



**CONSTRUCTION D'UNE SERRE AGRICOLE  
PHOTOVOLTAÏQUE EN LIT MAJEUR DE LA  
LAYE À MANE (04)**



## SOMMAIRE

CONSTRUCTION D'UNE SERRE AGRICOLE PHOTOVOLTAÏQUE en lit majeur de la Laye à Mane (04) .....	1
Objet de la demande .....	5
I. Identification du demandeur .....	5
II. Identification du rédacteur .....	5
III. Problématique .....	6
IV. Données fournies .....	6
V. Présentation du projet .....	7
Contexte .....	9
I. Géographie .....	9
II. Topographie .....	12
III. Géologie .....	13
IV. Hydrogéologie .....	15
V. Hydrologie .....	16
VI. Risques .....	17
VII. Zoom sur le barrage de la Laye .....	18
Analyse hydraulique et hydrogéomorphologique .....	21
I. Visite sur site .....	21
II. Travail topographique .....	24
Modélisation .....	28
I. Méthodologie employée .....	28
II. Débit du barrage .....	32
III. Pluie de projet .....	34
IV. Topographie du territoire et chenalisation .....	35
V. L'occupation du sol .....	40
VI. Résultats à l'état initial .....	42
VII. Résultats à l'état final .....	47
Interprétation et mesures compensatoires .....	56
I. RECOMMANDATIONS SUR LES DISPOSITIFS DE TRANSPARENCE .....	56
II. Hauteur des parois fusibles .....	57
III. Fossés ouest .....	58
Conclusions .....	60
RECOMMANDATIONS .....	62
Annexes .....	63

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Plan du projet .....	8
Figure 2 : Situation géographique .....	10
Figure 3 : Situation cadastrale .....	11
Figure 4 : Situation géologique .....	13
Figure 5 : Carte piézométrique .....	15
Figure 6 : Contexte hydrologique .....	16
Figure 7 : Risque d'inondation aux eaux souterraines .....	17
Figure 8 : Analyse hydrologique du secteur d'étude .....	23
Figure 9 : Schématisation des grandes entités hydrogéomorphologique .....	24
Figure 10 : Schéma du fonctionnement du TPI .....	25
Figure 11 : Méthodologie de l'analyse hydrogéomorphologique menée sur le territoire (logiciel : SAGA GIS) ...	26
Figure 12 : Carte hydrogéomorphologique du bassin-versant aval .....	27
Figure 13 : Schéma de ruissellement .....	28
Figure 14 : Graphique de projection des équations .....	29
Figure 15 : Tableau extrait de l'étude de vulnérabilité de 2019 .....	34
Figure 16 : Pluie double triangle 400 ans .....	34
Figure 17 : Fonctionnement de l'algorithme Fill sink XXL (Wang & Liu) .....	36
Figure 18 : Schéma du fonctionnement du modèle de flux D8 .....	36
Figure 19 : Détermination de l'ordre de Strahler .....	37
Figure 20 : Zone d'étude modélisée avec intégration des réseaux - Etat initial .....	38
Figure 21 : Zone d'étude modélisée avec intégration des réseaux - Etat final .....	39
Figure 22 : Courbe d'infiltration modélisée .....	40
Figure 23 : Occupation des sols sur la zone d'étude .....	41
Figure 24 : Hauteur d'eau à l'état initial sur la zone en projet - M1 .....	43
Figure 25 : Vitesse à l'état initial sur la zone en projet - M1 .....	44
Figure 26 : Hauteur d'eau à l'état initial sur la zone en projet - M2 .....	45
Figure 27 : Vitesse à l'état initial sur la zone en projet - M2 .....	46
Figure 28 : Hauteur d'eau à l'état final sur la zone en projet - M1 .....	48
Figure 29 : Vitesse à l'état final sur la zone en projet - M1 .....	49
Figure 30 : Hauteur d'eau à l'état final sur la zone en projet - M2 .....	50
Figure 31 : Vitesse à l'état final sur la zone en projet - M2 .....	51
Figure 32 : Différence des hauteurs entre EI et EF - M1 .....	52
Figure 33 : Différence des vitesses entre EI et EF - M1 .....	53
Figure 34 : Différence des hauteurs entre EI et EF - M2 .....	54
Figure 35 : Différence des vitesses entre EI et EF - M2 .....	55
Figure 36 : Profil topographique/hydraulique amont (en haut), central (au milieu) et aval (en bas) de la serre	58
Figure 37 : Emplacement du fossé de contournement .....	59
Figure 38 : Profil topographique MNT initial/FE du fossé .....	59

## OBJET DE LA DEMANDE

### I. IDENTIFICATION DU DEMANDEUR

Raison sociale : REDEN  
Forme juridique : Société par Actions Simplifiée à associé Unique  
Adresse du demandeur : ZAC des champs de Lescaze 47310 Roquefort - France  
Adresse du projet : Le Plan 04300 Mane  
Date de création : 11 octobre 2007  
Nom du signataire : M. MACQUART Julien  
Qualité du signataire : Chargé de Mission Hydrologie -  
Membre du Comité Sécurité de  
REDEN  
Nom du personnel référent : idem  
Téléphone : 06 77 30 06 57  
N° SIRET : 500 661 806 000 33  
Code APE : 3511Z



### II. IDENTIFICATION DU RÉDACTEUR

Raison sociale : HYDROSOL LANGUEDOC  
Forme juridique : Société à Responsabilité Limitée  
N° SIRET : 879 830 834 00031  
Code APE : 7112B  
Adresse de l'agence : 78 rue John Mac Adam 30900 Nîmes  
Date de création : 1er octobre 2016

Nom du chargé de projet : GRAVOUEILLE Aurélien  
Qualité du chargé de projet : Gérant d'HYDROSOL LANGUEDOC  
Téléphone : 07 78 41 99 20  
Signature :

HYDROSOL LANGUEDOC  
78 rue John Mac Adam  
30900 - Nîmes  
Tél. : 04.48.06.02.76  
Siret : 822 767 985 00023 - APE : 7112B



Nom du correcteur : LESAGE Jean-Christophe  
Qualité du correcteur : Président du groupe HYDROSOL  
Téléphone : 04 90 71 33 26

N° de version : Version 1  
Date d'émission du rapport : 12/6/2024

### III. PROBLÉMATIQUE

L'entreprise REDEN TECHNIQUE SAS a un projet de construction d'une serre agricole à couverture photovoltaïque sur la commune de MANE (04300).

La superficie de la parcelle concernée par le projet est de 220 404 m<sup>2</sup> et la serre à toiture photovoltaïque sera de 23290 m<sup>2</sup>.

Ce projet est inscrit dans le lit majeur de la Laye, un cours d'eau.

Dans le cadre de l'évaluation de l'incidence hydraulique sur la zone inondable, la société HYDROSOL a été consulté pour réaliser une étude hydrologique afin de déterminer les risques d'inondation sur le site de la future Centrale PV et la vulnérabilité des bâtiments qui y sont construits face à ces phénomènes.

Une évaluation et mise en place de solutions pour limiter l'incidence du projet sera considérée.

Dans le cadre de cette mission, des données topographiques sont primordiales. Celles-ci seront prises soit sur le LIDARHD, soit sur le RGE ALTI 1M, fournies par l'IGN, dont le niveau de précision pourra être suffisant dans ce cadre. Si des relevés topographiques sont réalisées sur l'enveloppe du site, ils devront nous être transmis pour complétés et ajustés le cas échéant les données LIDAR ou RGE ALTI.

Le projet s'inscrit sur la propriété de M. RICHARD, maraîcher à Mane.

La présente étude a trait à l'étude hydrologique du site afin de :

- Étudier le contexte local et réglementaire sur la base de données bibliographiques ;
- Examiner le site et recenser les contraintes hydrologiques de la propriété ;
- Définir la surface et les paramètres hydrodynamiques du bassin versant total intéressé par la propriété ;
- Caractériser le contexte hydrogéomorphologique ;
- Modéliser le fonctionnement hydraulique du/des bassins versants et estimer les débits de pointe et les volumes engendrés lors d'un événement pluvieux de référence ;
- Présenter les résultats de l'étude hydrologique à l'état initial et conclure sur l'inondabilité de la propriété ;
- Éventuellement, prévoir les mesures à mettre en place pour exonder le terrain et le rendre constructible ;
- Réaliser le dossier technique synthétisant l'ensemble de ces éléments.

A noter que la gestion des eaux pluviales du projet n'est pas étudiée dans ce rapport.

### IV. DONNÉES FOURNIES

Soulignons que ce document et les plans qu'il contient ne constituent pas une étude de projet établie dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre et ne peuvent être utilisés en l'état comme plan d'exécution.

Les données utilisées pour réaliser cette étude ont été recueillies auprès du demandeur, REDEN, et sous sa responsabilité : l'exactitude de l'étude en dépend.

Les données ayant servi à réaliser cette étude sont :

- ✓ Note de localisation et présentation du projet - fournie par REDEN (annexe 1)
- ✓ Note explicative sur le fonctionnement de la fusibilité de la serre - fournie par REDEN (annexe 2)
- ✓ Note de synthèse pluviale - fournie par HYDROSOL INGENIERIE en interne

## V. PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet de REDEN consiste en l'implantation d'une serre agricole à toiture photovoltaïque d'une surface de 23290 m<sup>2</sup>. M. RICHARD, propriétaire et exploitant agricole, souhaite développer ce projet de construction mariant agriculture et production d'électricité dans le prolongement de l'activité existante de l'exploitation agricole.

Il est prévu de cultiver sous la serre :

- ✓ Du melon,
- ✓ De la pomme de terre nouvelle,
- ✓ Des tomates,
- ✓ De l'ail,
- ✓ Des fraises
- ✓ Et toute autre culture possible sous serre sur le secteur.

Le but est ici de permettre une extension des périodes de culture et une protection des intempéries.

La production agricole de Monsieur RICHARD sera exclusivement en agriculture biologique ce qui permettra de limiter très fortement l'utilisation de produits phytosanitaires sous la serre agricole photovoltaïque. De plus le mode de production sous la serre évitera tout phénomène de lessivage des sols.

D'autres infrastructures seront aménagées pour les besoins du projet :

- ✓ Une plate-forme de déchargement de 2100 m<sup>2</sup> au nord de la serre, au niveau de l'accès,
- ✓ Une piste périphérique pour l'exploitation de la serre sera réalisée en tout venant pour une surface totale d'environ 1245 m<sup>2</sup>.
- ✓ Une sur-largeur de la serre en terre de 2554 m<sup>2</sup>.

Le tableau ci-dessous résume la ventilation des surfaces du projet :

Typologie	Surface
Serre	23290 m <sup>2</sup>
Plateforme de déchargement	2100 m <sup>2</sup>
Voirie	1245 m <sup>2</sup>
Surlargeur en terre	2554 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>29189 m<sup>2</sup></b>

Notons que ce projet engendrera l'imperméabilisation d'une surface agricole et un ouvrage de la lit majeur d'un cours d'eau. Un ouvrage de rétention des eaux pluviales sera prévu au sud de la serre.

L'emprise du projet ne concerne pas la totalité de la propriété d'environ 20 ha, elle se concentre sur sa partie sud-est. Les espaces alentours seront conservés de manière à avoir le moins de perte de culture.

Le plan d'implantation du projet, sur lequel se base cette étude, est fourni en page suivante (Figure 1).

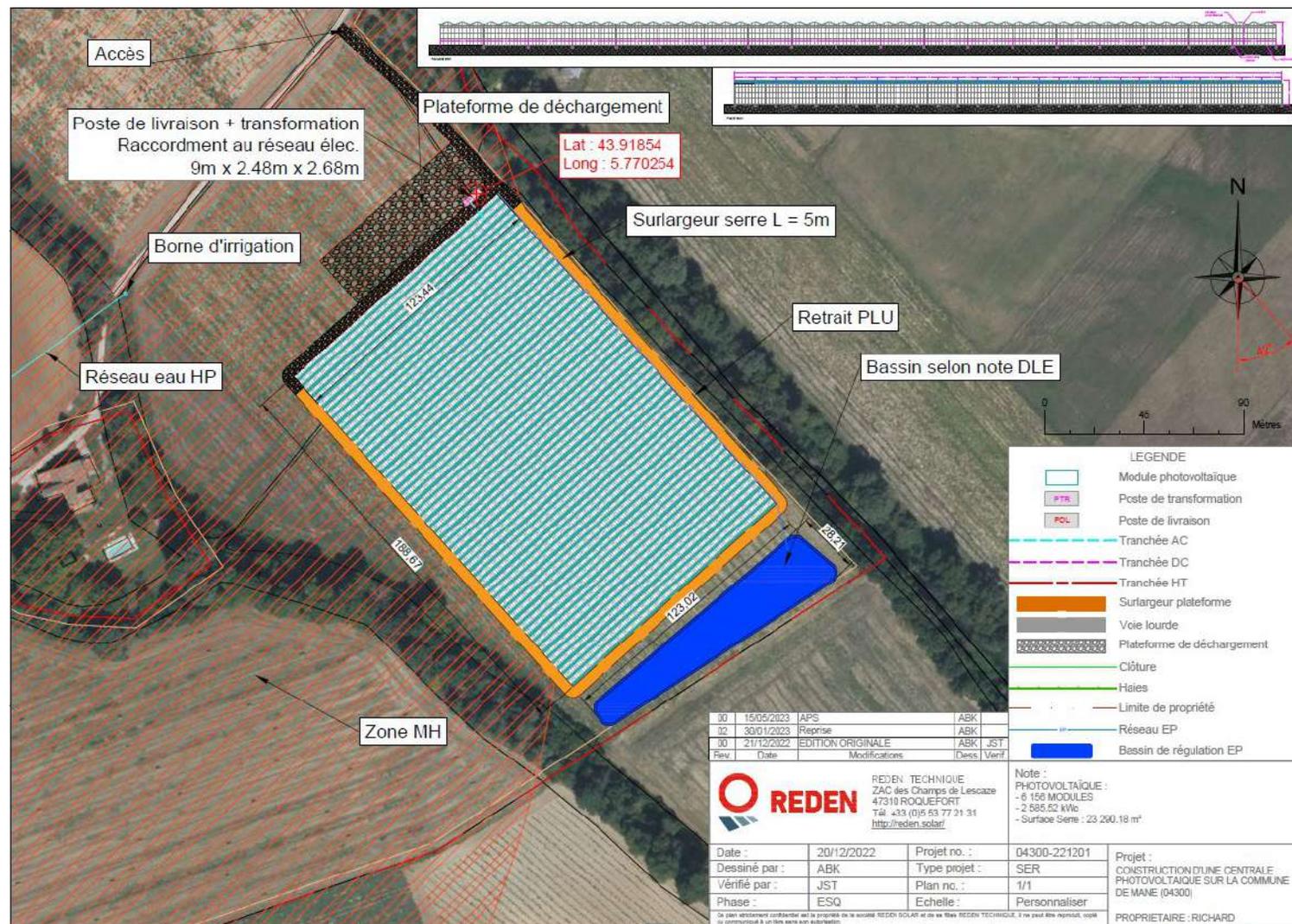
Nous voyons que la Laye circule juste à l'est, à environ 30 m du projet de serre.

