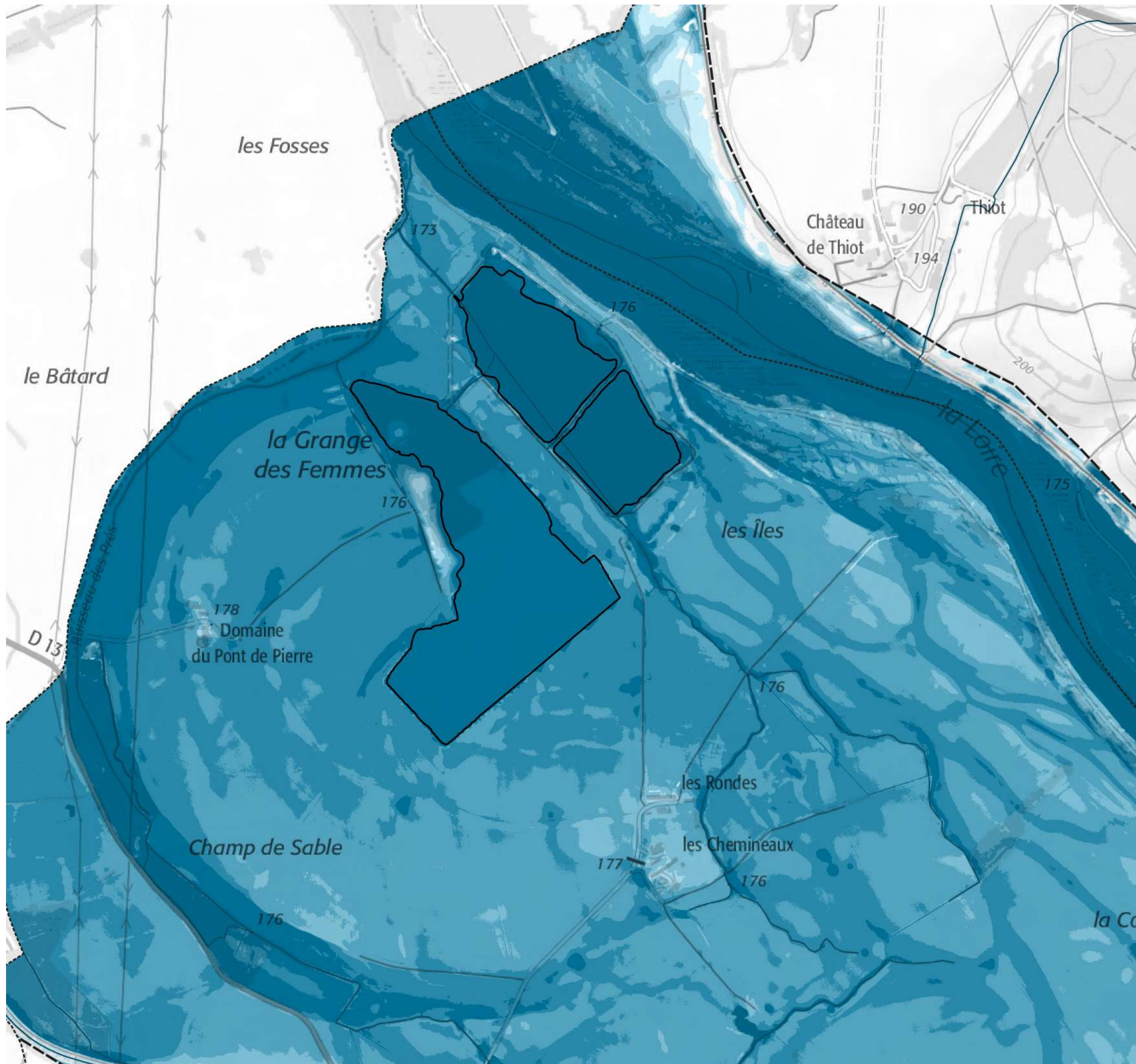


1km

ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

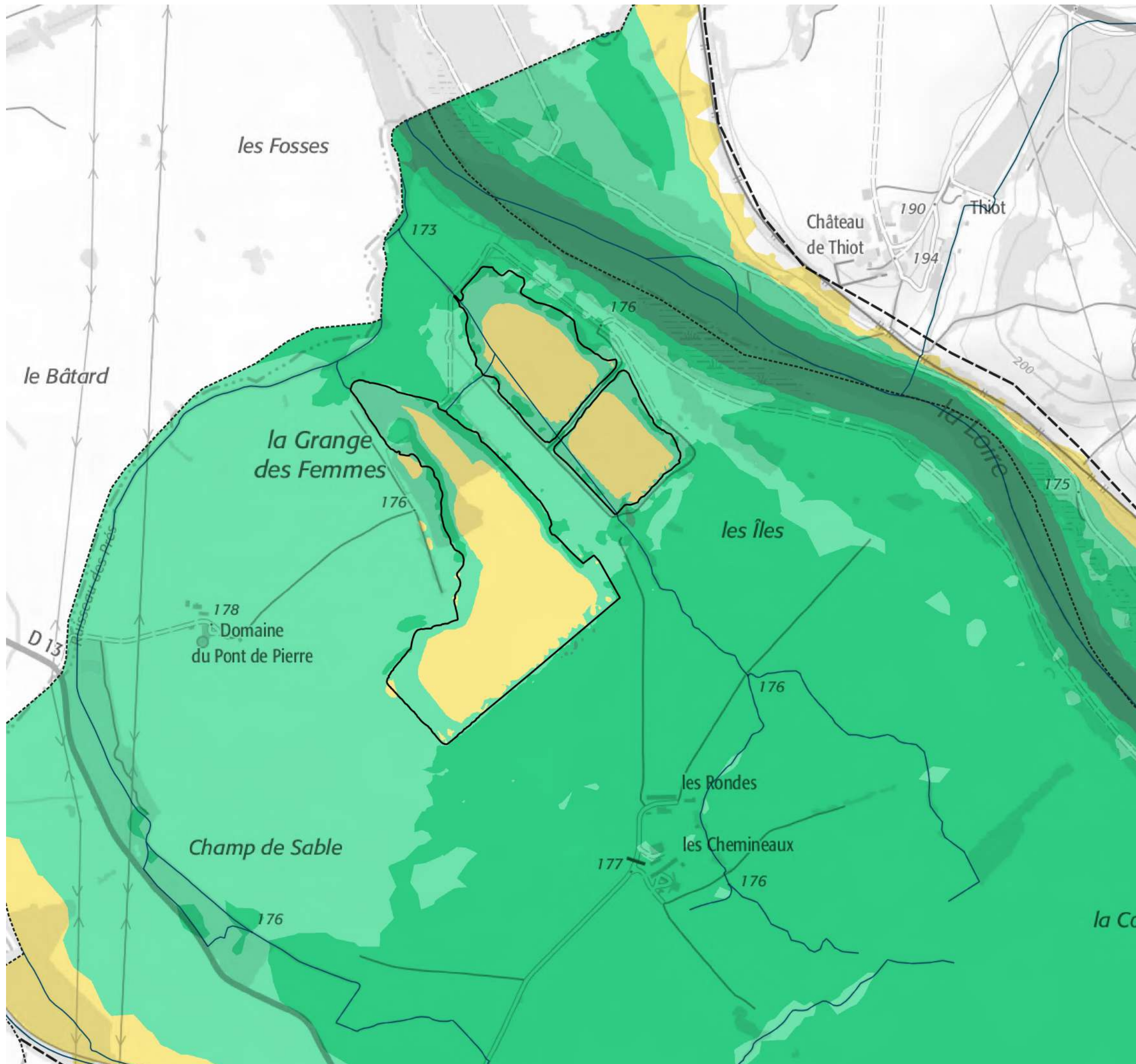
HAUTEUR D'EAU GRAVIERE
MODELE CENTRALE

Q200 ans avec brèche



ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

VITESSES D'ÉCOULEMENT
GRAVIÈRE - MODÈLE
CENTRALE
Q200 ans avec brèche



Vitesse d'écoulement

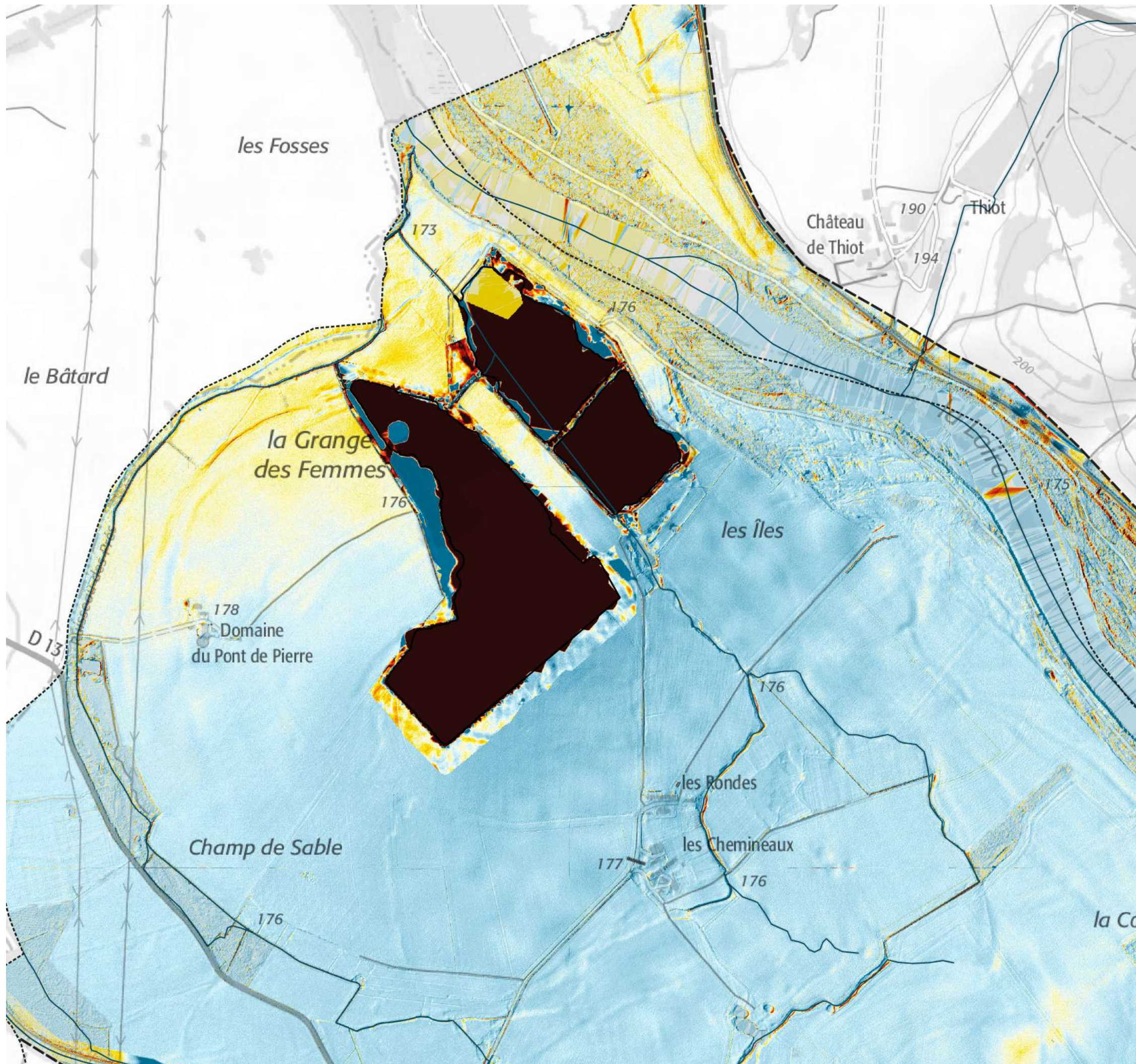
- Moins de 0,2m/s
- 0,2 à 0,5m/s
- 0,5 à 1m/s
- Plus de 1m/s



1km