# I ● Projet de serre agrivoltaïque



## Monsieur RICHARD – MANE (04300)

### Proposition d'implantation



« Il est entendu par les Parties que les mesures de la serre pourront être emmenées à varier à la hausse ou à la baisse dans la limite de 2% par rapport au projet mentionné aux présentes »

## CONTEXTE

### I. GÉOGRAPHIE

#### A. Contexte général

Le projet est implanté dans le département des Alpes-de-Haute-Provence au lieu-dit Pramaiche, chemin du Plan sur la commune de MANE (04300). Il se situe :

- À 2,3 km au sud du centre-ville de Mane ;
- À 4,3 km à l'est du centre-ville de St-Michel-l'Observatoire ;
- À 4,5 km du centre-ville de la sous-préfecture Forcalquier ;
- En rive droite de la rivière de la Laye.

Le terrain est accessible via un chemin en terre coupant la propriété amenant à la route Le Plan au nord-est. La propriété enclave une propriété privée résidentielle. La route D13 est à environ 450 m à l'est.

#### B. Cadastre et Plan Local d'Urbanisme

M. RICHARD est propriétaire d'une parcelle cadastrale section ZD numérotée 0035 d'après le Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune de Mane approuvé le 2 septembre 2019. Elle se situe également dans un périmètre de classement, inscription et protection des abords des monuments historiques (AC1), ici le Château de Sauvan situé à seulement 400 mètres.

La propriété se situe en zonage A correspondant à la plaine agricole à protéger en raison du potentiel agronomique, biologique ou économique des terres agricoles.

La superficie totale de la propriété est de 220 404 m<sup>2</sup> mais l'étude concerne une aire d'étude plus réduite d'une emprise de 23 290 m<sup>2</sup>, se localisant sur la partie sud-est de la parcelle.

Situation cadastrale				
Commune(s)	Section(s)	N° parcelle	Surface de la propriété (en m <sup>2</sup> )	Aire du projet (en m <sup>2</sup> )
Mane	ZD	0034	220 404	23 290
		<b>Total</b>	<b>220 404</b>	<b>23 290</b>

Malgré sa présence dans le lit majeur d'un cours d'eau, La Laye, la commune ne dispose pas de P.P.R.I. (Plan de Prévention aux Risques Inondations).

Les cartes en pages suivantes illustrent la situation géographique et cadastrale du projet.

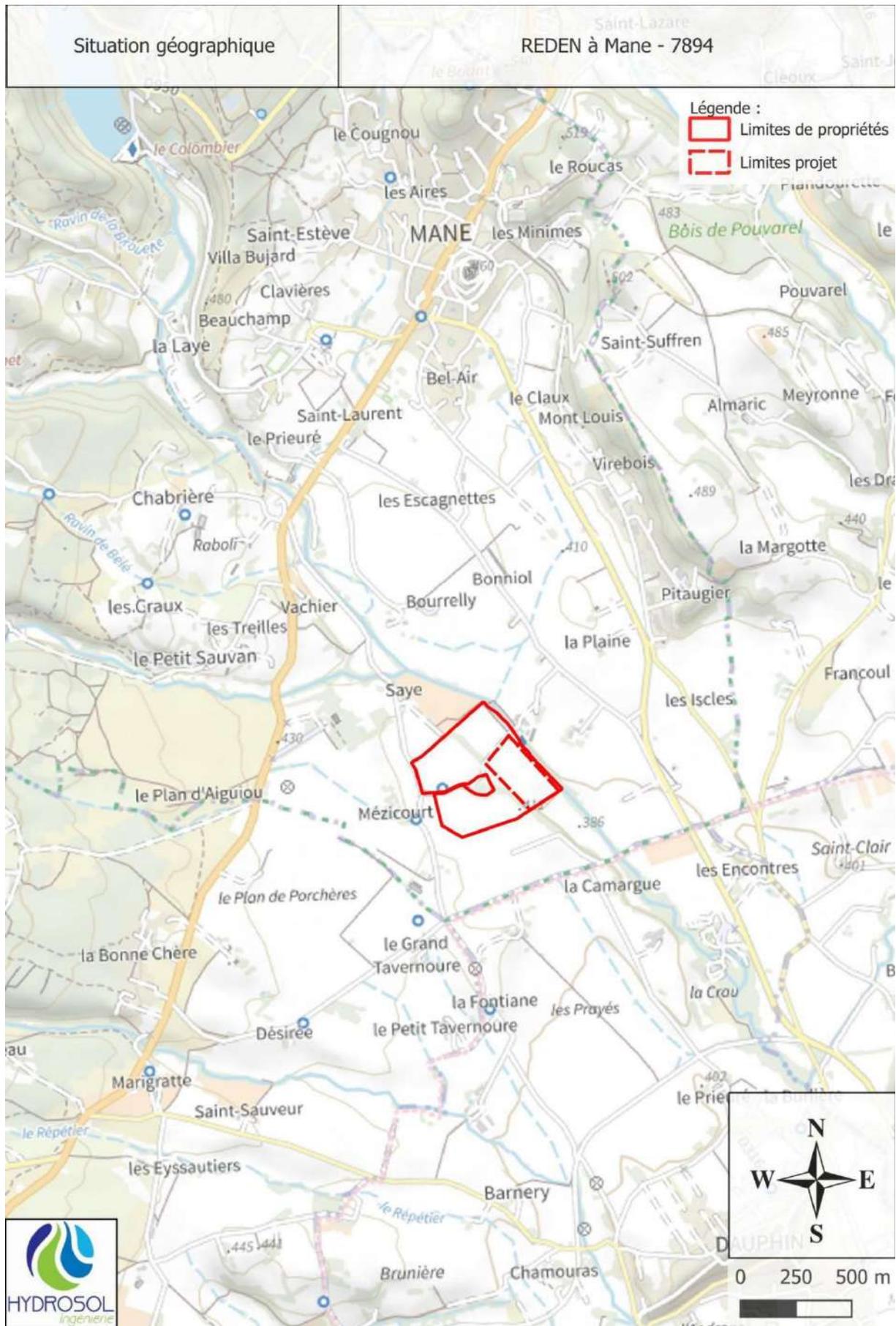


Figure 2 : Situation géographique



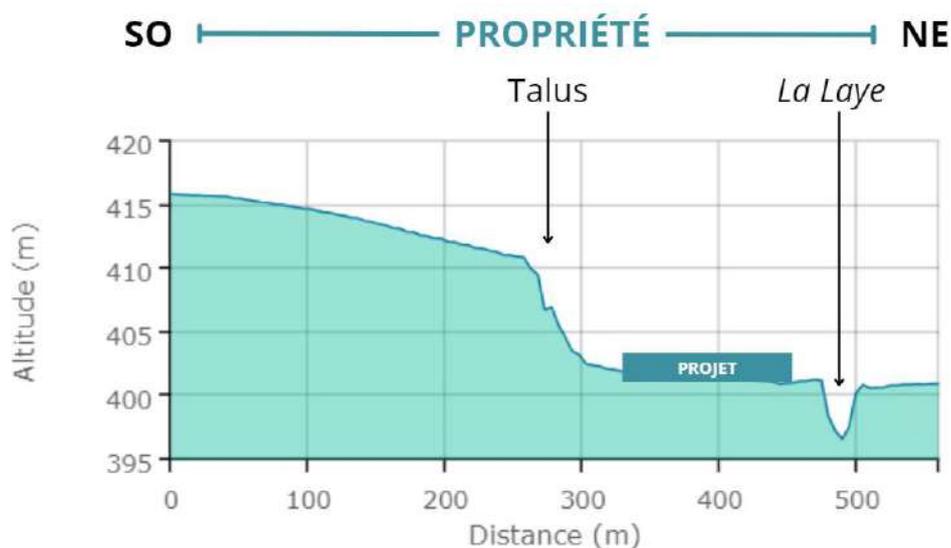
Figure 3 : Situation cadastrale

## II. TOPOGRAPHIE

La propriété est située dans la plaine alluviale de la rivière de La Laye. La topographie est plane et la pente générale du secteur d'étude est de l'ordre de 2 % orientée vers le sud-est, en direction de la rivière.

La plaine est principalement agricole et drainée par La Laye et ses affluents s'écoulant globalement vers le sud-est.

La topographie au droit du site est localement régie par les lits du cours d'eau. Un talus est présent au centre de la propriété d'orientation nord-sud coupant la propriété en deux comme le montre la coupe ci-dessous :



D'après le plan topographique IGN (Géoportail), le projet se localise à une altitude comprise entre 403,9 m NGF et 400,1 m NGF. La pente du terrain d'étude est de 1,1 % orientée vers le sud-est.



Laye.

Un autre ouvrage BSS (BSS002FCPQ) situé à environ 1,6 km du projet nous renseigne sur le présence de calcaire en profondeur.

Si on regarde la zone plus en globalité, on retrouve les massifs à calcaires karstique au nord (Montagne de Lure), puis plus on se rapproche de la zone d'étude plus le matériel devient grossier dû à la présence des différents cours d'eau.

## IV. HYDROGÉOLOGIE

### A.1. Masse d'eau concernée

D'après la BDLisa, le site de projet se situe au droit de plusieurs niveaux hydrogéologiques. On retrouve :

- Niveau 1 : "Formations sédimentaires crétacées et tertiaires des basses vallées du Rhône et de la Durance" ;
- Niveau 2 : "Formations variées à dominante tertiaire de la basse et moyenne vallée de la Durance".

Nous nous intéresserons au niveau 2 plus spécifique à notre zone d'étude. Ayant pour code de synthèse (PAC04D), l'entité hydrogéologique occupe la moyenne et basse vallée de la Durance. On la retrouve de la Montagne de Lure au nord de la propriété jusqu'à la confluence Durance-Rhône à l'ouest. Elle est présente dans les formations alluviales ainsi que la "molasse" du Miocène. Elle est ainsi libre à captive, poreuse, avec de faible profondeur. Elle a comme recharge les précipitations, les cours d'eau et les canaux.

Situé dans le bassin versant et SDAGE Rhône-Méditerranée, l'entité fait partie de la masse d'eau «Formations gréseuses et marno-calcaires tertiaires en rive droite de la moyenne Durance» (FRDG534).

### A.2. Piézométrie locale

D'après les données de la BSS, plusieurs sondages ont été effectués en 2005 nous permettant d'obtenir la carte piézométrique théorique suivante. Les écoulements au niveau du projet sont vers le sud-ouest, vers La Laye.

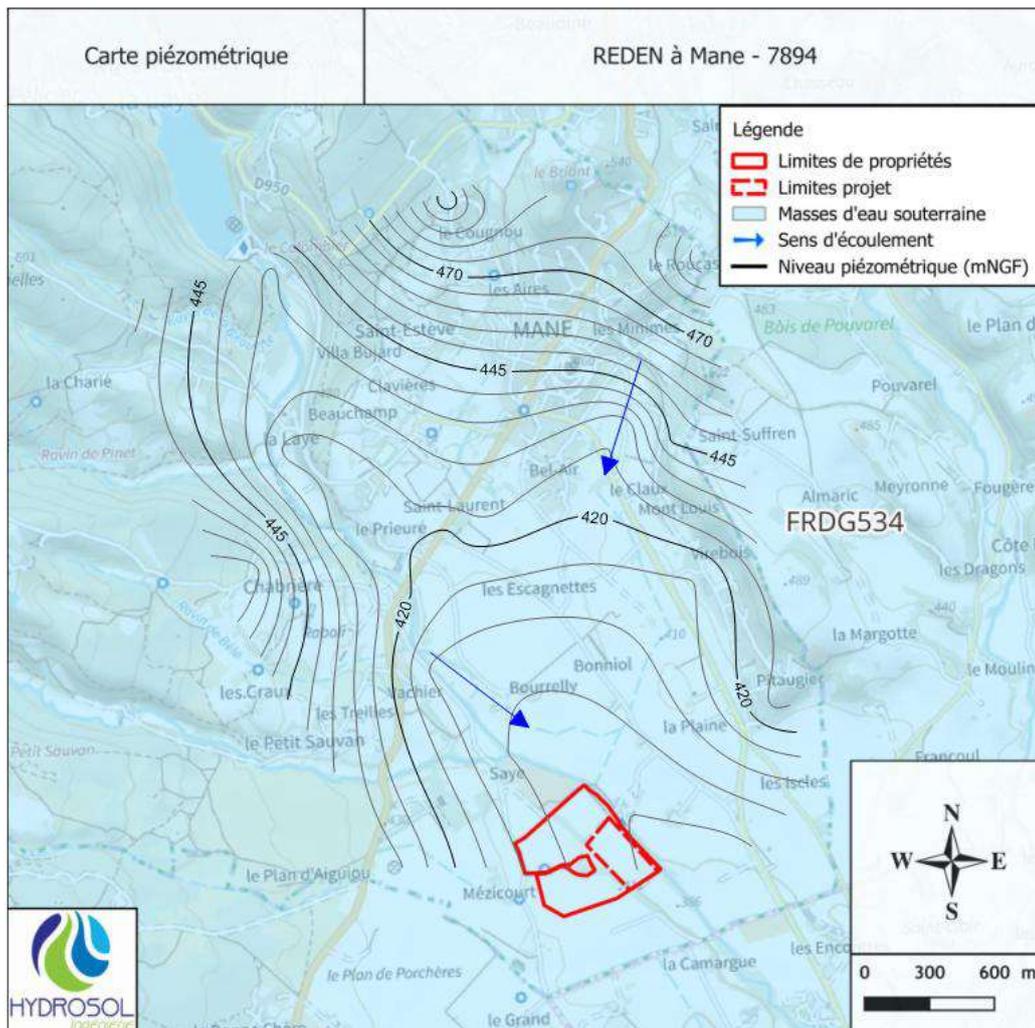


Figure 5 : Carte piézométrique

## V. HYDROLOGIE

### A.1. Réseau hydraulique superficiel

La propriété en projet se situe dans une zone avec un grand réseau hydrographique. En effet, de nombreux ravins sont présents dû à la présence du massif karstique au Nord faisant émerger de nombreuses sources. Ces ravins se jettent ensuite dans La Laye, affluent du Largue, environ 3,2 km au sud-est du projet. La propriété se situe ainsi :

- En bordure de La Laye, en rive droite ;
- À 0,3 km au sud du ravin de l'Été ;
- À 0,7 km au sud du ravin de Sainte-Estève ;
- À 1,7 km au nord-ouest du ruisseau Le Viou
- À 2,6 km au nord du Largue ;
- À 9,5 km à l'ouest de la Durance.

Comme les nombreux ravins, La Laye prend sa source dans le massif calcaire karstique au nord (Montagne de Lure). Un barrage est présent à environ 3 km au nord du projet formant la retenue de la Laye. Ce barrage permet une alimentation en eau potable et en eau d'irrigation pour les villages du secteur.

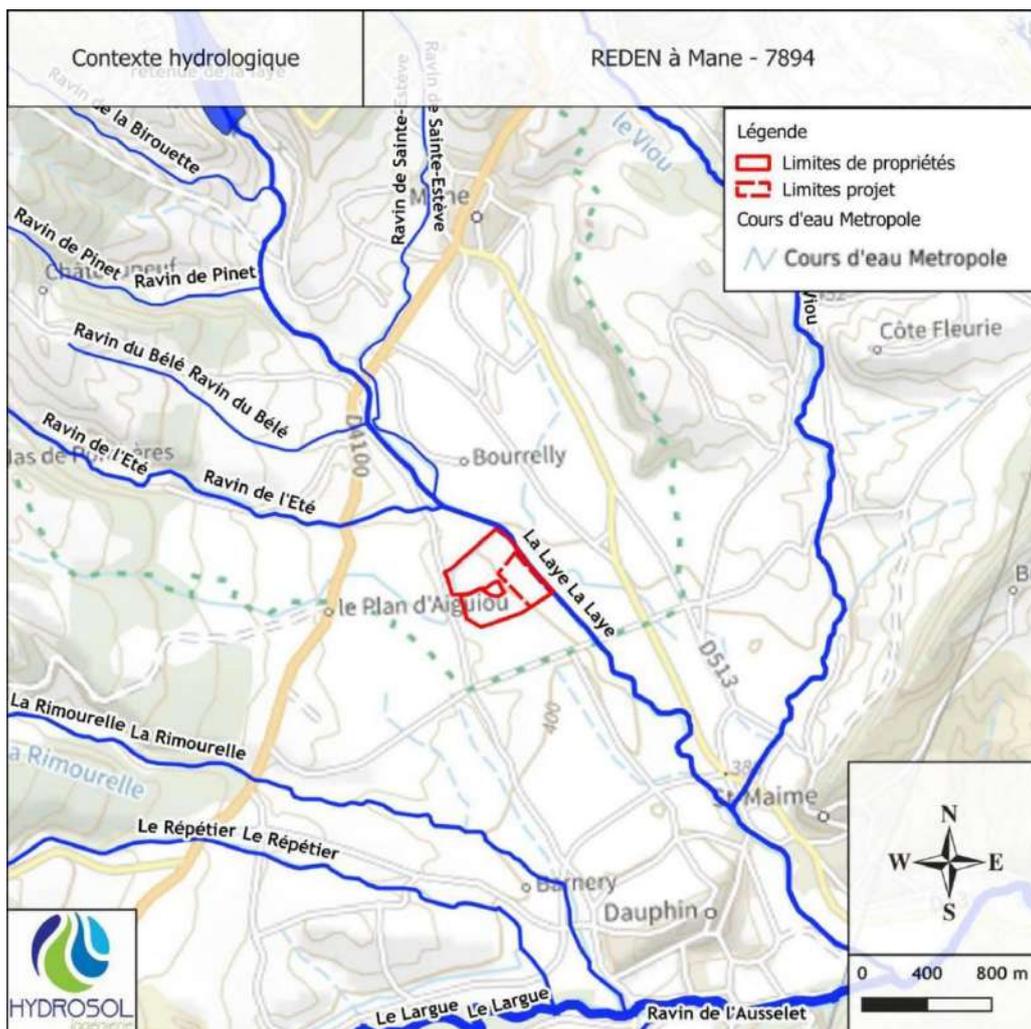


Figure 6 : Contexte hydrologique

## VI. RISQUES

Selon la fiche ERRIAL fournie en annexe 2, la propriété est située :

- ✓ En exposition forte aux argiles du PPRN de la commune de Mane ;
- ✓ En zone de sismicité 4 (moyenne).

La commune de Mane a mis en place un Plan de Prévention aux risques Mouvement de terrain nommé Argile. Il a été approuvé le 12 octobre 2010

La commune n'a pas de Plan de Prévention au Risque Inondation et ne fait pas partie des zones à risques de ruissellement d'après l'Exzeco du département 04. Cependant, le projet se situe dans le lit majeur de La Laye signifiant qu'il y a tout de même un risque à prendre en compte en cas de débordement de cours d'eau d'après l'Atlas des Zones inondables de la Dreal (25m). Le projet est classé en risque très élevé de remontée de nappe dû à une faible profondeur de cette dernière. De plus, la préfecture a classé la commune en risque inondation dans son Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM04).

Un risque également important à prendre en compte sur la zone d'étude est le barrage de La Laye à seulement 3 km au nord. De part sa présence, le risque inondation augmente. Cela peut être dû à une submersion du barrage si le volume d'eau retenu est trop important par rapport à la quantité maximale du barrage ou alors à une rupture partielle ou totale de ce dernier. Si cela se produit, une grande quantité d'eau se déversera sur la commune de Mane et ainsi sur le projet, détruisant tout sur son passage.

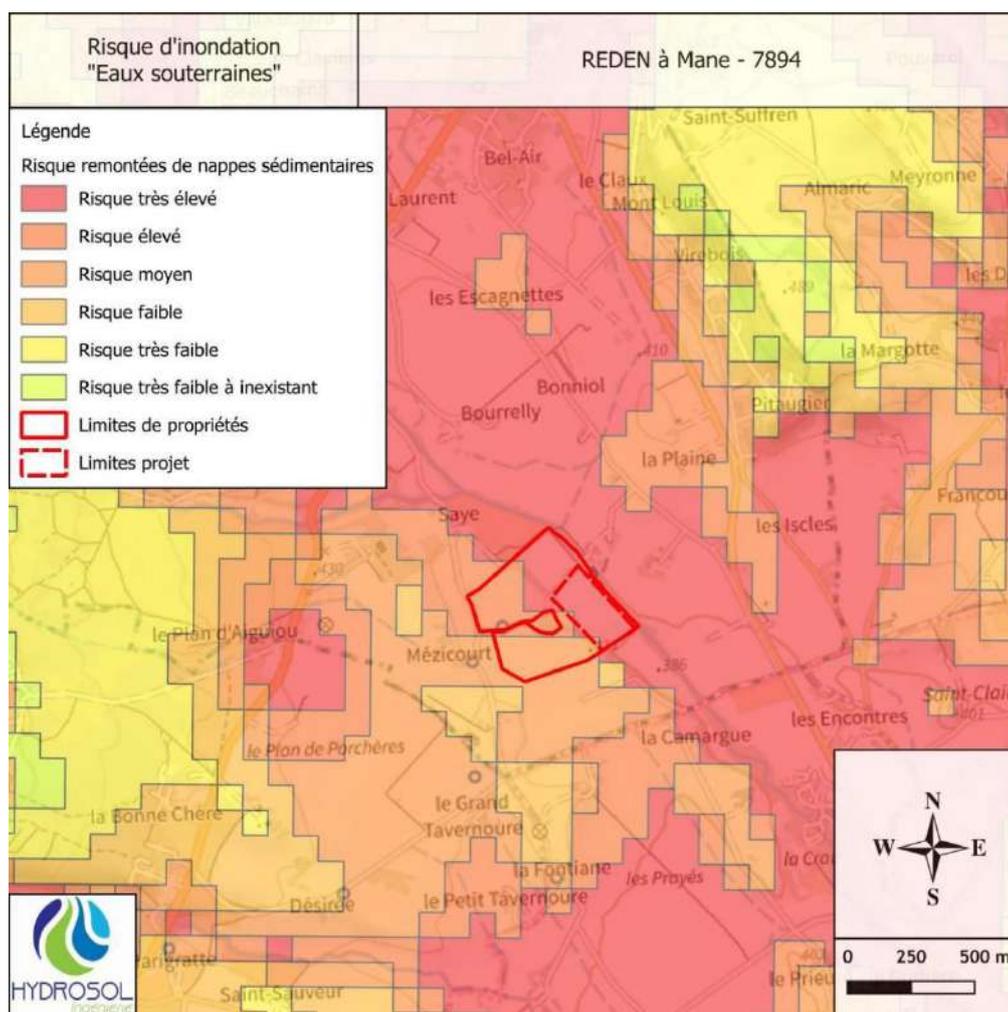


Figure 7 : Risque d'inondation aux eaux souterraines

## VII. ZOOM SUR LE BARRAGE DE LA LAYE

La Laye est équipé d'un barrage sur le territoire de la commune de Mane, au nord-ouest à la sortie d'une gorge étroite. Des travaux de reprise du barrage sont en projet. Des extraits du rapport de sécurisation du barrage sont présentés ici : **Rapport de mission interministérielle d'expertise n° 19022 de Juin 2019**

### Enjeux

Construit en 1962, le barrage de la Laye assure l'irrigation et l'eau potable pour la région de Forcalquier (Alpes de Haute Provence), notamment en période estivale.

Suite à des évolutions réglementaires et à de meilleures connaissances hydrologiques, il s'avère que l'actuel ouvrage d'évacuation des crues du barrage est très insuffisant. La sécurité des populations situées à l'aval du barrage n'est donc pas assurée.

Suite à une demande du préfet du département des Alpes de Haute Provence, une mission interministérielle a été chargée d'analyser la situation.

### Méthodologie

La mission a exploité toutes les études et données hydrauliques du bassin versant et du barrage, puis a auditionné les parties concernées : administrations de l'État (préfecture, DREAL et DDTM), collectivités locales, dont le syndicat intercommunal propriétaire de l'ouvrage, organismes agricoles, Agence de l'eau, société du canal de Provence, associations environnementalistes.

### Résumé

Le barrage de la Laye se trouve dans les Alpes de Haute Provence, sur les communes de Mane et de Forcalquier. Tributaires d'un contexte méditerranéen, les ressources en eau de ce territoire sont naturellement très limitées. Construit en 1962 par le syndicat intercommunal d'irrigation de la région de Forcalquier (SIIRF), ce barrage a permis un développement tant agricole qu'urbain de la zone.

Le territoire a été confronté plusieurs fois à des situations de sécheresse extrême entraînant la mise en place de restrictions d'usage de l'eau. Les captages actuels de nappe ou de source en période estivale dégradent la qualité du milieu naturel et devraient être limités voire supprimés.

L'élaboration d'un schéma général de la ressource en eau et de son usage pour l'ensemble du bassin a révélé toute l'importance du barrage de la Laye. Toutefois l'ouvrage actuel ne résisterait pas à une crue décennale, contrevenant en cela à la réglementation. La réalisation d'un nouvel évacuateur de crue s'impose donc. En cas de rupture du barrage, plus de 3 000 personnes seraient concernées.

La mission a étudié trois scénarios pour la sécurisation du barrage et le financement d'un nouvel évacuateur de crue.

Le premier scénario permet de relever les trois défis qui se posent au bassin versant : la pérennité du barrage de La Laye, la sécurisation de l'alimentation en eau potable et la restauration des milieux aquatiques. Il impose la mise en place d'une gouvernance territoriale de l'eau. Il s'agit d'un scénario de mutualisation qui cherche à répartir les dépenses structurantes sur le périmètre qui en bénéficiera.

Dans le deuxième scénario, le projet se limiterait à la seule réalisation de l'évacuateur de crue par le SIIRF, propriétaire actuel du barrage, comme cela était envisagé antérieurement. Les perspectives d'obtention de subventions seraient limitées et l'impact du recours à l'emprunt sur les irrigants serait très important. Afin d'alléger la charge financière pour les utilisateurs actuels, le SIIRF pourrait chercher à vendre ou fournir plus d'eau. Cette hypothèse demeure très aléatoire du fait de l'incertitude quant à un réel besoin supplémentaire en eau d'irrigation. Si ce scénario ne pouvait se réaliser, le transfert de la maîtrise d'ouvrage à la société du canal

de Provence est techniquement possible. Cet organisme a les capacités techniques et financières de porter ce projet d'évacuateur de crue. En revanche, ce scénario impliquerait des hausses de prix considérables, notamment pour les agriculteurs. Il dessaisirait les acteurs locaux de la gestion de proximité et reporterait à une date lointaine la gestion de l'ensemble de la ressource et des usages du bassin.

Pour finir, le scénario du pire serait celui de l'arasement du barrage que l'État devrait prescrire si les acteurs du territoire n'arrivaient pas à faire émerger l'un des scénarios précédents.

### Particularités du territoire

L'étude de l'événement hydrologique de novembre 2016 (voir. 2.3.1.) montre que seuls 15 % du volume de précipitations tombées sur le bassin de la Laye a réellement ruisselé jusqu'à la retenue. Ce faible taux de ruissellement, et la relative faiblesse de la crue qui en résulte, s'explique en majeure partie par la capacité du substrat karstique à infiltrer de fortes quantités d'eau.

Ces spécificités des massifs karstiques et de leur réponse à des événements météorologiques exceptionnels conduisent toutefois à des questionnements sur les incertitudes qu'elles induisent sur l'hydrologie du bassin de La Laye : l'aquifère karstique pourrait-il être saturé et remonter jusqu'à la surface ? La capacité d'infiltration peut-elle diminuer ? Y a-t-il des risques de résurgence d'eau provenant de l'extérieur du bassin hydrologique ?

La mission a consulté les scientifiques de l'Université d'Avignon spécialistes de ce massif karstique sur ces questions. L'état des connaissances conduit à écarter tout risque de saturation et d'affleurement de l'aquifère karstique au niveau du bassin de La Laye et tout risque induit de limitation de l'infiltration ou d'apparition de résurgence d'eau provenant de l'extérieur du bassin.

Le massif karstique a son exutoire à l'ouest à La Fontaine du Vaucluse, à la cote 180 m NGF, alors que le bassin de La Laye est situé très en amont, 50 km à l'est à la cote 460 m NGF. L'aquifère karstique est très fortement connecté à son exutoire, comme en attestent les temps de réponse de quelques jours ou semaines, entre pluies sur le massif et débit à l'exutoire. Le niveau général de l'aquifère 21 est de quelques dizaines de mètres à une centaine de mètres au-dessus de son exutoire, soit entre les cotes 250 m et 300 m, donc à des niveaux très inférieurs aux 460 m NGF du bassin de La Laye. Des mises en charge temporaires plus importantes (plus de 100m) ont pu être détectées dans certains puits et cavités karstiques mais sont considérées comme localisées.

Selon ces consignes de gestion les cotes spécifiques sont de 462,0 et 462,2 m NGF pour les cotes de pré-alerte 1 et 2, de 463,0 m NGF pour la cote d'alerte et de 465,0 m NGF pour la cote de danger et submersion du barrage. Il est à noter qu'à partir de la cote 464 m NGF le parement amont du barrage n'est pas étanche, des infiltrations pouvant se produire avec des conséquences non maîtrisées, Pour une crue de période de retour 350 ans (débit maximum 540 m<sup>3</sup>/s) le niveau maximum atteint serait de 464,7 m NGF, inférieur à la cote de submersion mais potentiellement dangereux.