**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche**

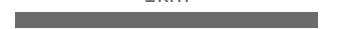


Differences hauteurs (m)
(valeurs brutes)

- ≤ -0.20
- -0.20 - -0.15
- -0.15 - -0.1
- -0.1 - -0.05
- -0.05 - -0.01
- 0.01 - 0.05
- 0.05 - 0.1
- 0.1 - 0.15
- 0.15 - 0.2
- 0.2 - 0.25
- 0.25 - 0.3
- 0.3 - 0.35
- 0.35 - 0.4
- > 0.4

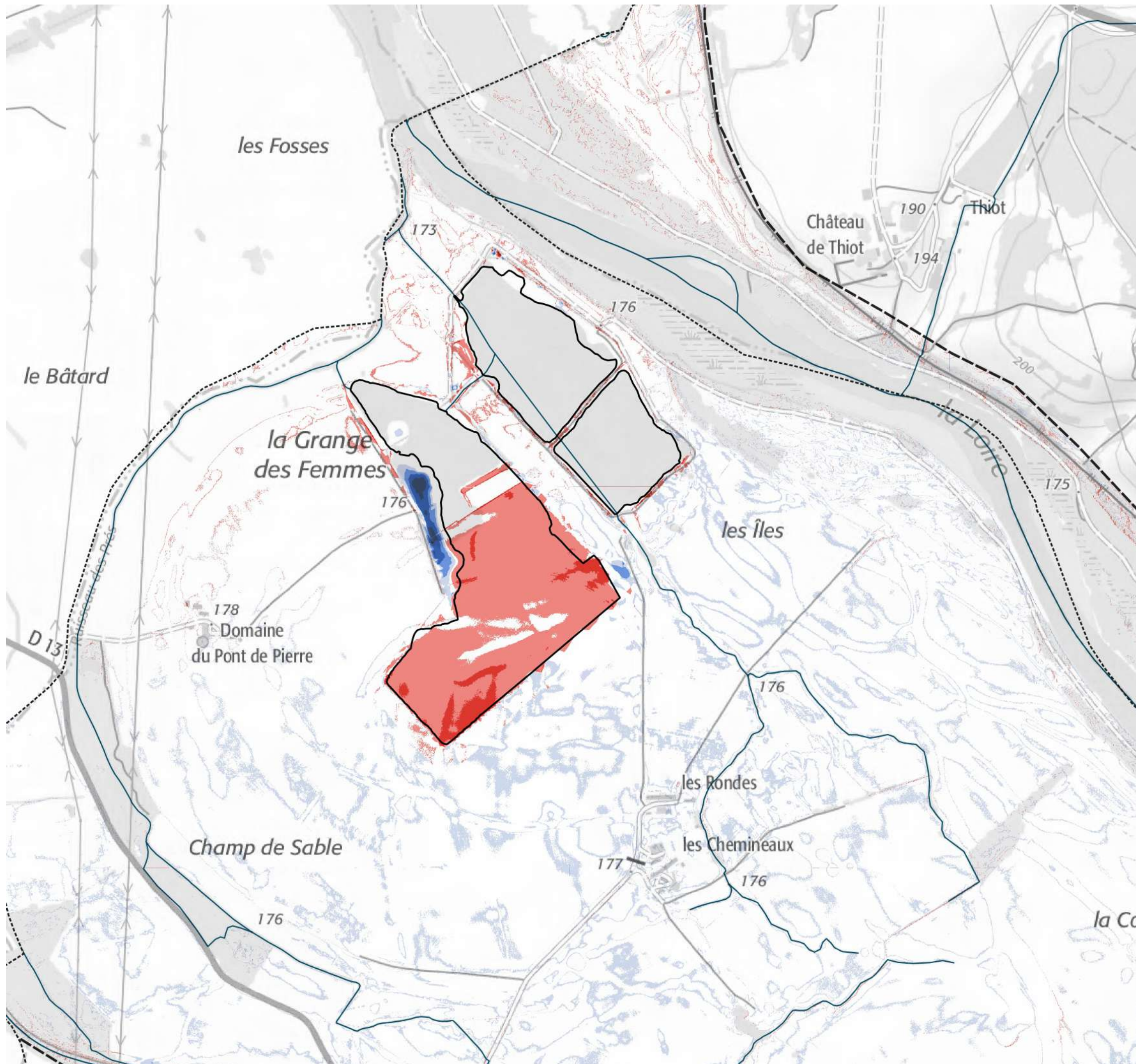


1km

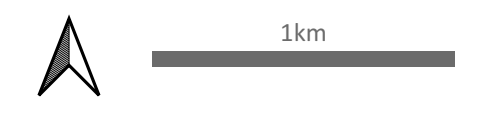


**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS GRAVIERE -
MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche**

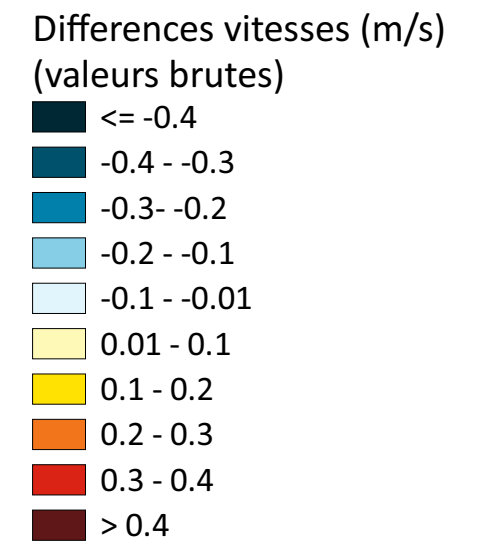
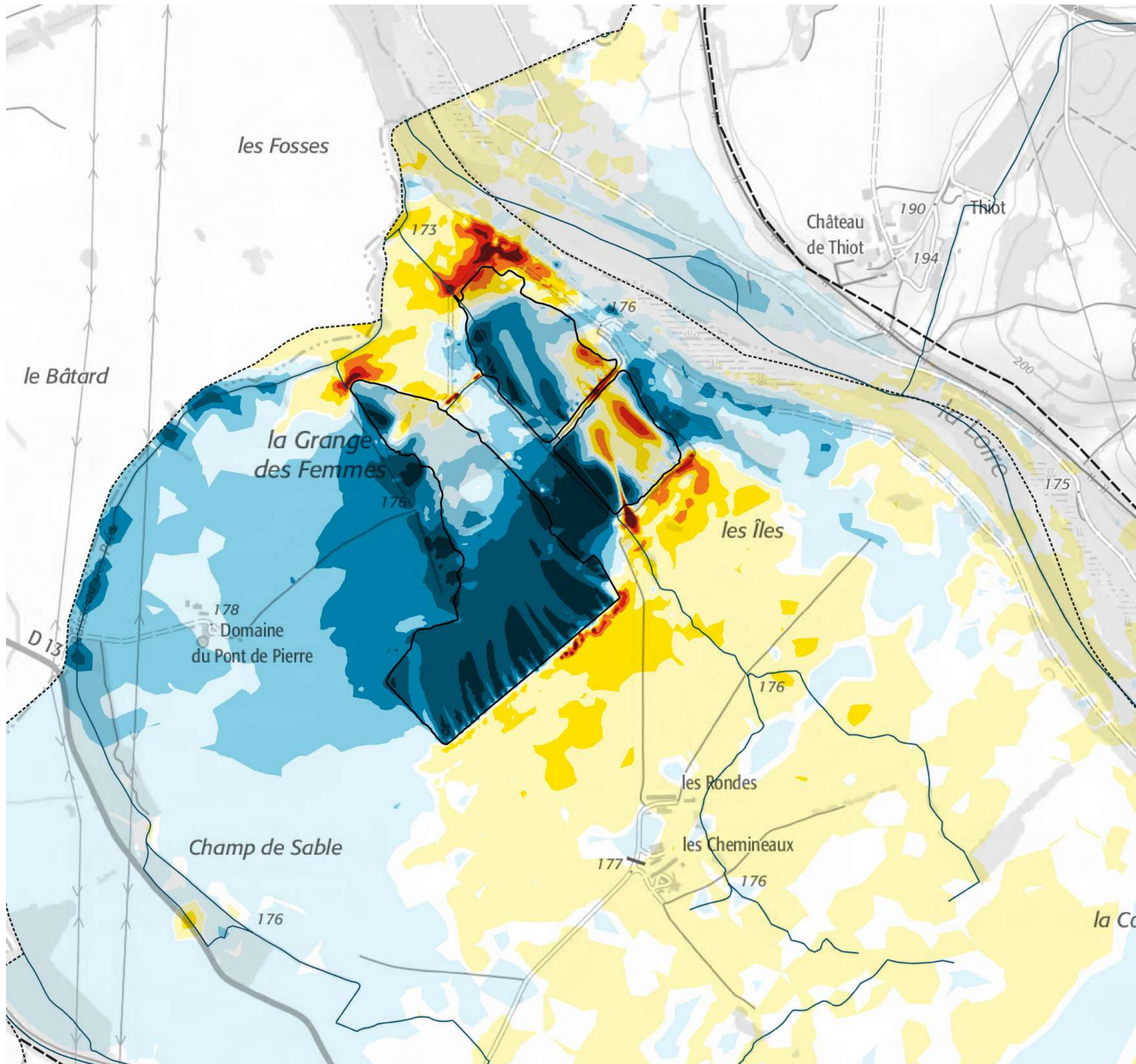


- Différences hauteurs
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - baisse de trois classes
 - baisse de quatre classes
 - baisse de cinq classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes
 - hausse de trois classes
 - hausse de quatre classes



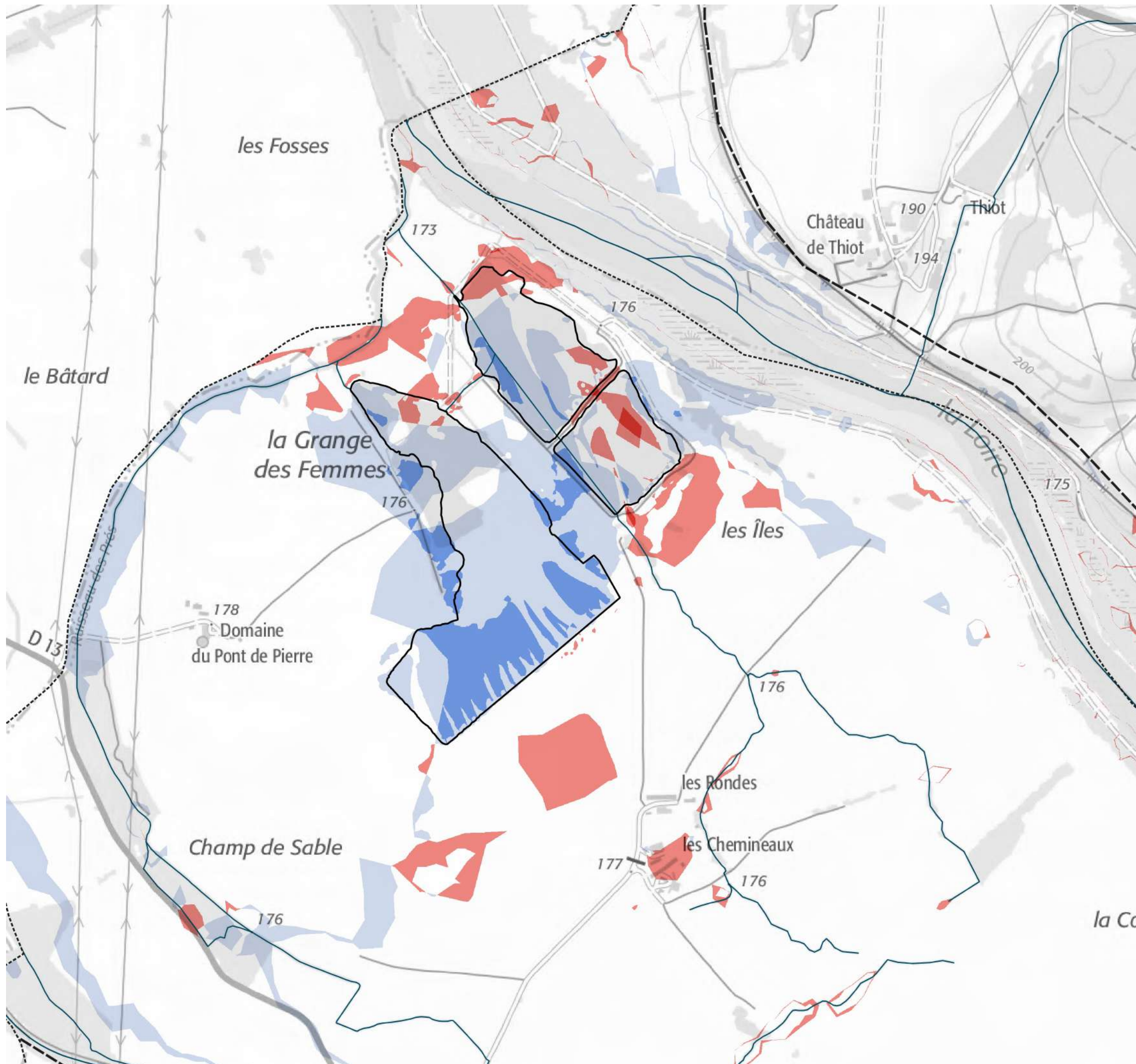
**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**DIFFERENCES DE VITESSES
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche**



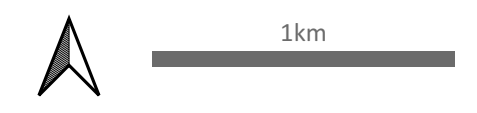
ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES GRAVIERE -
MODELE ACTUALISE et
MODELE ANTEA
Q200 ans avec brèche