Pour une crue de période de retour 400 ans (débit maximum 560 m<sup>3</sup>/s), les consignes actuelles de gestion de la crue conduisent au dépassement de la cote d'alerte et au début de la submersion de la digue respectivement 3 h 39 et 5 h 16 après le démarrage de l'hydrogramme de crue (soit -9 h 39 et 11 h 16 après le début des précipitations). Le délai de 97 minutes entre l'atteinte de la cote d'alerte et la submersion du barrage est clairement insuffisant pour permettre la mise en œuvre de plans de sécurité et de secours. Il serait encore plus court pour une crue de période de retour plus importante (65 minutes pour la crue de 500 ans).

En conclusion, le barrage de La Laye, pour une cote de gestion à 460 m NGF et pour les consignes actuelles de gestion de crue, résiste à une crue de période de retour 350 ans mais ne résiste pas à une crue de période de retour 400 ans ou plus. Dans ce dernier cas, le délai entre le passage de la cote d'alerte et la submersion de la digue est de 97 minutes. La population concernée est estimée entre 1140 et 1800 personnes par l'Étude de dangers de 2013.

Depuis la mise en service du barrage en 1965 (soit 53 années écoulées), aucun événement hydrologique majeur n'a mis en péril l'ouvrage. Plusieurs événements significatifs se sont toutefois produits (janvier 1997 ; décembre 1997 ; décembre 2003 ; janvier 2014 ; novembre 2016) qui n'ont, à notre connaissance, pas fait l'objet d'un retour d'expérience collectif.

L'analyse collective a posteriori des événements de crue significatifs a le double intérêt d'une part d'améliorer la compréhension de la dynamique hydrologique du bassin et de la réponse du barrage, et d'autre part d'évaluer à froid la mise en œuvre des consignes de gestion de crue, leur adéquation aux dynamiques et délais de propagation, les dysfonctionnements constatés, les améliorations possibles ou nécessaires. Elle contribue de plus à développer ou entretenir une culture du risque et la mémoire collective de ce type de phénomène.

#### **Le scénario fictif de précipitations de 150 mm en 6 heures le 24/11/2016**

Météo-France a signalé le 23/11/2016 un risque d'épisode de précipitation de 150 mm le 24/11/2016, qui s'est finalement concrétisé par des précipitations de 70,7 mm en 23 heures. La mission a imaginé le scénario des précipitations de 150 mm en 12 heures ou 6 heures.

Un épisode de précipitations de 150 mm en 12 heures, correspondant à une crue de période de retour 200 ans, n'aurait pas menacé le barrage (cf. plus haut).

En revanche un épisode de précipitations de 150 mm en 6 heures aurait entraîné la rupture du barrage (Figure 14). Nous avons simulé le scénario d'un tel épisode démarrant le 24/11 à 0:00 : le niveau d'eau dans la retenue commence à monter à 3:00, la cote d'alerte est atteinte à 5 h 11 et la cote de submersion du barrage est dépassée à 5 h 54. Le délai de 40 minutes entre le passage à la cote d'alerte et la submersion du barrage ne laisse aucune possibilité opérationnelle d'évacuer les populations. La mission rappelle que Carpentras a connu le 22 septembre 1992 des précipitations de 212 mm en 6 h 00 et que ce scénario n'est donc pas irréaliste.

Il est donc impératif, si l'on veut mieux protéger les populations et l'ouvrage lui-même face à des événements exceptionnels, de gérer le barrage en anticipant les phénomènes météorologiques et hydrologiques et non pas seulement en suivant l'évolution de la cote de la retenue.

## ANALYSE HYDRAULIQUE ET HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE

### I. VISITE SUR SITE

Nous avons réalisé une visite sur site le 22 mai 2024. Cette visite avait pour but de

- ✓ visualiser le site,
- ✓ de vérifier les apports annexes à la Laye,
- ✓ de prendre connaissance de la nature des sols
- ✓ et de noter les éléments hydrogéomorphologiques majeurs.

L'annexe 3 présente le reportage photographique. Précisons que les points de reportage débute à n6 et non à 1. La majeure partie des points mentionnés ici font références à un élément recensé sur le reportage photographique.

La propriété en projet s'étend sur la rive droite du Laye. Elle est composée de 2 entités bien marquées :

- ✓ À proximité immédiate du Laye : la terrasse du Laye coïncident à son lit majeur. Notons que cette association au lit majeur est principalement du à sa nature plane et proche de la Laye, mais la carte géologique locale considère que le lit de la Laye n'est en fait que limité à son lit mineur et que les plaines avoisinantes sont des terrains miocènes.
- ✓ Puis au-dessus d'un talus de 10 m environ, sur laquelle s'adosse une surface vallonnée en pente globalement vers la Laye correspondant à un territoire non-inondée par le Laye.

La nature du sol sablo-argileux avec des grains plutôt émoussés luisants nous pousse à croire que la plaine est de type alluviale et que la carte géologique pour la plaine d'inondation est erronée (carte VALENSOLE exclusivement). De plus, il semble exister une série logique entre des terrains plus argileux à l'ouest en se rapprochant du talus et des terrains plus sableux à proximité de la Laye, ce qui serait logique pour une série de dépôt alluviaux.

Hormis ces éléments majeurs qui seront bien d'avantage détaillés en partie suivante un point important à retenu notre attention, il s'agit du vallonnement des parties extra-alluviales. En effet, on observe par endroit en pied de talus des zones de creux faisant office de drainage des talus et rejoignant parfois la Laye parfois s'arrêtant dans une zone de pseudo-marais. Ces points sont importants en ce qui concerne notre problématique car il participe grandement aux apports de la Laye en aval du barrage.

Un vallon est particulièrement important, il s'agit de celui transitant depuis l'ouest de la propriété et aboutissant à la zone en projet en passant juste au sud de l'habitation des parents de M. RICHARD, enclavée dans la parcelle en projet. Ce vallon est alimentée de 3 manières distinctes :

- La première alimentation est une possible résurgence au niveau d'une zone potentiellement humide juste au sud-ouest de l'habitation mentionnée précédemment localisée en figure XX page suivante ;
- La seconde serait le débord du creux observée sur la zone exploitée au nord-ouest de l'habitation localisée en Figure 8 page suivante ;
- La troisième serait des pertes sur le cours d'eau contournant la parcelle en projet par l'ouest puis au nord pour rejoindre la Laye. Ce réseau hydraulique est considéré comme cours d'eau par la DDTM 04 (<https://carto2.geo-ide.din.developpement-durable.gouv.fr/frontoffice/?map=4b3de380-d2ad-47f4-83ed-2549b326cb60>).

Ce vallon est de courte longueur (environ 175 m) et aboutit pied du talus à un bourrelet de terre muni d'une conduite en béton de 250 mm de diamètre et très encombrée lors de notre visite. Cette buse traverse la zone prévue pour la mise en place de la serre. Il est probable que cette conduite soit insuffisante lors de fortes pluies

et que la zone en amont du bourrelet serve de bassin de rétention et déborde sur le terrain en projet. On observe d'ailleurs sur ce terrain une zone légèrement plus creusée faisant office de lit en poursuite de ce vallon qui se perd dans le terrain.

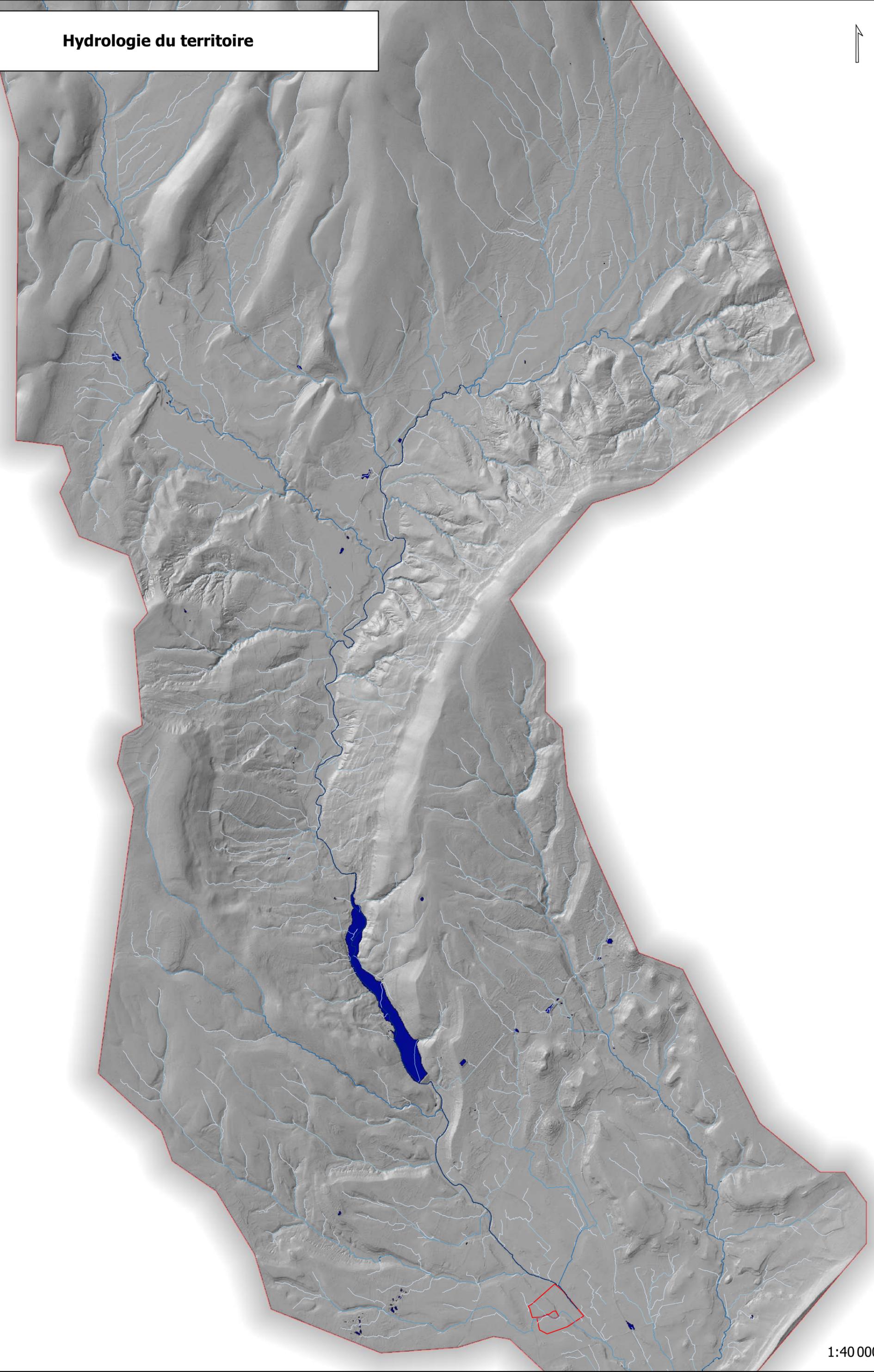
Notons que les berges de la Laye au droit du site en projet ont un profil typique d'un lit sur base d'une vallée glaciaire (figure XX). Les berges de la Laye sont légèrement rehaussée par rapport à la zone de plaine, ce qui engendre des drainage de bas de talus comme indiqué précédemment et donc un ruissellement provenant des épaulements qui se perdent vers le sud ou qui alimente les débordements de la rivière.

Sur le secteur rive gauche, on distingue la même morphologie cependant moins abrupte que sur la rive droite. Les vallonnements sont plus doux mais plus marqués et plus étendus. Comme indiqué en page précédente nous dressons une analyse hydrologique sur la carte en page suivante (Figure 8).

Précisons que l'étude pluviale menée par l'agence d'HYDROSOL PACA montre des résultats de perméabilités très importants (annexe 4).

Cette perméabilité est cohérente par rapport à la pédologie observée in situ. Elle participe à une absorption importante des pluies et à une réaction pluie-débit relativement faible.

# Hydrologie du territoire



## II. TRAVAIL TOPOGRAPHIQUE

### A. Préambule

L'hydrogéomorphologie est une approche géographique appliquée qui étudie le fonctionnement naturel des cours d'eau en analysant la structure des vallées. Elle est issue d'une discipline scientifique : la géomorphologie. Elle a été mise au point dans les années 1980 par des experts du ministère de l'équipement (DGUIHC, CETE Méditerranée), des scientifiques, et des bureaux d'études privés. Cette méthode de diagnostic des zones inondables est reconnue et validée depuis 1996 par les différents ministères en charge de la prévention des inondations, et codifiée à travers un guide méthodologique : « Cartographie des zones inondables, Approche hydrogéomorphologique ».

L'analyse scientifique des formes et de la nature des sols permet de rendre compte du fonctionnement naturel des cours d'eau de façon claire et abordable (Figure 9). Son caractère qualitatif et descriptif ne constitue pas une contrainte dans le cas des atlas de zones inondables ou pour une utilisation dans le cadre des documents de planification (PLU, SCOT...) mais un guide à la réflexion.

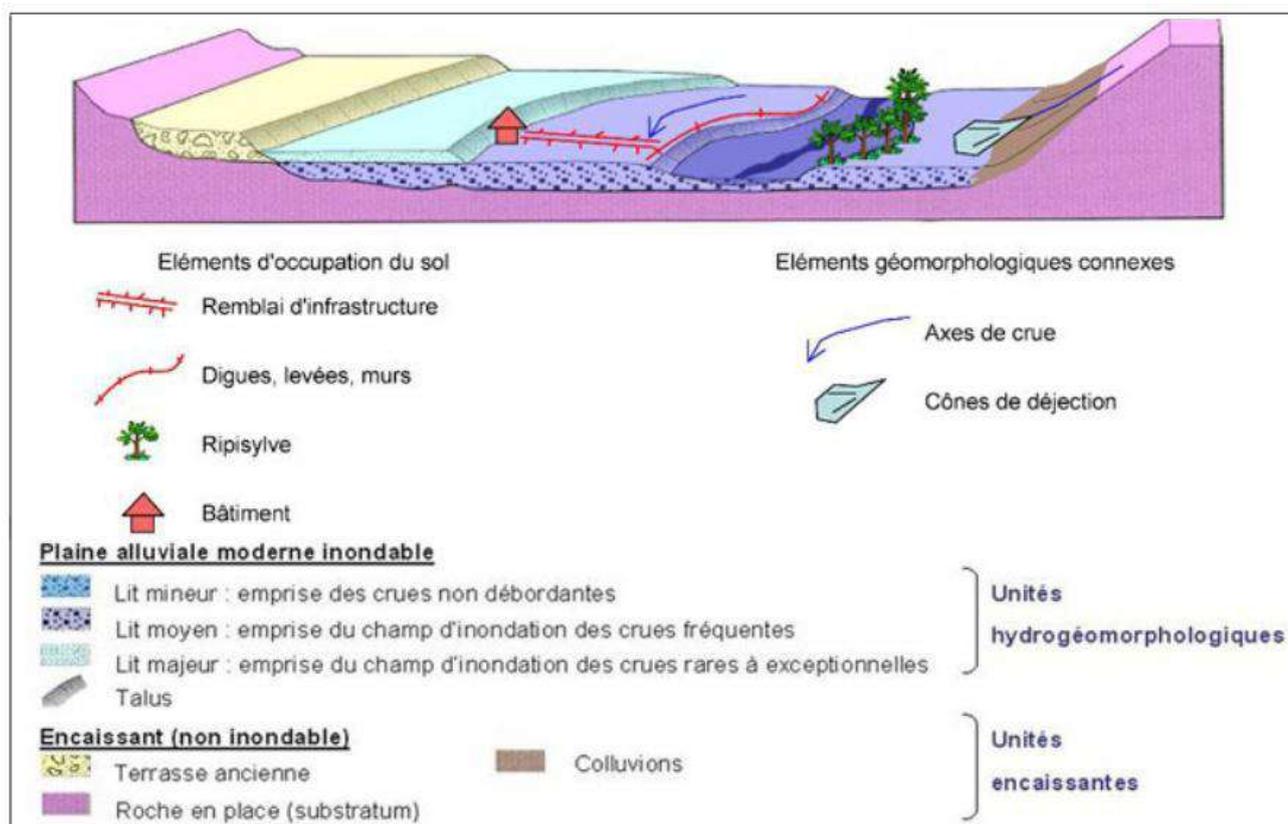


Figure 9 : Schématisation des grandes entités hydrogéomorphologique

Afin d'obtenir une analyse plus fine, nous exploiterons en parallèle des éléments de terrain, une approche géo-algorithmique basée sur le TPI (Topographic Position Index). Cette analyse permettra de définir le *lit majeur calculé* puis le *lit majeur définitif*.