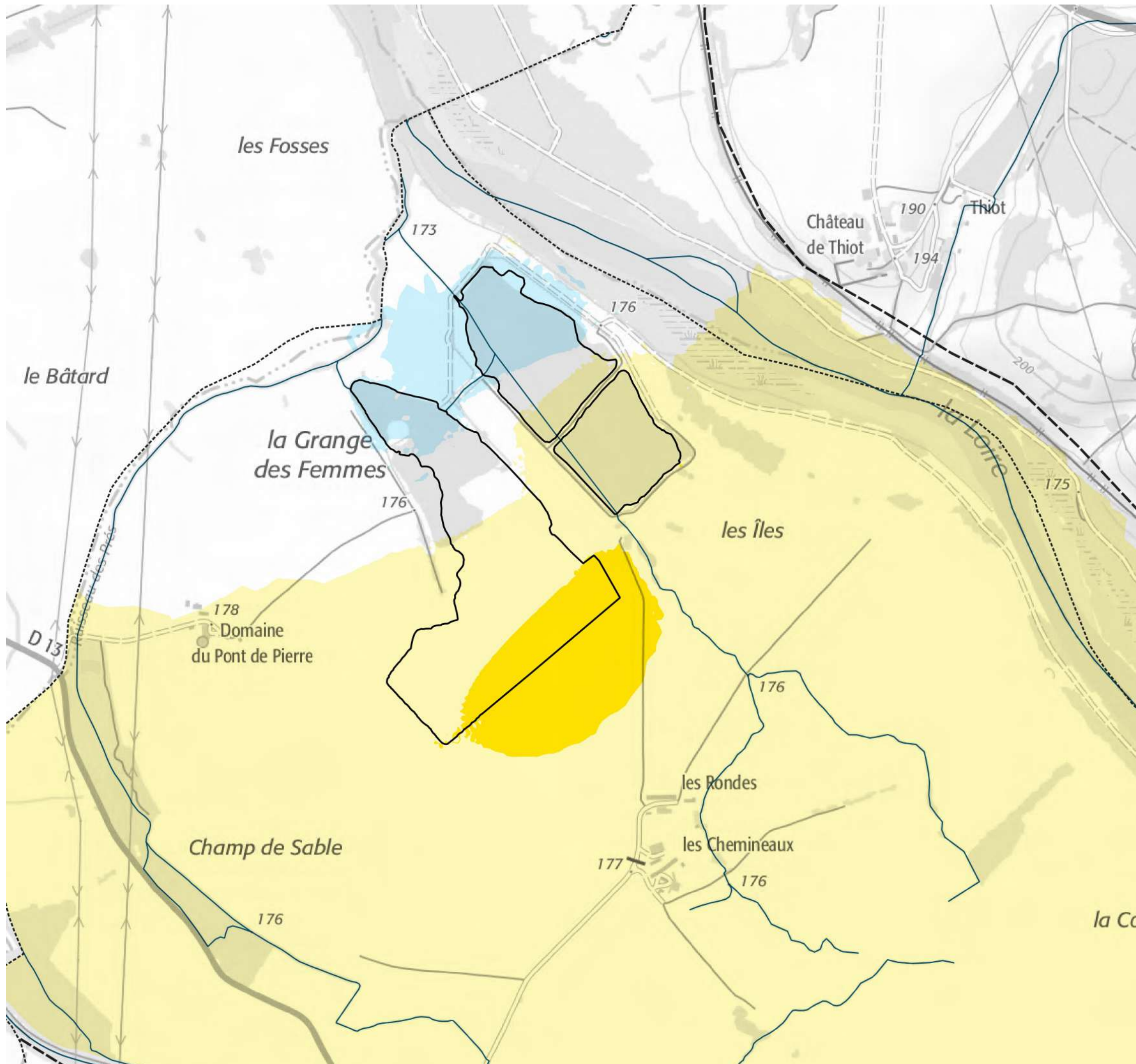
Differences vitesses
(changements de classes)

- baisse d'une classe
- baisse de deux classes
- hausse d'une classe
- hausse de deux classes

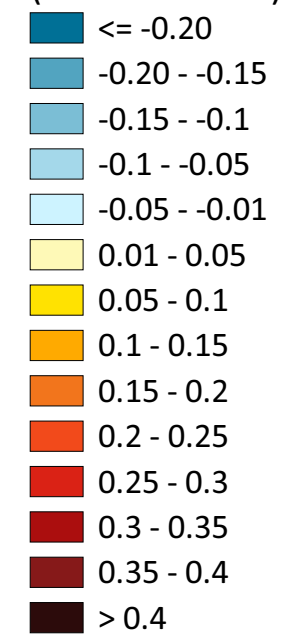


**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

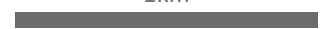
**DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE
Q200 ans avec brèche**



Differences hauteurs (m)
(valeurs brutes)



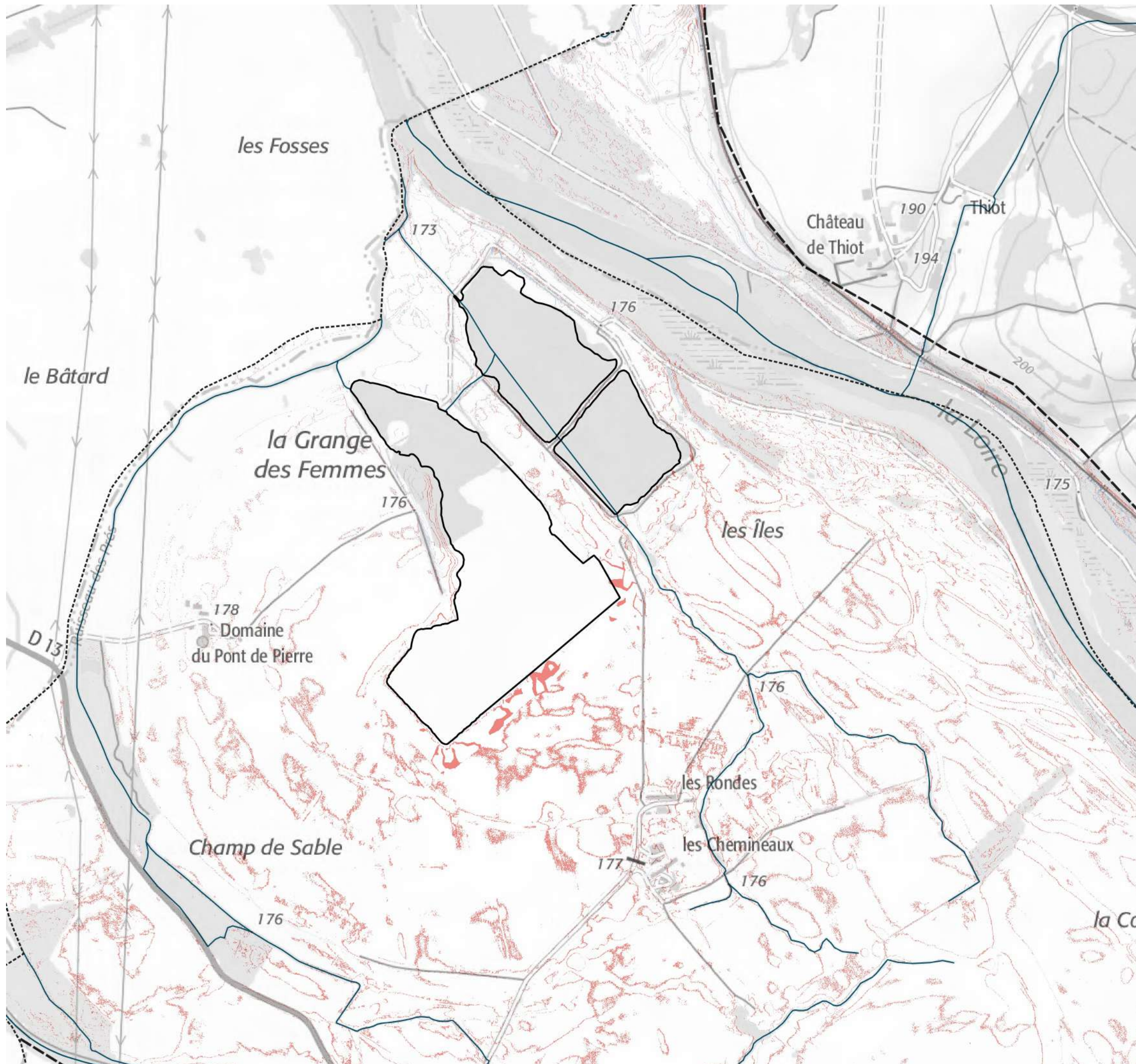
1km



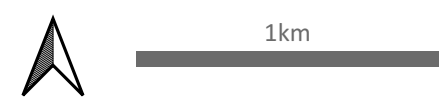
**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

**CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS GRAVIERE -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE**