## B. Méthodologie exploitée

Le TPI est un indice topographique permettant de déterminer les zones de crêtes, de fond de vallée, de pente homogène,... Il est calculé selon la valeur de l'altitude du point de mesure par rapport à la moyenne des altitudes sur un transect voisin défini par son échelle :  $TPI = \text{Altitude au point} - \text{Moyenne des altitudes sur l'échelle choisie}$  (Figure 10).

En fonction de l'échelle choisie la classification par le TPI peut être très variable :

- à petite échelle (SN, Figure 10), la moindre variation topographique est décelée et les zones très accentuées (vallons ou crêtes) prennent des proportions importantes, engendrant une réponse floue peu lisible ;
- À grande échelle (LN, Figure 11), les structures majeures sont décelées mais la précision de rendu engendre une perte importante des informations.

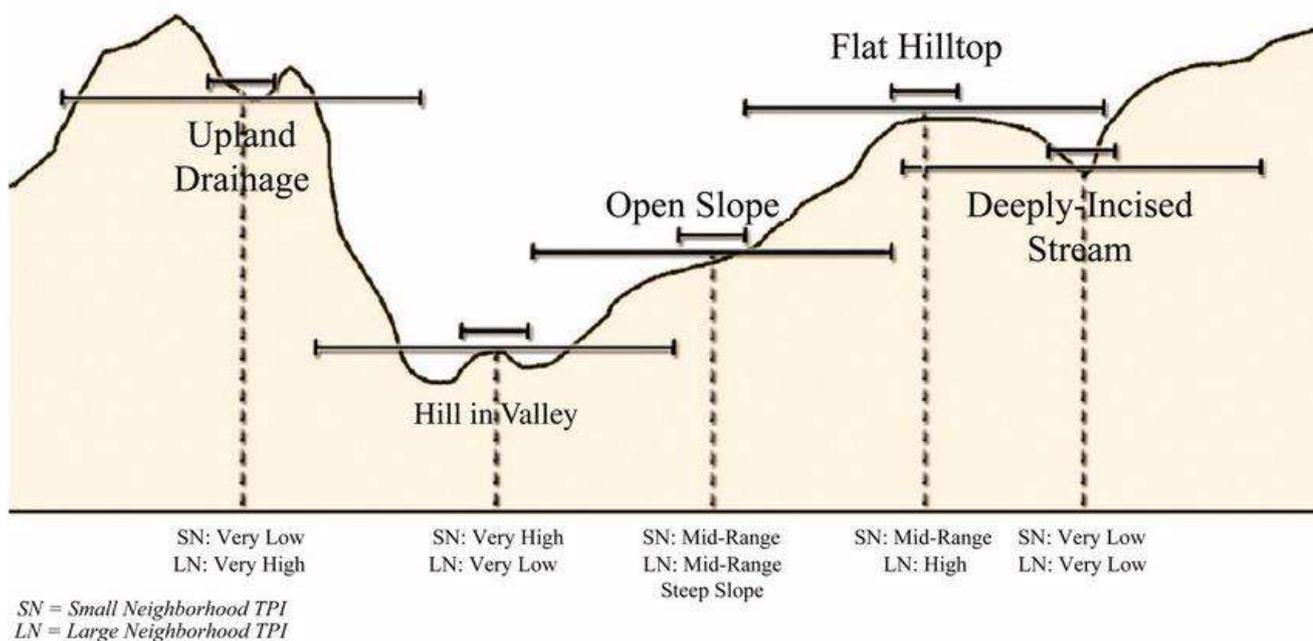


Figure 10 : Schéma du fonctionnement du TPI

C'est pourquoi nous avons choisi une approche géo-algorithmique en plusieurs étapes.

- Détermination des axes d'écoulement ;
- Sélection des zones de vallées et zones de basses altimétries ;
- Sélection des zones proches d'axes de ruissellement ;
- Réalisation du TPI selon 3 échelles (échelle micro = taille d'un lit mineur, échelle macro = taille du bassin versant, échelle médiane) et sélection des zones inférieures à 0.

En croisant le résultat de cette approche avec les données récoltées sur le terrain, nous caractériserons ainsi les lits majeurs de la commune.

La méthodologie est schématisée en Figure 11. L'ensemble des calculs ont été réalisés sur le logiciel SAGA GIS et les données topographiques sont celles précédemment exploitées (RGE ALTI 1M).

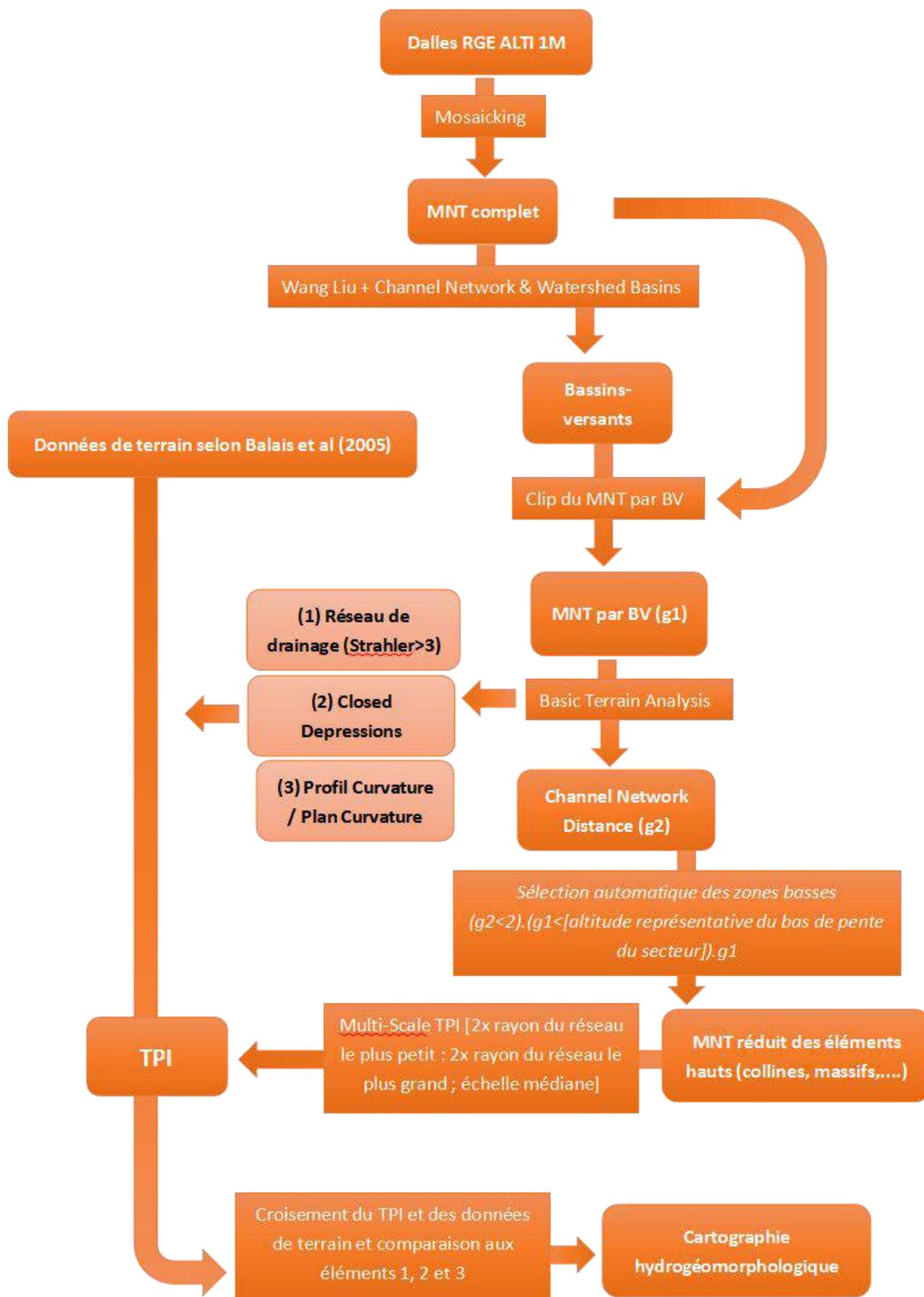
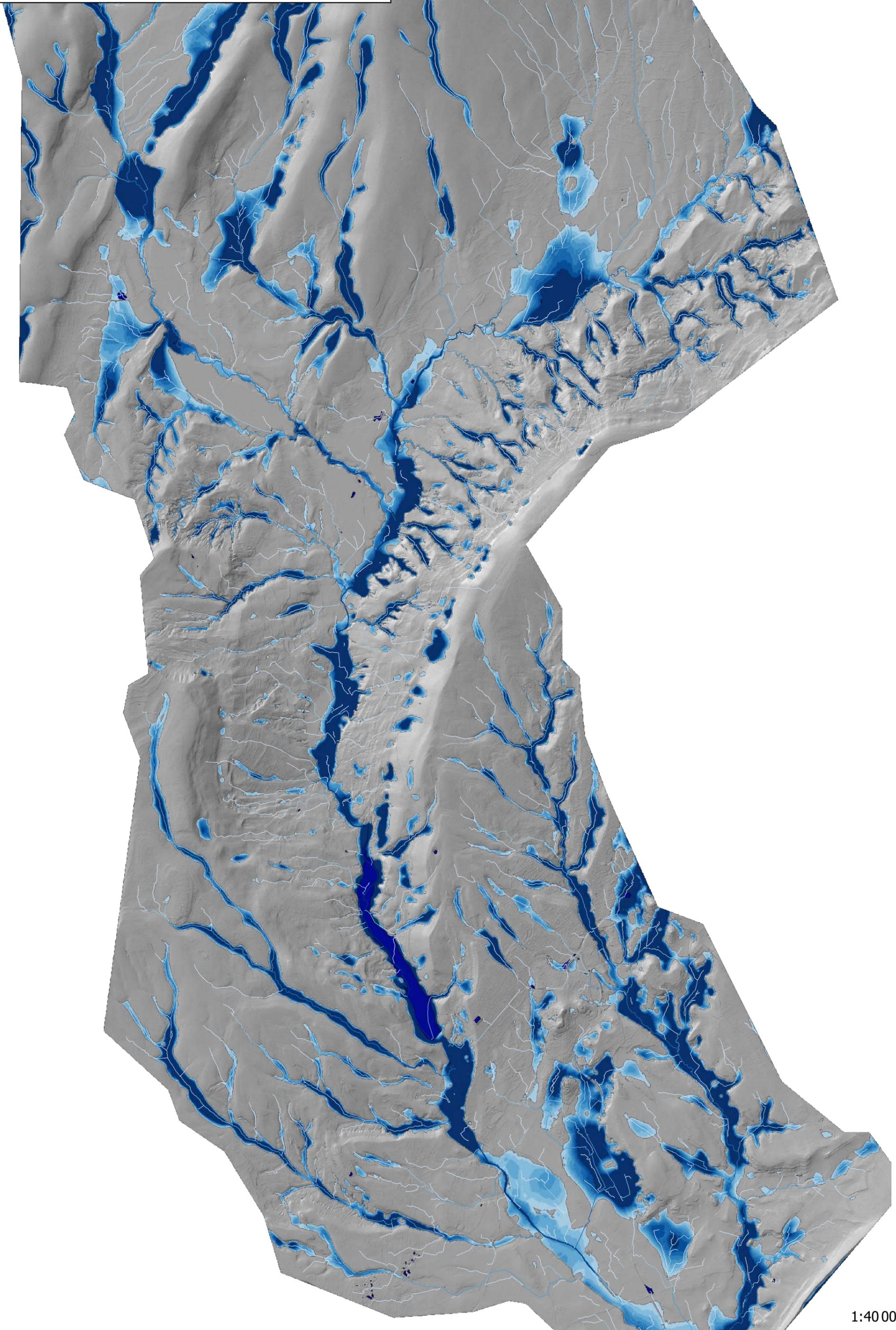


Figure 11 : Méthodologie de l'analyse hydrogéomorphologique menée sur le territoire (logiciel : SAGA GIS)

Nous présentons en page suivante la carte hydrogéomorphologique ainsi établie.

**Hydrogéomorphologie du territoire, caractérisation du lit majeur aval du bassin versant**



## MODÉLISATION

### I. MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE

#### A. Aspect mathématique

Le dictionnaire LAROUSSE indique que le ruissellement est un « écoulement instantané et temporaire, diffus ou concentré, des eaux sur un versant à la suite d'une averse ou de la fusion nivale ». Le site AQUAPORTAIL précise quant à lui le phénomène : « En hydrologie, un ruissellement, ou un écoulement d'eau de surface, désigne la partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol pédologique. Il est la fraction de l'eau de pluie, de la neige fondue ou de l'eau d'irrigation qui s'écoule à la surface du sol et retourne tôt ou tard dans un cours d'eau ou le réseau hydrique, généralement par infiltration. Les eaux ruisselantes peuvent s'accumuler dans des mouillères ou des vasières en prairie humide ou dans les anciens lacs asséchés. Un ruissellement de surface consiste en un écoulement diffus de l'eau sur le sol saturé avant d'atteindre un cours d'eau. »

De ces 2 définitions on peut retenir que la temporalité, la spatialité et la saturation du sol influent fortement sur le ruissellement.

D'un point de vu hydrologique, le ruissellement des eaux est une composante du bilan hydrique. A ce titre il peut être défini comme toutes les eaux précipitant sur une surface qui ne s'infiltrent, ne s'évaporent ou ne se stockent pas. Nous proposons un schéma du ruissellement en Figure 13.