Q200 ans avec brèche

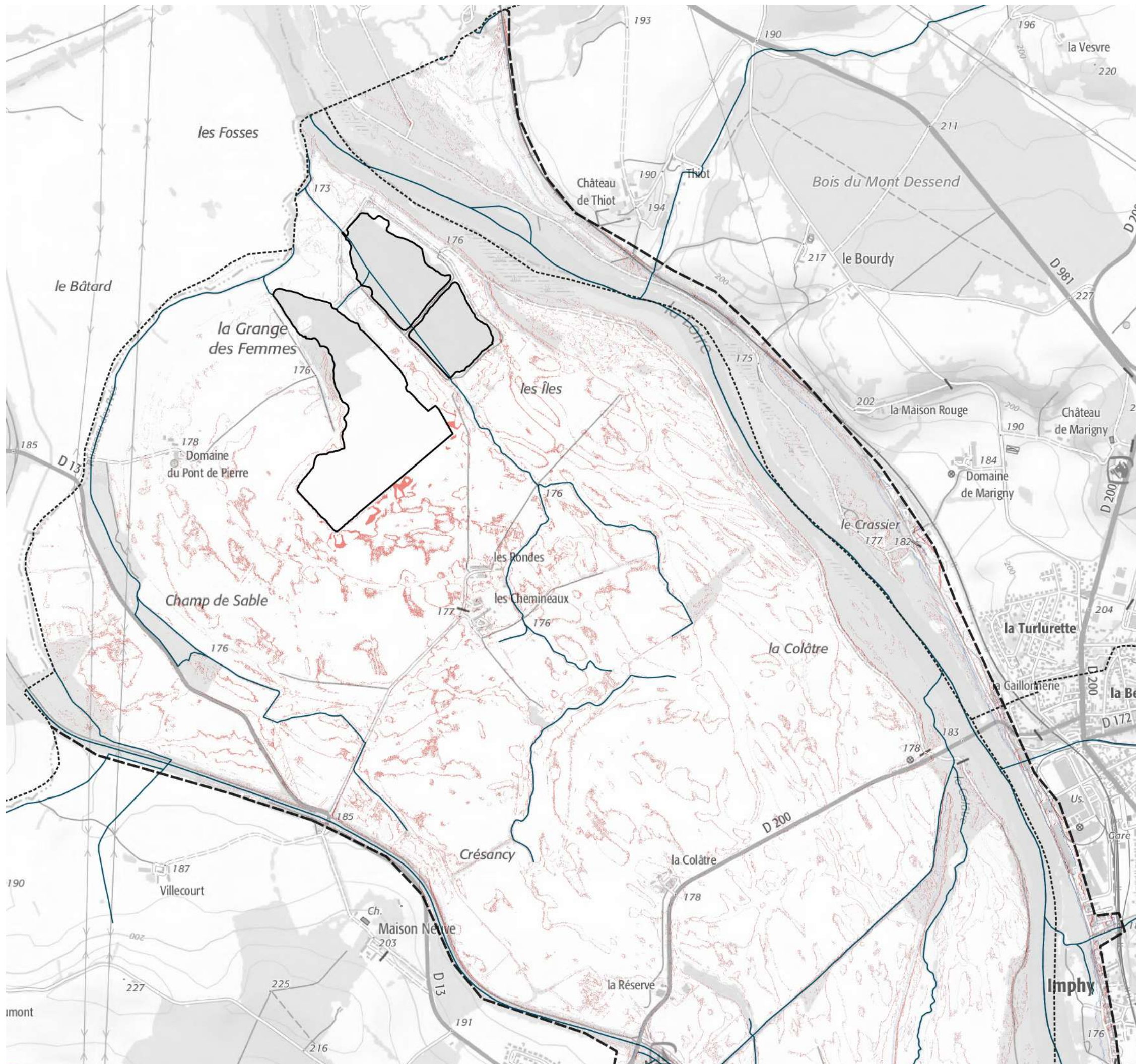


- Différences hauteurs
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - baisse de trois classes
 - baisse de quatre classes
 - baisse de cinq classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes
 - hausse de trois classes
 - hausse de quatre classes

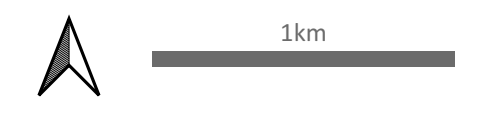


ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE CHEVENON

CHANGEMENTS DE CLASSES
DE HAUTEURS AVAL -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE
Q200 ans avec brèche

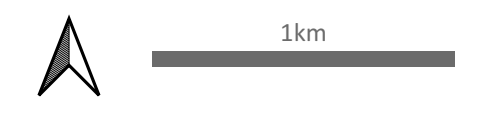
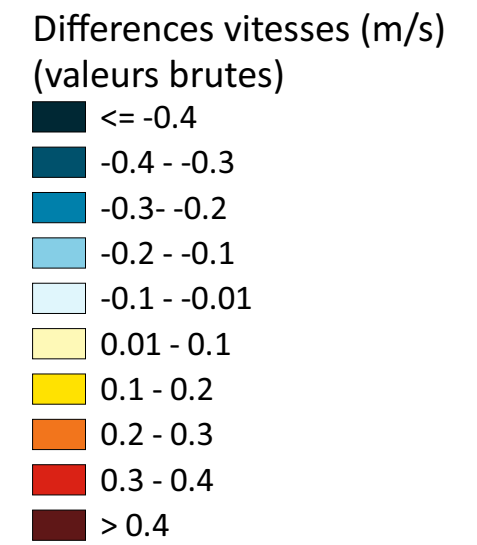
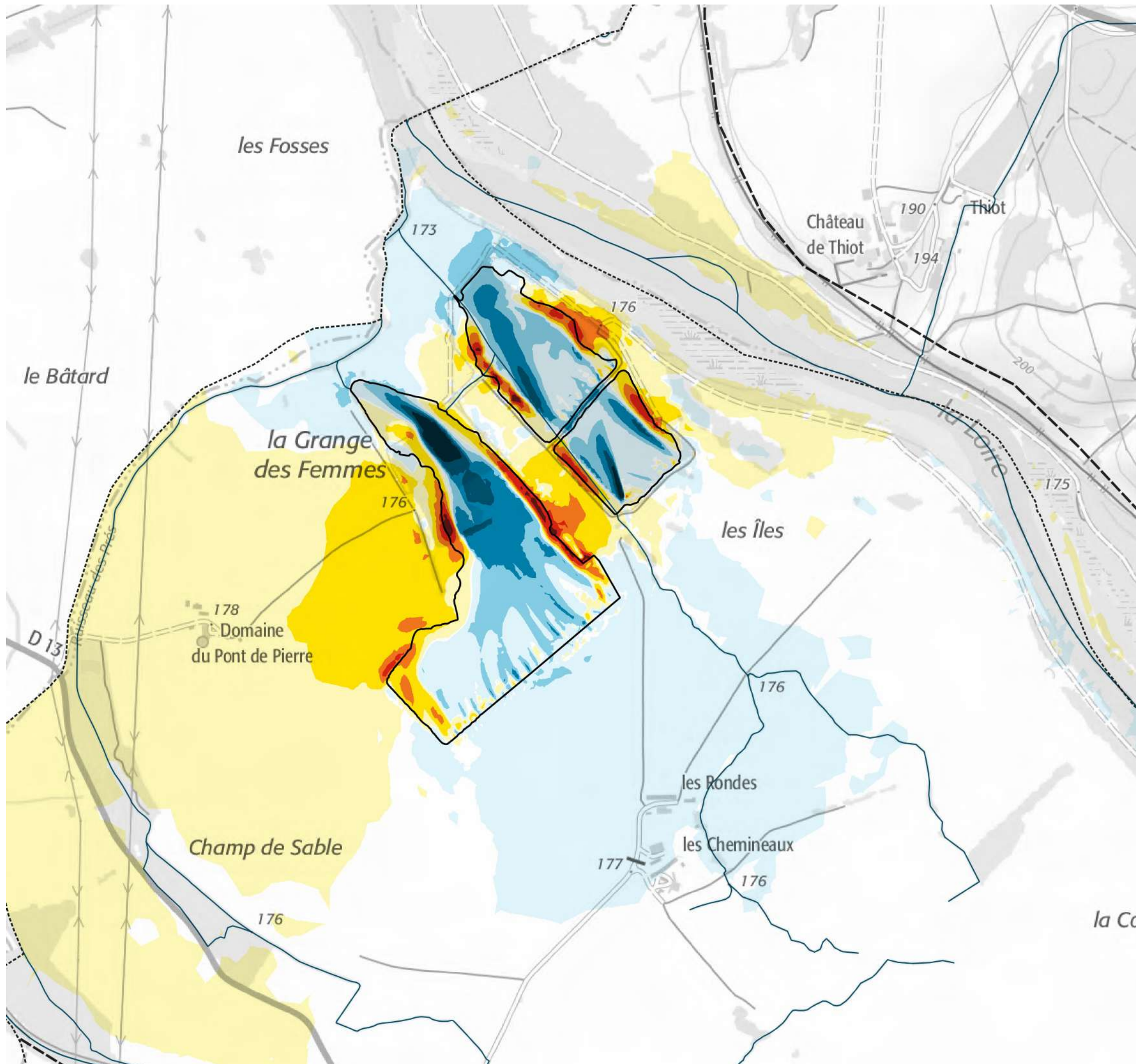


- Différences hauteurs
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - baisse de trois classes
 - baisse de quatre classes
 - baisse de cinq classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes
 - hausse de trois classes
 - hausse de quatre classes



**ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON**

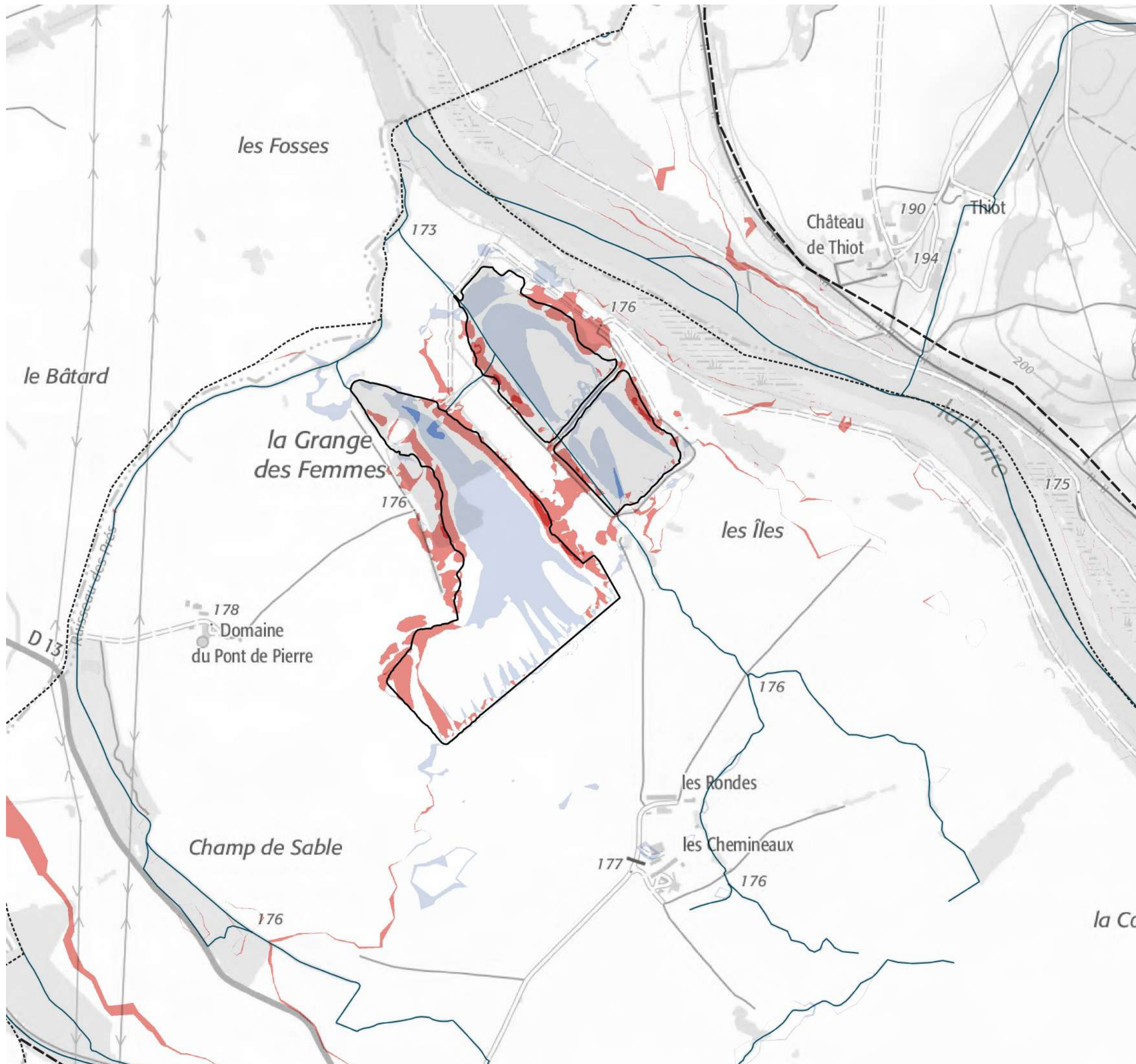
**DIFFERENCES DE VITESSES
VALEURS BRUTES GRAVIERE
- MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE
Q200 ans avec brèche**



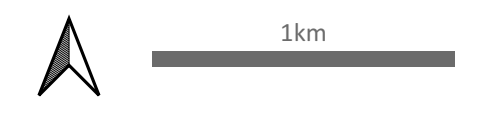
ETUDE CENTRALE
PHOTOVOLTAIQUE
CHEVENON

CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES GRAVIERE -
MODELE CENTRALE et
MODELE ACTUALISE

Q200 ans avec brèche

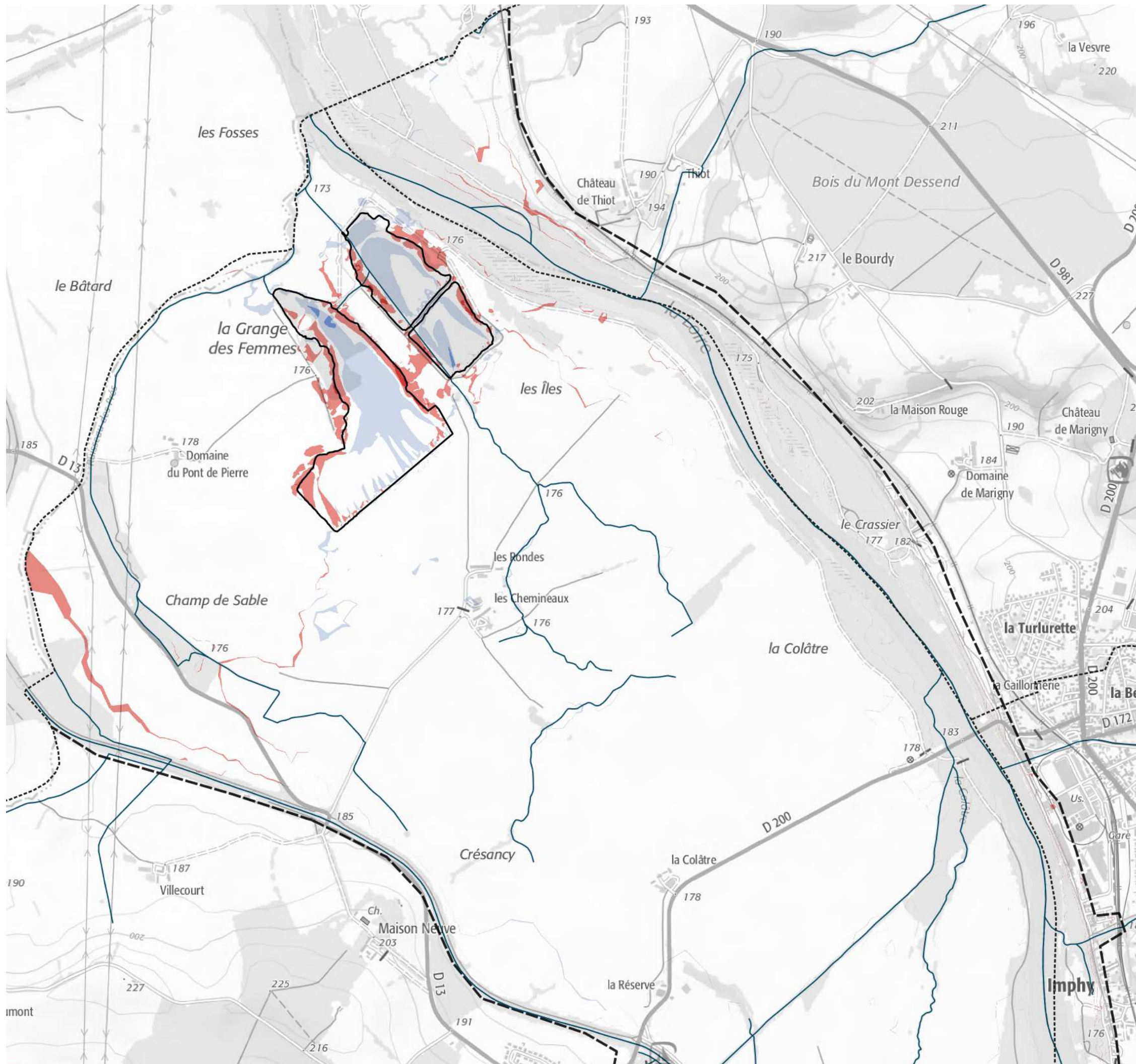


- Differences vitesses
(changements de classes)
- baisse d'une classe
 - baisse de deux classes
 - hausse d'une classe
 - hausse de deux classes



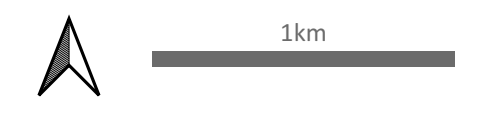
ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE CHEVENON

CHANGEMENTS CLASSES DE
VITESSES AVAL - MODELE
CENTRALE et MODELE
ACTUALISE
Q200 ans avec brèche



Differences vitesses
(changements de classes)