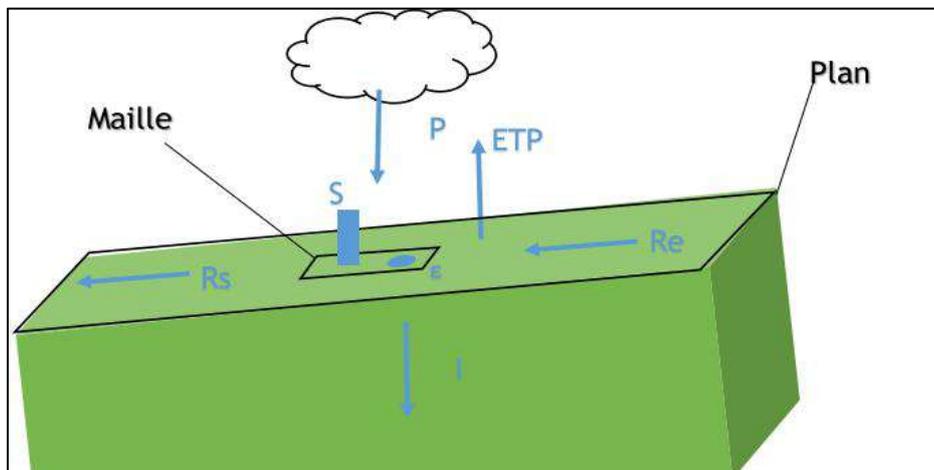


Figure 13 : Schéma de ruissellement

Ainsi on peut subdiviser un plan en un ensemble de maille. L'étude du ruissellement correspondrait au calcul du plus haut stock d'eau (S) sur chaque maille, pour :

$$S = S_{-1} + P + \varepsilon + Re - ETP - I - Rs$$

Avec S le stock d'eau ou la hauteur d'eau sur la maille étudiée, P la pluie, Re le ruissellement entrant provenant des mailles à l'amont, I l'infiltration, ETP l'évapotranspiration, Rs le ruissellement sortant et un élément que l'on nommera  $\varepsilon$  correspondant aux eaux temporairement stockées au sein de la maille mais remobilisable dans le cas où S est grand. Il peut s'agir d'eau captée par la végétation à l'extérieur des pores, d'eau rampant sur les espaces rugueux ou clos de la maille.

Dans le cas d'une pluie d'orage nous négligerons l'ETP et  $\varepsilon$ .

Ainsi la formule se simplifie en :

$$S = S_{-1} + P + Re - I - Rs$$

Le principe développé dans ce rapport est de réaliser une modélisation 2D du secteur pour permettre d'évaluer quantitativement le risque et d'avoir une vision des zones où les écoulements se rapprochent de l'écoulement « rampant » dans les zones de plaines homogènes ou faiblement chenalées.

La modélisation hydraulique 2D est réalisée afin d'étudier les conditions d'écoulement des eaux de pluies. Cette dernière nécessite de créer un modèle hydraulique à l'aide de données topographiques, d'écoulements, une connaissance du terrain étudié afin de prendre en compte les fossés, les talwegs, les ouvrages hydrauliques, les obstacles,... La connaissance du secteur d'étude implique les données urbaines si présence de ces dernières ainsi que des phénomènes météorologiques présents. Le diagnostic hydraulique ayant été fait en amont, la présente étude repose sur la méthodologie de la modélisation hydraulique.

Le régime permanent est la modélisation à débit constant et ne permet pas de modéliser les particularités si jamais observées de l'écoulement laminaire. Ce régime est basé sur l'hypothèse que la pointe de crue est suffisamment étalée pour que s'instaure un régime permanent à la crête de celle-ci.

Le régime transitoire intègre le facteur temps ce qui permet de travailler sur la réalité d'un événement de crue notamment à travers l'utilisation d'un hydrogramme. Ce type de régime met en évidence des phénomènes hydrauliques tel qu'une possibilité de rétention d'eau sur le champ de crue ou encore les pointes de laminages observées.

La modélisation des écoulements se base sur l'utilisation des équations de Saint Venant.

Ces équations permettent de simuler l'évolution dans le temps et le long de l'axe hydraulique de la rivière des deux variables de débit  $Q$  et du niveau de surface libre  $z$ .

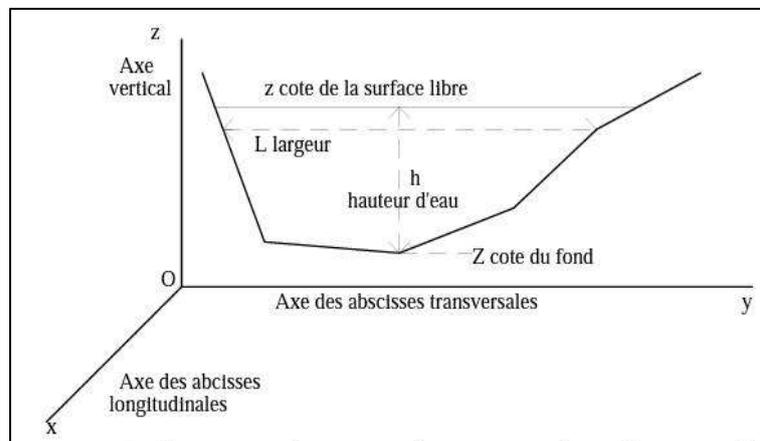


Figure 14 : Graphique de projection des équations

Pour un écoulement permanent :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \frac{Q^2}{S} \right) + gS \frac{\partial z}{\partial x} = -gSJ + kq \frac{Q}{S}$$

Où l'on dispose des relations élémentaires :  $V = \frac{Q}{S}$

Pour  $x$  l'axe hydraulique qui est l'abscisse longitudinale,  $t$  le temps,  $S$  la section mouillée,  $Q$  le débit,  $q$  le débit d'apport latéral,  $z$  la surface libre,  $g$  l'accélération de pesanteur,  $J$  la pente de frottement,  $k$  le ratio entre la composante longitudinale de la vitesse de l'apport et la vitesse de l'écoulement principal,  $\beta$  le coefficient correcteur prenant en compte la répartition réelle des vitesses dans la section.

La relation de Manning-Strickler définit le frottement  $J$  comme étant :

$$J = \frac{Q|Q|}{K^2 S^2 R^{4/3}}$$

c'est à dire  $D = KSR^{2/3}$  où  $D$  est débitance,  $K$  le coefficient de Strickler lié au frottement et  $R$  le rayon hydraulique

$$q(x, t) = \mu(x, t) \sqrt{2g(z - z_d(x))}^{1,5}$$

Le débit latéral  $q$  regroupe les échanges liés aux pertes ou aux apports latéraux.

On définit  $z_d$  cote de la crête,  $\mu$  le coefficient de débit.

Toutefois, pendant les crues, la topologie d'un tel réseau peut évoluer et impose des problèmes de modélisation difficiles en 1D. Le débit n'est plus forcément orienté selon l'axe hydraulique de la rivière. Dans ce cas il faut réécrire les équations de Saint Venant. La résolution des équations déterminera l'orientation de l'écoulement dans le plan horizontal.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Qx}{\partial x} + \frac{\partial Qy}{\partial y} = P$$

$$\frac{\partial Qx}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Qx^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{QxQy}{h} \right) = -gh \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{Qx \sqrt{Qx^2 + Qy^2}}{K^2 h^{7/3}} + D \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial(Qx/h)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial(Qx/h)}{\partial y} \right) \right) + Fx(W) + Px$$

$$\frac{\partial Qy}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{QxQy}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Qy^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{Qy \sqrt{Qx^2 + Qy^2}}{K^2 h^{7/3}} + D \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial(Qy/h)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial(Qy/h)}{\partial y} \right) \right) + Fy(W) + Py$$

Avec  $h$  la hauteur d'eau,  $Z$  la cote de fond,  $Qx$  le débit sur  $Ox$  égal au produit de la vitesse par la hauteur,  $Qy$  le débit selon  $Oy$ ,  $g$  l'accélération de la pesanteur,  $K$  une constante de viscosité,  $W$  la vitesse du vent,  $Fx$  et  $Fy$  les contraintes dues au vent,  $Px$  et  $Py$  les composantes sur frottement à la paroi verticale,  $P$  l'apport local correspondant à la pluie.

Pour résoudre ces équations sur un domaine étendu nous utiliserons le logiciel HEC-RAS. Il s'agit d'un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau, les canaux et sur des surfaces de ruissellements.

Pour les écoulements non permanents, le logiciel résout l'ensemble dynamique des équations de Saint-Venant par la méthode des différences finies. Ce module de résolution est adapté des travaux de BARKAU R ("UNET, One-dimensional unsteady flow through a full network of open channels" 1992).

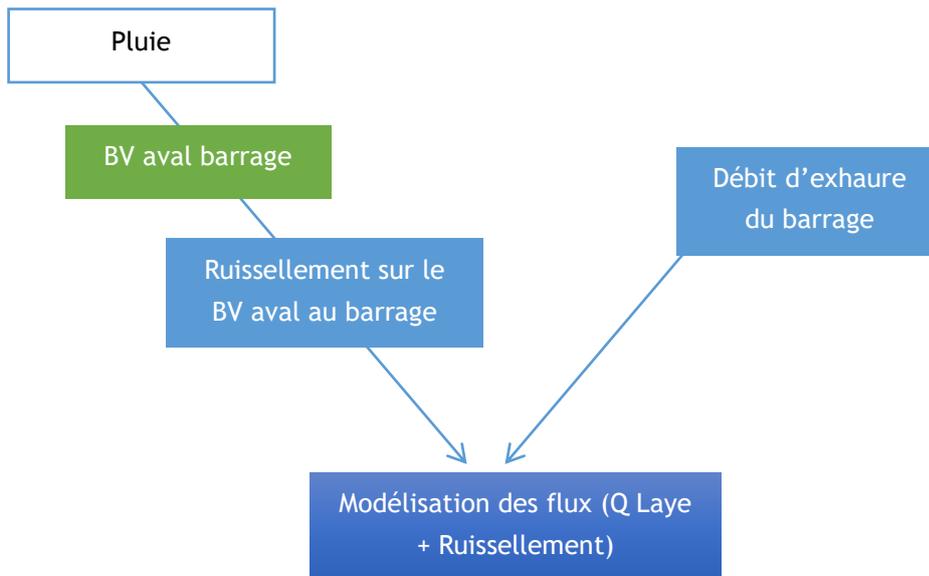
HEC-RAS est capable de modéliser un réseau de chenaux, un système hydrographique dendritique ou une simple partie d'un cours d'eau. Certaines simplifications doivent être réalisées pour modéliser les situations d'écoulements complexes avec HEC-RAS. Il est capable de simuler divers régimes d'écoulement (subcritique, de transition, supercritique) en prenant en compte les effets de ponts et seuils. HEC-RAS permet également de simuler l'évolution de la qualité de l'eau, le transport sédimentaire, les plaines d'inondation ou encore les ruptures de digue. Les calculs peuvent se réaliser pour des écoulements stationnaires (débit constant) ou suivant des hydrogrammes par exemple. Il est possible de simuler des canalisations en charge bien que ses capacités soient relativement limitées.

Le maillage est principalement à mailles carrées mais des mailles irrégulières (jusqu'à 8 faces) sont

automatiquement créées au niveau du pourtour de la zone 2D pour s'adapter à la bordure. Le logiciel s'utilise à une échelle plus fine que la maille en conservant une trace des informations MNT. Chaque maille possède une information sur la topographie de l'environnement étudié. Ainsi, une maille peut être partiellement noyée et hors de l'eau. La visualisation est possible directement dans HEC-RAS via RAS Mapper.

## B. Méthodologie pour le contexte du projet

Nous résumons la méthodologie employée ici par le schéma ci-dessous (XXX).



Nous intégrerons le débit du barrage comme une condition aux limites à une modèle de ruissellement 2D de type ruissellement.

Pour répondre à ces questions et modéliser le processus nous devons nous attacher à caractériser les points suivants :

- La définition de la/des pluies de projet ;
- Le débit à prendre en compte du barrage ;
- La topographie du territoire ;
- La chenalisation du territoire ;
- L'occupation du sol ;
- Les paramètres de rugosité ;
- L'imperméabilisation du territoire ;
- Les capacités d'infiltration des terrains de surface.

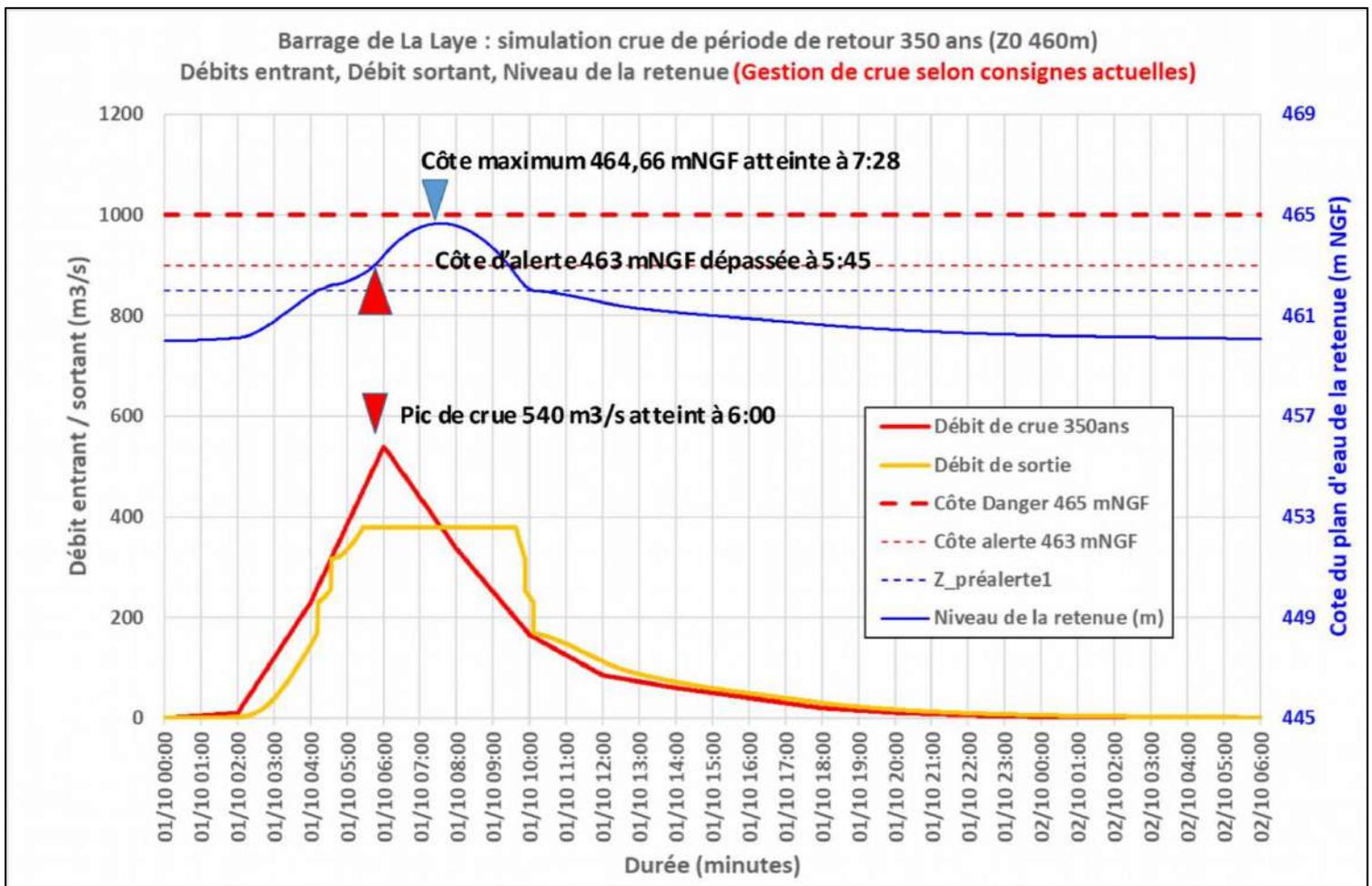
Ces éléments seront issues soient de données bibliographiques, de bases de données publiques, de reconnaissances de site, de mesures sur site ou d'analyses topographiques et d'images satellites présentées dans la suite du rapport.