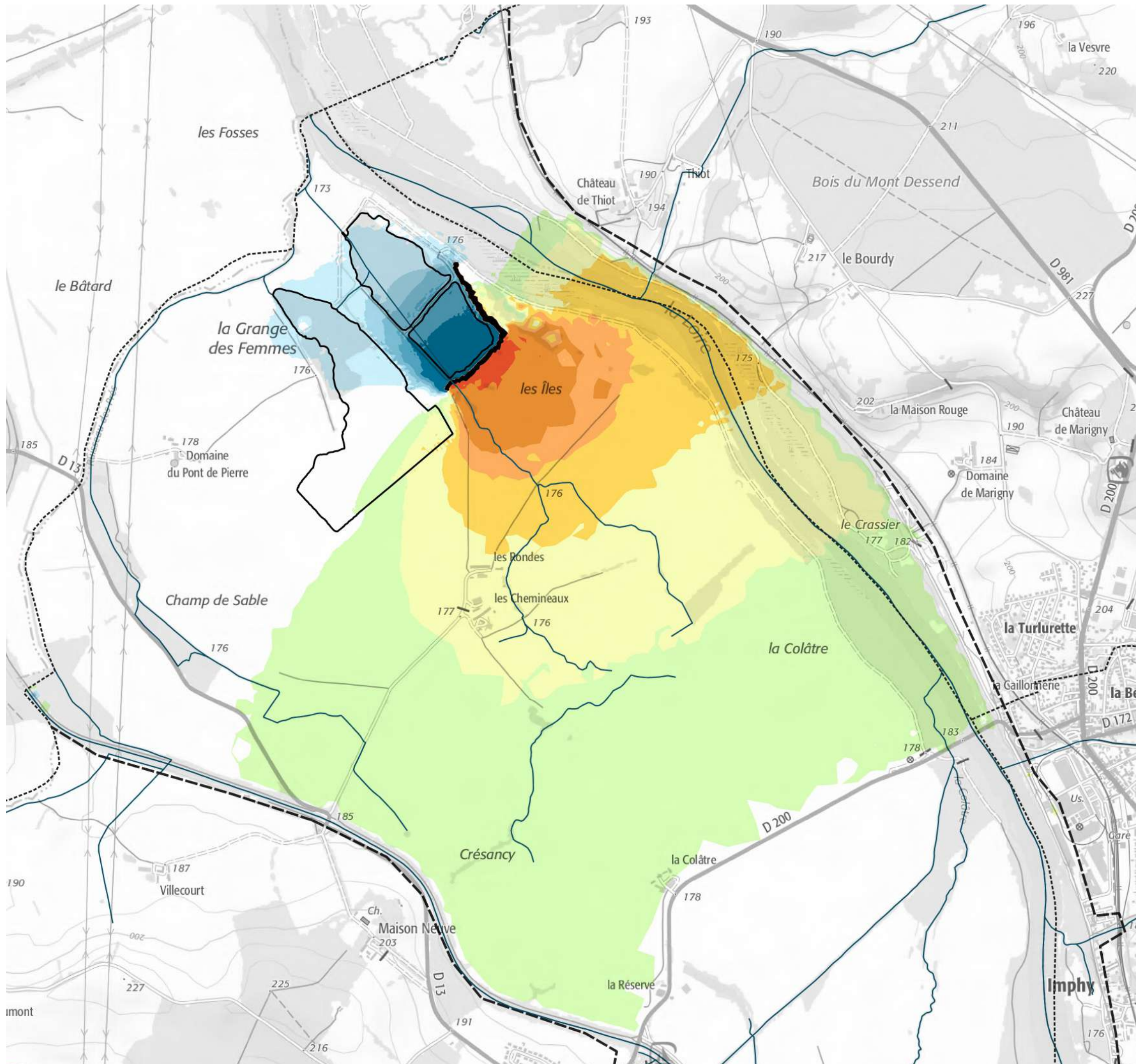
- baisse d'une classe
- baisse de deux classes
- hausse d'une classe
- hausse de deux classes



ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE CHEVENON

Impacts du système anti embâcles

DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 1 et MODELE
CENTRALE
Q200 ans avec brèche



Différences hauteurs (m)
(valeurs brutes)

- ≤ -0.05
- 0.05 - -0.04
- 0.04 - -0.03
- 0.03 - -0.02
- 0.02 - -0.01
- 0.01 - 0.02
- 0.02 - 0.03
- 0.03 - 0.04
- 0.04 - 0.05
- 0.05 - 0.1
- 0.1 - 0.2

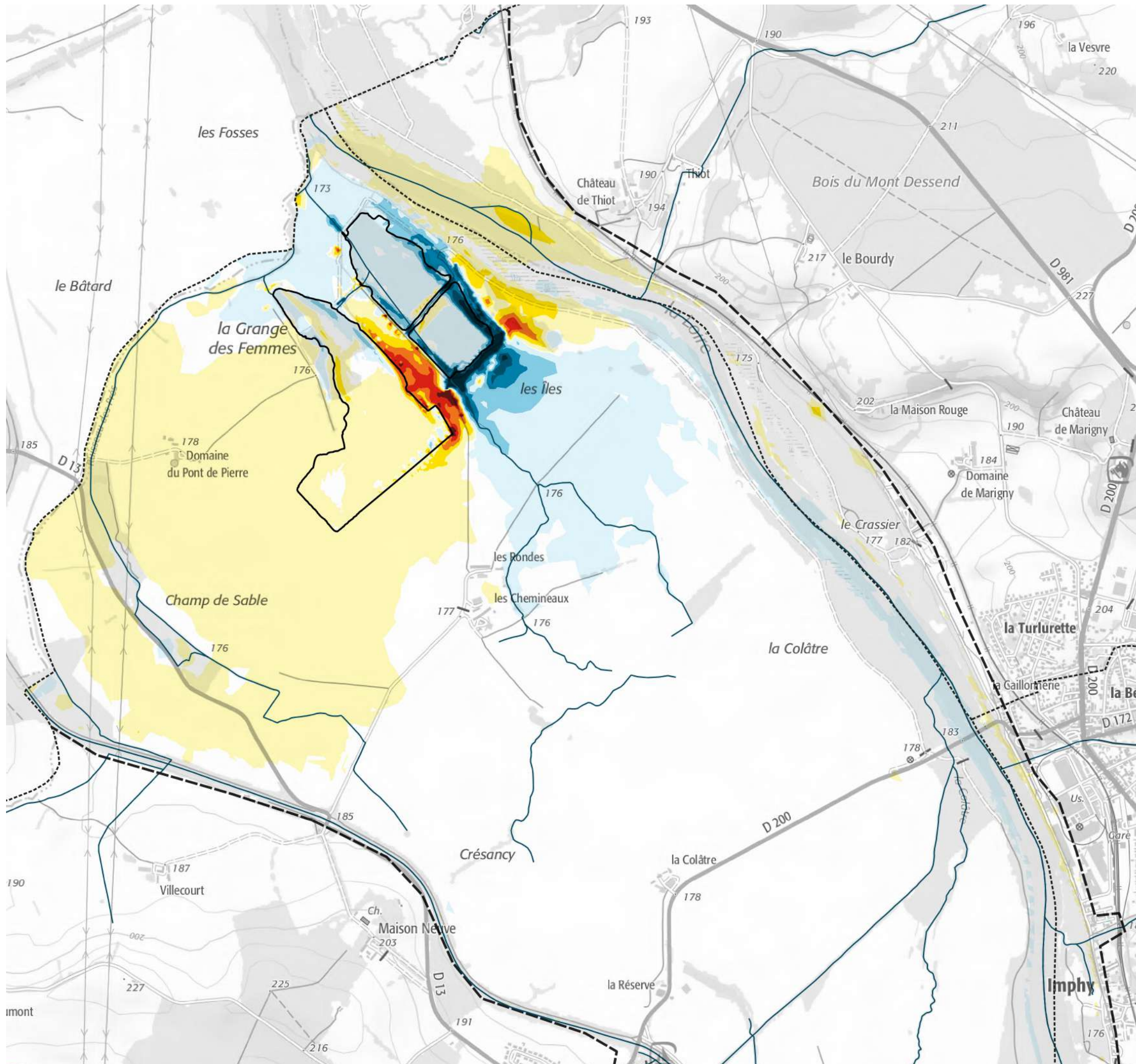


1km

ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE CHEVENON

Impacts du système anti embâcles

DIFFERENCES VITESSES
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 1 et MODELE
CENTRALE
Q200 ans avec brèche



Différences vitesses (m/s)
(valeurs brutes)

- ≤ -0.4
- 0.4 - -0.3
- 0.3 - -0.2
- 0.12 - -0.1
- 0.1 - -0.01
- 0.01 - 0.1
- 0.1 - 0.2
- 0.2 - 0.3
- 0.3 - 0.4
- > 0.4