## II. DÉBIT DU BARRAGE

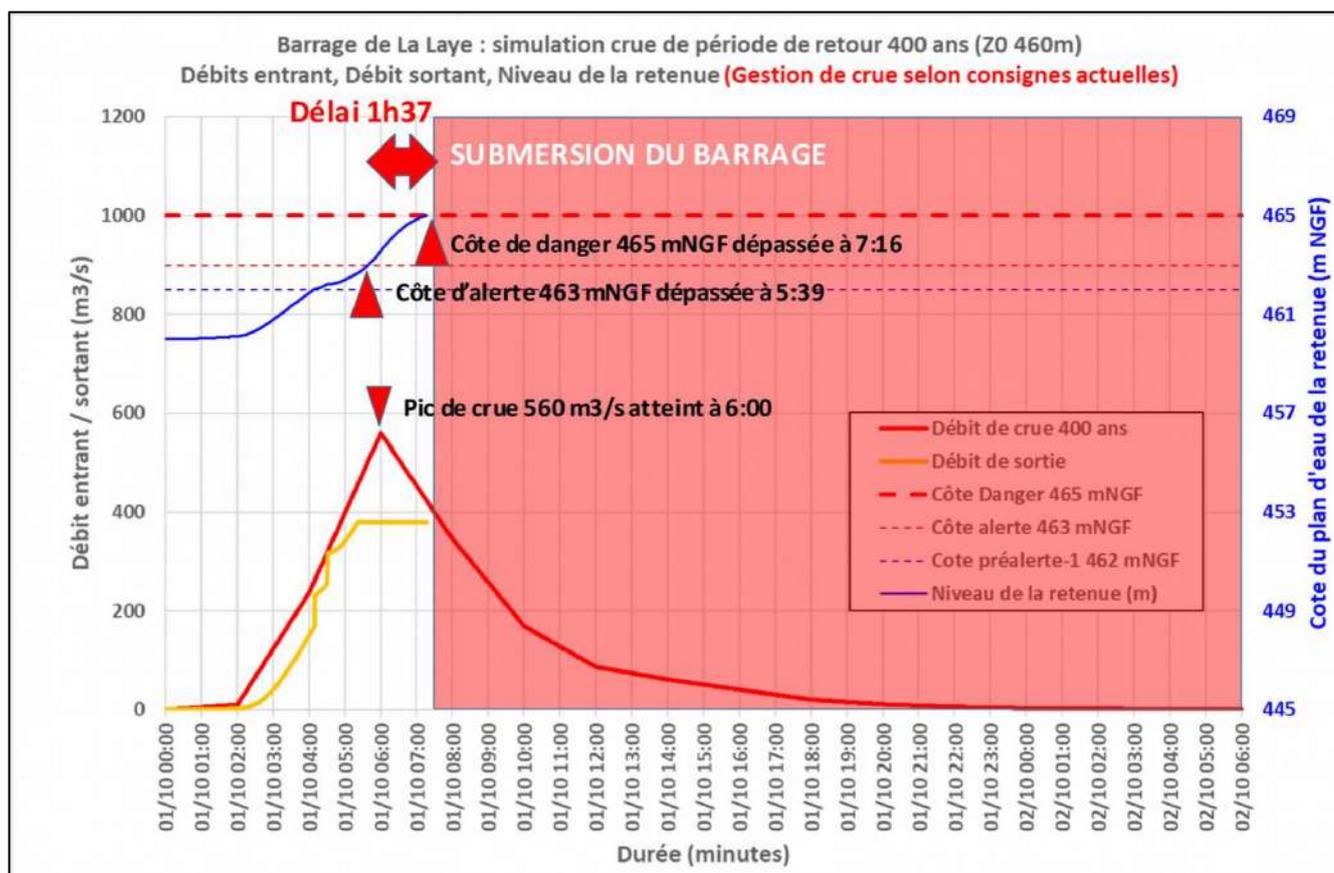
Pour déterminer le scénario de modélisation, nous prendrons en compte les éléments issus du rapport de 2019 préalablement cité :

### La réponse du barrage à l'arrivée d'une crue exceptionnelle

Les dynamiques théoriques de remplissage du barrage de La Laye, initialement à la cote 460 mNGF, face à deux évènements de crue de périodes de retour respectives 350 ans et 400 ans sont illustrées en figures ci-dessous. Elles sont obtenues par simulation du remplissage de la retenue sous l'effet du débit provenant du bassin amont, du déversement par le déversoir lorsque la cote dépasse 460 mNGF, et de l'ouverture de la vanne de fond selon les consignes actuelles de gestion de crue (ouverture à 50 % (débit= 60 m<sup>3</sup>/s) quand le niveau atteint la cote 462,0 mNGF ; à 100 % (débit = 120 m<sup>3</sup>/s) lorsque le niveau atteint la cote 462,2 mNGF).



Dynamique de la retenue de La Laye face à une crue de période de retour 350 ans



Dynamique de la retenue de La Laye face à une crue de période de retour 400 ans

Selon ces consignes de gestion les cotes spécifiques sont de 462,0 et 462,2 mNGF pour les cotes de pré-alerte 1 et 2, de 463,0 mNGF pour la cote d'alerte et de 465,0 mNGF pour la cote de danger et submersion du barrage. Il est à noter qu'à partir de la cote 464 mNGF le parement amont du barrage n'est pas étanche, des infiltrations pouvant se produire avec des conséquences non maîtrisées. Pour une crue de période de retour 350 ans (débit maximum 540 m<sup>3</sup>/s) le niveau maximum atteint serait de 464,7 mNGF, inférieur à la cote de submersion mais potentiellement dangereux.

Pour une crue de période de retour 400 ans (débit maximum 560 m<sup>3</sup>/s), les consignes actuelles de gestion de la crue conduisent au dépassement de la cote d'alerte et au début de la submersion de la digue respectivement 3 h 39 et 5 h 16 après le démarrage de l'hydrogramme de crue (soit -9 h 39 et 11 h 16 après le début des précipitations). Le délai de 97 minutes entre l'atteinte de la cote d'alerte et la submersion du barrage est clairement insuffisant pour permettre la mise en œuvre de plans de sécurité et de secours. Il serait encore plus court pour une crue de période de retour plus importante (65 minutes pour la crue de 500 ans).

En conclusion, le barrage de La Laye, pour une cote de gestion à 460 mNGF et pour les consignes actuelles de gestion de crue, résiste à une crue de période de retour 350 ans mais ne résiste pas à une crue de période de retour 400 ans ou plus. Dans ce dernier cas, le délai entre le passage de la cote d'alerte et la submersion de la digue est de 97 minutes. La population concernée est estimée entre 1140 et 1800 personnes par l'Étude de dangers de 2013.

Ceci doit conduire à revoir les consignes de gestion de crue et à intégrer une anticipation des événements météorologiques et hydrologiques extrêmes.

...

Ainsi sur la base de ces éléments nous considérerons un événement 400 ans. Pour un tel événement, le débit de sortie du barrage est défini à 380 m<sup>3</sup>/s maximum.

### III. PLUIE DE PROJET

Selon le tableau 5 de cette étude de vulnérabilité de 2019 reporté ici en Figure 15, indique une pluie de 165 mm en 12h.

Période de retour (ans)	10	100	200	350	400	500	600	1 000	2 000	5 000	10 000
Pluie 12 h (mm)	89	137	151	163	165	170	174	185	200	218	232
Volume des pluies 12 h (Mm <sup>3</sup> )	11,6	17,8	19,7	21,2	21,6	22,2	22,7	24,1	25,9	28,3	30,2
Lame ruisselée 12 h (mm)	8	57	71	82	85	90	94	104	118	137	152
Volume ruisselé 12 h (Mm <sup>3</sup> )	1,2	7,8	9,5	10,9	11,2	11,8	12,3	13,8	15,5	17,9	20,2
Débit moyen 12 h (m <sup>3</sup> /s)	24	165	205	240	259	273	285	304	346	401	442
Débit maximum (m <sup>3</sup> /s)	41	347	450	540	560	600	630	730	848	1002	1150

Figure 15 : Tableau extrait de l'étude de vulnérabilité de 2019

Ainsi en employant la transformation de type double triangle (annexe 5) on obtient la pluie de projet 400 ans suivante (Figure 16).

Le but ici est de réduire les temps de calcul, ainsi nous considérons le pic du double triangle au moment du débit du débit maximum de sortie du barrage. La modélisation ne s'étalera pas au-delà de 2h.

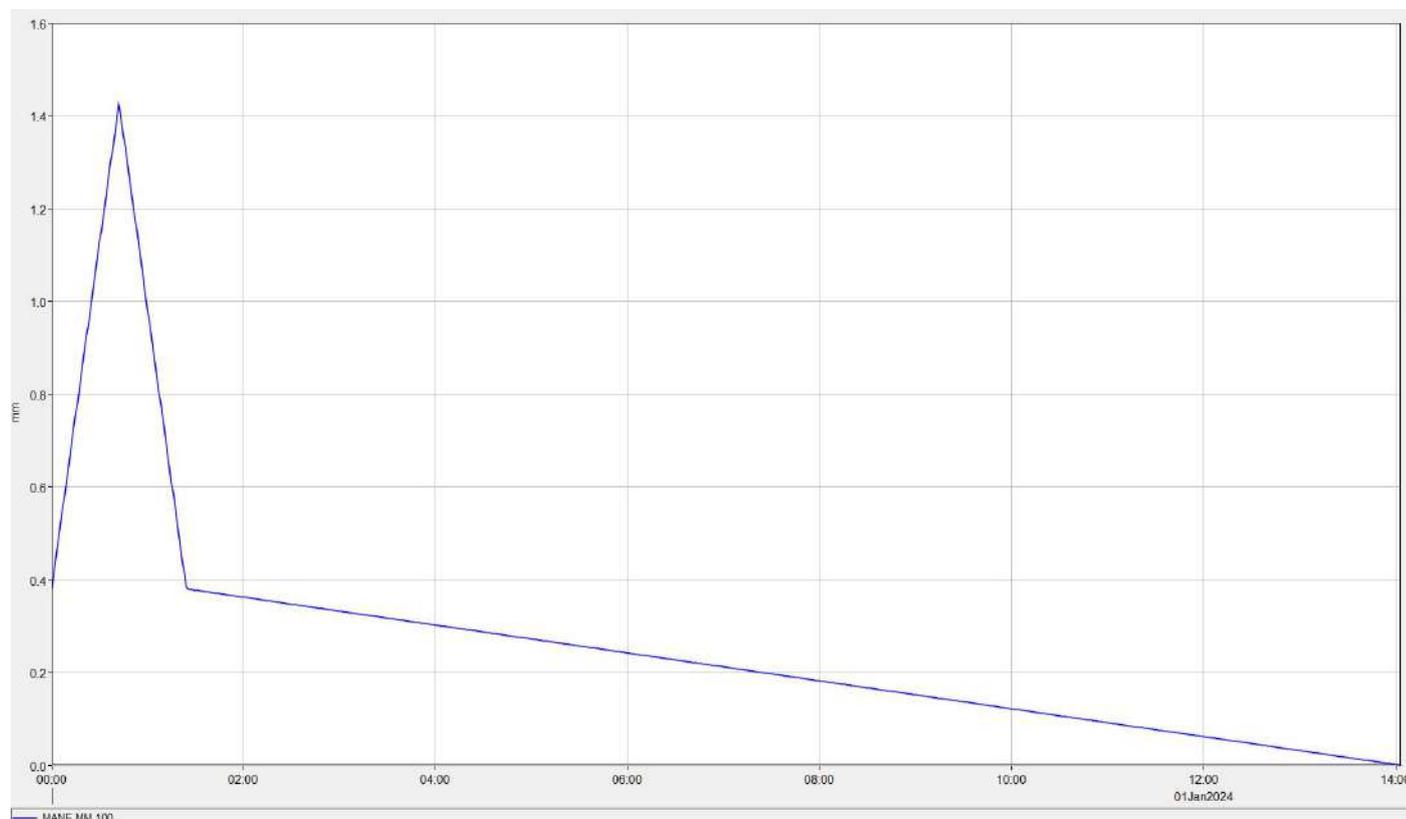


Figure 16 : Pluie double triangle 400 ans

## IV. TOPOGRAPHIE DU TERRITOIRE ET CHENALISATION

### A. Caractérisation globale par approche géoalgorithmique

Dans une première étape nous avons élaboré une analyse géoalgorithmique d'un modèle numérique de terrain (MNT).

L'IGN définit le MNT comme un ensemble de points référencés en planimétrie et en altimétrie doté d'une méthode d'interpolation modélisant le relief du sol sous forme numérique. Les données du MNT peuvent être structurées de différentes façons : grille de points, réseau de triangles, polygones matérialisant des courbes de niveaux. Note : Les MNT dont il est fait mention dans ce document sont exclusivement des données exprimées sous forme d'une grille régulière de points.

Dans notre cas nous avons utilisé le MNT issu du RGE ALTI 1m. Le RGE ALTI décrit la forme et l'altitude normale de la surface du sol à grande échelle. Le RGE ALTI® est la réfection complète du thème "altimétrie" de la composante topographique du référentiel à grande échelle (RGE). Un programme de réfection a été initié par l'IGN en 2009 ; il a pour objectif la constitution d'un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 1 mètre sur la France entière. La précision du MNT varie en fait selon les zones et les enjeux : elle est portée à 20 centimètres EMQ<sup>1</sup> dans les zones inondables ou littorales pour répondre aux besoins liés à la mise en œuvre de la directive européenne inondation. Le RGE ALTI est mis à jour à partir des levés obtenus par LIDAR aéroporté ou par corrélation d'images aériennes.