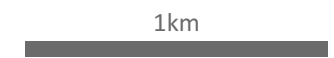
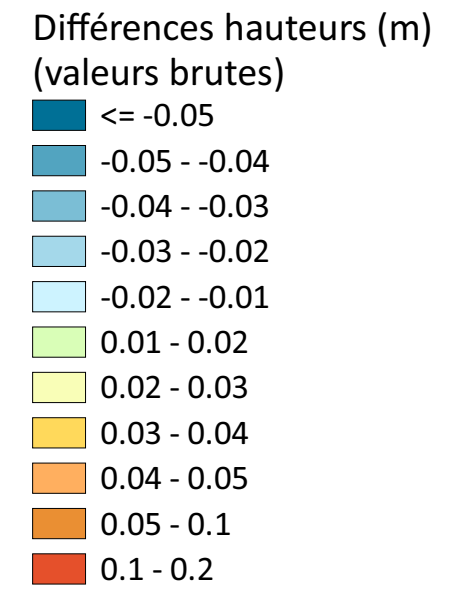
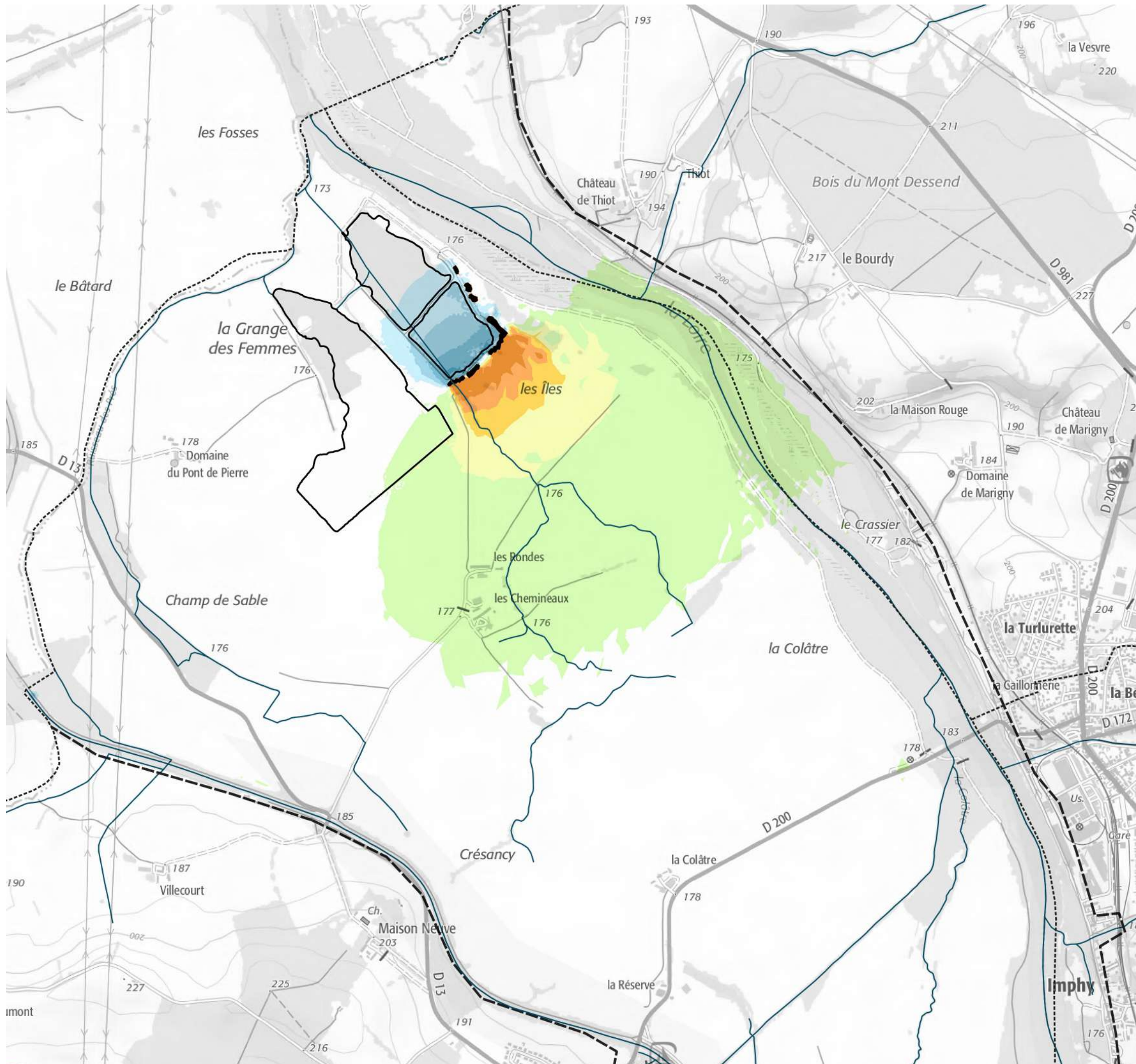


1km

ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE CHEVENON

Impacts du système anti embâcles

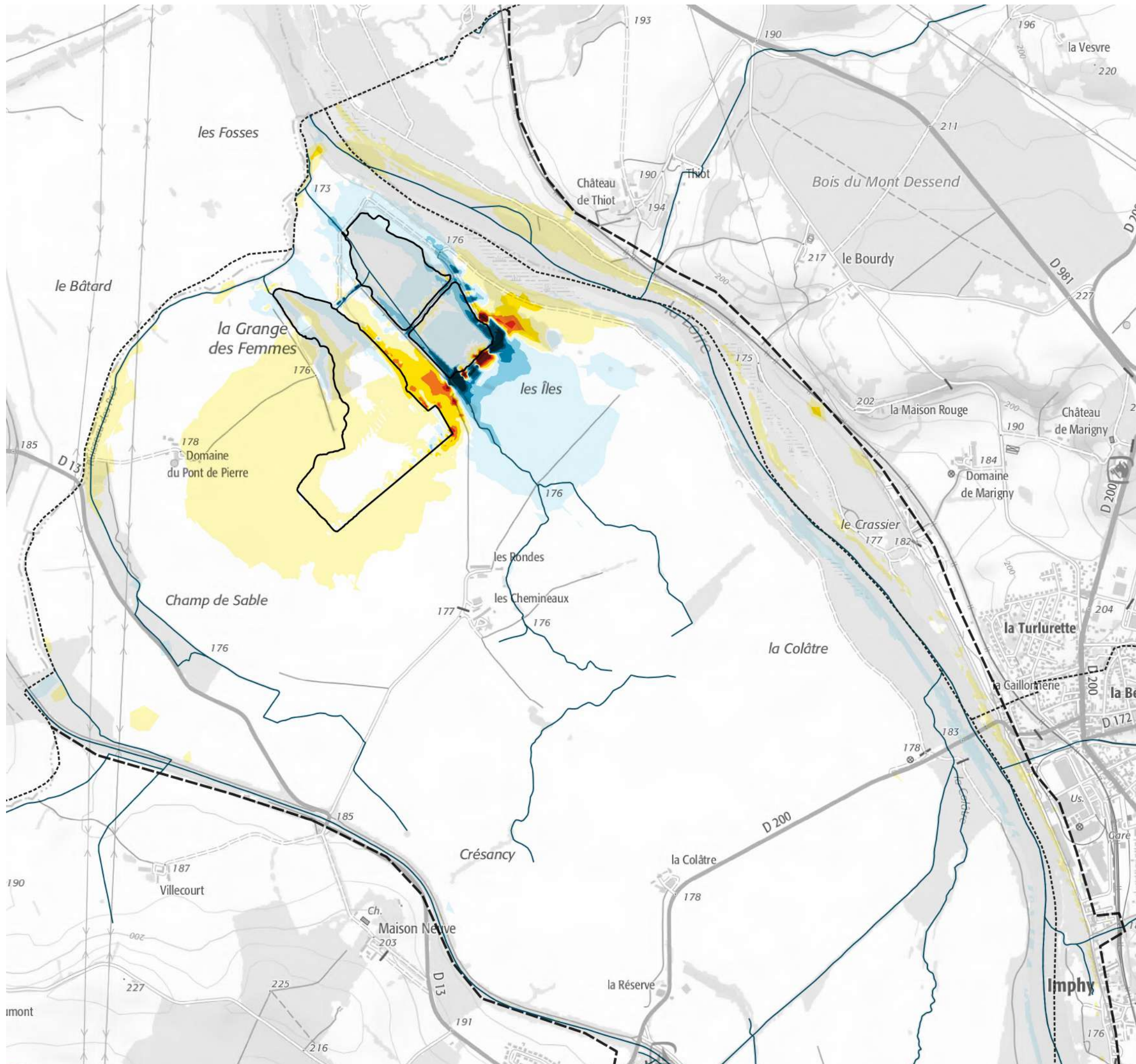
DIFFERENCES HAUTEURS
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 2 et MODELE
CENTRALE
Q200 ans avec brèche



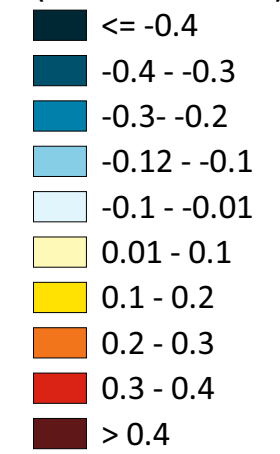
ETUDE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE CHEVENON

Impacts du système anti embâcles

DIFFERENCES VITESSES
VALEURS BRUTES AVAL -
SCENARIO 2 et MODELE
CENTRALE
Q200 ans avec brèche



Différences vitesses (m/s)
(valeurs brutes)



1km



NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation, expertise post crue, gestion de crise.

Gestion sédimentaire.

Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes (barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.

Développement durable.

Protection des milieux.

Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.

Assainissement & épuration des eaux usées.

Gestion des eaux pluviales.

Conception et gestion des aménagements d'irrigation et d'enneigement.

Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.

Récolement.

Contact :

contact@hydretudes.com

www.hydretudes.com



Flashez et visitez notre site

Saint-Pierre
de la Réunion