Le choix d'utiliser le RGE ALTI 1M pour cette analyse et pour la suite du dossier est motivé par :

- Par rapport au RGE ALTI 5M : le choix est motivé par une plus grande précision pour un temps de traitement relativement modéré puisque les calculs seront établis par bassin-versant ;
- Par rapport aux données LIDAR<sup>2</sup> : dans le cadre de cette analyse, nous avons favorisé une approche MNT1m puis précision de terrain afin d'éviter les difficultés quant au traitement des données LIDAR essentiellement dû au temps de calcul pouvant être très long du fait de la grande précision des données. La précision du LIDAR relevant plus d'un modèle numérique d'élévation (MNT plus éléments de sur-sol) n'est pas nécessaire sur la grande majorité du territoire. Enfin, le RGE ALTI1m étant mis à jour selon les données LIDAR, sa précision semble satisfaisante, et l'usage du LIDAR n'aurait engendré qu'un ralentissement des calculs.
- Autres méthodes : la majeure partie des approches permettant d'établir un MNT présente tout ou partie non-libre engendrant des coûts qu'il ne nous a pas semblé nécessaire du fait de la possibilité d'usage de données libres disposant d'un niveau de précision suffisant. De plus, les approches nécessitant l'incrémentation de diverses méthodes ne nous ont pas semblé pertinentes car cela engendre une perte de précision sur la transformation de ces données pour l'incrémentation.

Le MNT étant extrait, l'approche géo-algorithmique peut être menée. Cette approche débute par une

---

<sup>1</sup> Erreur Moyenne Quadratique : Calcul statistique utilisé généralement, s'agissant de données géographiques, pour qualifier la précision d'un positionnement. Il s'agit de la mesure de la dispersion des observations autour de la valeur vraie (correspond à l'anglais Root Mean Square ou rms). L'emq est le plus souvent exprimée en unité terrain.

<sup>2</sup> LiDAR ou Light Detection And Ranging : Système de mesure de terrain par balayage laser. Il est pris ici systématiquement au sens de LiDAR aéroporté : système permettant de mesurer la distance entre un point d'un avion et des points au sol.

modification du MNT par remplissage des trous permettant ainsi d'établir des jonctions efficaces entre les chenaux. Nous utiliserons un algorithme proposé par Wang & Liu (Wang, L. & H. Liu (2006): An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: 193-213) pour identifier et combler les dépressions de surface dans les modèles numériques. La méthode a été améliorée pour permettre la création de modèles hydrologiques, c'est-à-dire non seulement pour combler la ou les dépressions, mais également pour préserver une pente descendante le long du trajet d'écoulement. La Figure 17 présente le fonctionnement de l'algorithme.

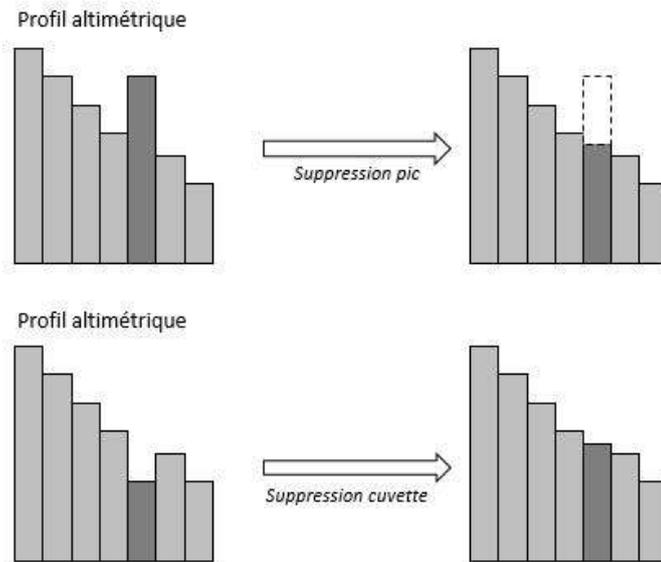


Figure 17 : Fonctionnement de l'algorithme Fill sink XXL (Wang & Liu)

Afin d'extraire le réseau hydrographique, un algorithme de routage de flux est utilisé. Il s'agira ici de l'outil Channel network and drainage basin de SAGA (Système Automated for Géoscientific Analysis). L'algorithme employé est de type Deterministic 8 et considère un flux comme un déplacement entre les centres des cellules en prenant en compte les 8 mailles autour de la maille considérée et en comparant les altimétries correspondant à chacune d'entre elles (Figure 18).

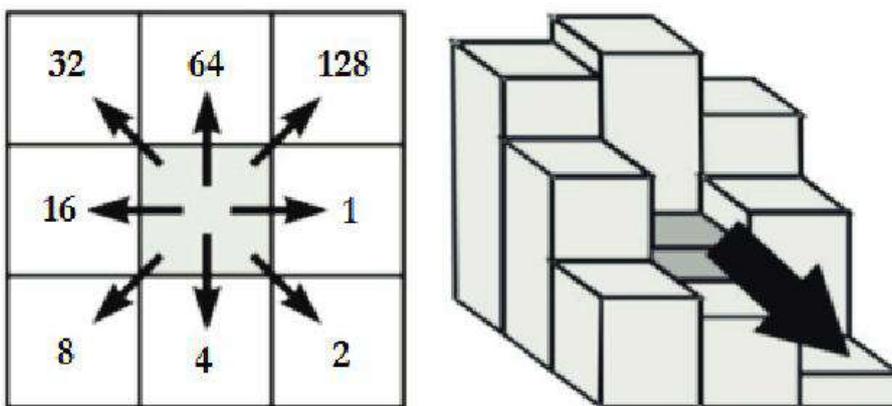


Figure 18 : Schéma du fonctionnement du modèle de flux D8

Les chenaux ainsi déterminés, ils sont classés selon l'ordre de Strahler (Figure 19). Dans la classification de Strahler, tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque drain se fait selon la méthode suivante : un drain d'ordre  $n+1$  est issu de la confluence de deux drains d'ordre  $n$ . L'ordre ou le rang de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du drain principal à l'exutoire. Des améliorations ont été apportées à cette méthode par Shreve et Scheidegger pour accorder l'ordre de Strahler avec l'importance du débit sur le drain principal.

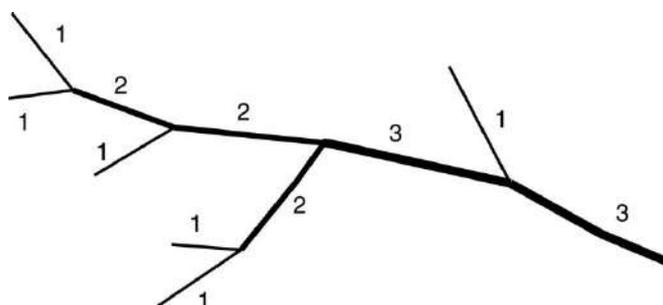


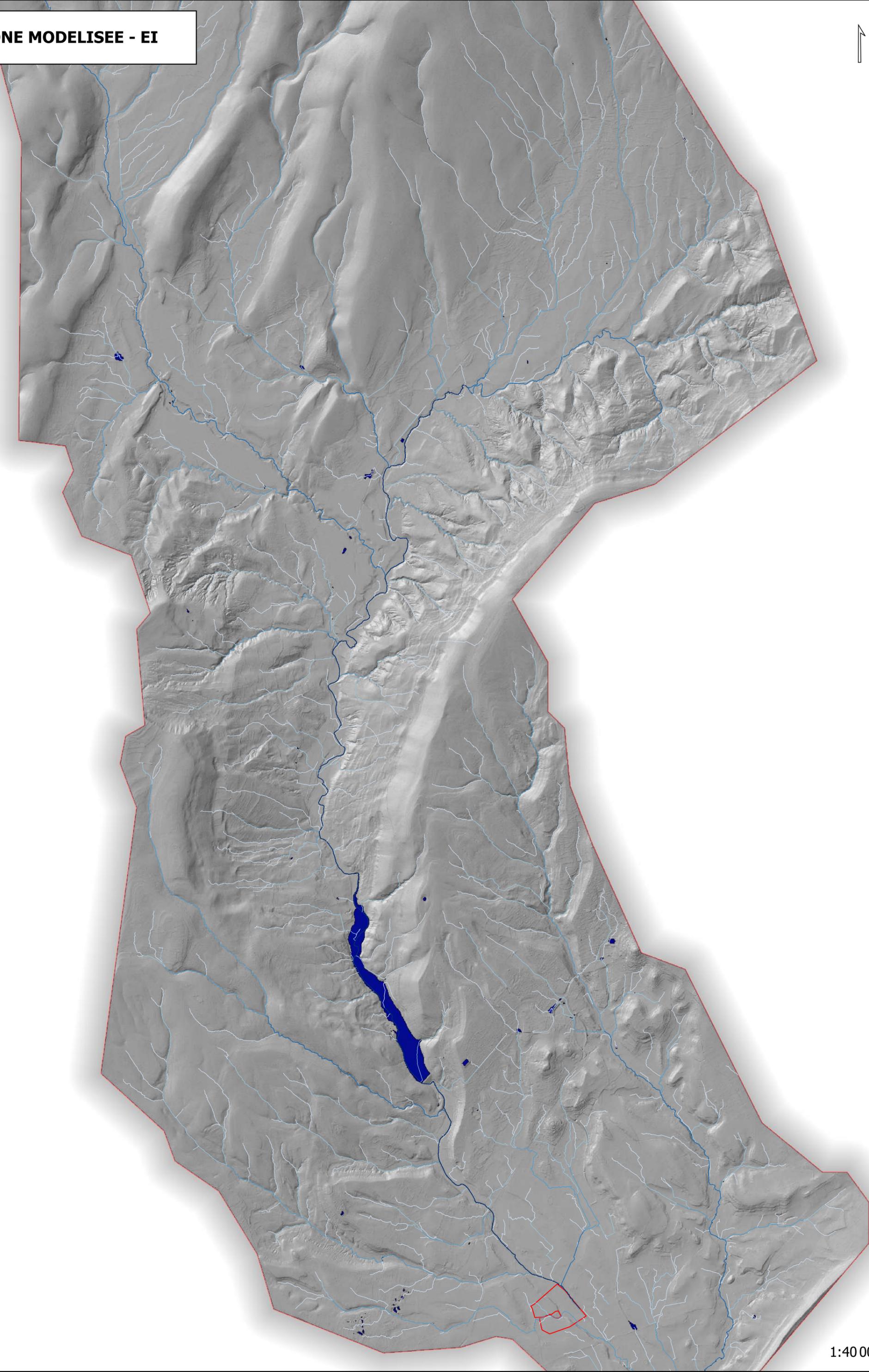
Figure 19 : Détermination de l'ordre de Strahler

Cette approche algorithmique nous a permis d'extraire le réseau hydrographique défini selon le MNT du secteur d'étude basé sur le RGE ALTI 1M fourni par l'IGN. Cependant, le réseau d'axe de ruissellement extrait d'un MNT ne reflète pas toujours la réalité du terrain. Les fossés, les routes ou encore les chemins modifient la direction des écoulements et leur impact n'est pas toujours capté dans le MNT.

## B. Définition de la zone d'étude

La zone d'étude à l'état initial est intégrée en Figure 20.

La zone en projet modélisée à l'état final sans compensation est présentée en Figure 21. Celle-ci intègre un muret de 25 cm, le muret de béton ceinturant la serre, hormis sur la zone de déchargement. En effet, les parois au-dessus étant fusibles à 1kg de pression et les pressions s'exerçant sur la structure à l'état initial étant supérieures à 1kg, nous ne les considérerons pas. Nous reviendrons sur ce point dans les résultats à l'état initial.





## V. L'OCCUPATION DU SOL

### A. Aménagement sur la zone d'étude

Sur la zone d'étude définie au chapitre précédent, nous avons déterminé l'occupation des sols de la manière suivante :

- i. Utilisation de la cartographie Corinne Land Cover
- ii. Précisions à l'aide de la vue aérienne Google
- iii. Vérification et ajustement sur le terrain

Précisons que le nombre de catégorie est limité car la différence par exemple entre une végétation dense ou une forêt est négligeable en terme de rugosité. De plus, les chemins d'accès et pistes en espace végétal ou empierré seront considérés comme végétation dense car la rugosité y est forte (pierres éparses, végétation, racines, troncs de petites dimensions...) et l'imperméabilisation est faible par nature. Nous illustrons les zones définies sur la **Erreur ! Signet non défini..** Le terme herbe rase est limité aux zones agricoles de type vignes. Précisons aussi que les routes type voie de DFCI ne sont pas intégrées en route car comme pour la végétation dense, elles ont une rugosité importante.

### B. Les paramètres de rugosité

Pour la rugosité du site (Manning) nous utiliserons la table de Chow (annexe 6) qui référence des valeurs de Manning (coefficient de rugosité) en fonction du type de revêtement ou de l'occupation du sol et de la zone où l'on se trouve (lit d'un cours d'eau, canal, plaine d'inondation,...).

### C. L'imperméabilisation du territoire

L'imperméabilisation du territoire sera prise directement depuis l'occupation sol. Un sol perméable sera considéré à 0% imperméabilisé auquel nous ajouterons une courbe d'infiltration et les zones imperméables sont prises à 100%, la courbe d'infiltration sera ici non-considérée. La méthode de génération du ruissellement sur les zones perméables sera basée sur le modèle hortonien avec les éléments suivants issus de la littérature et de notre connaissance du secteur.

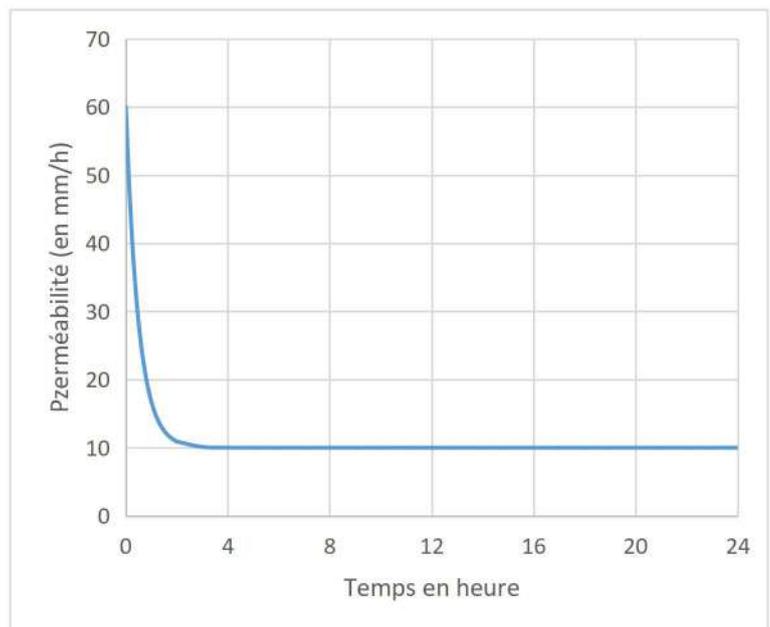
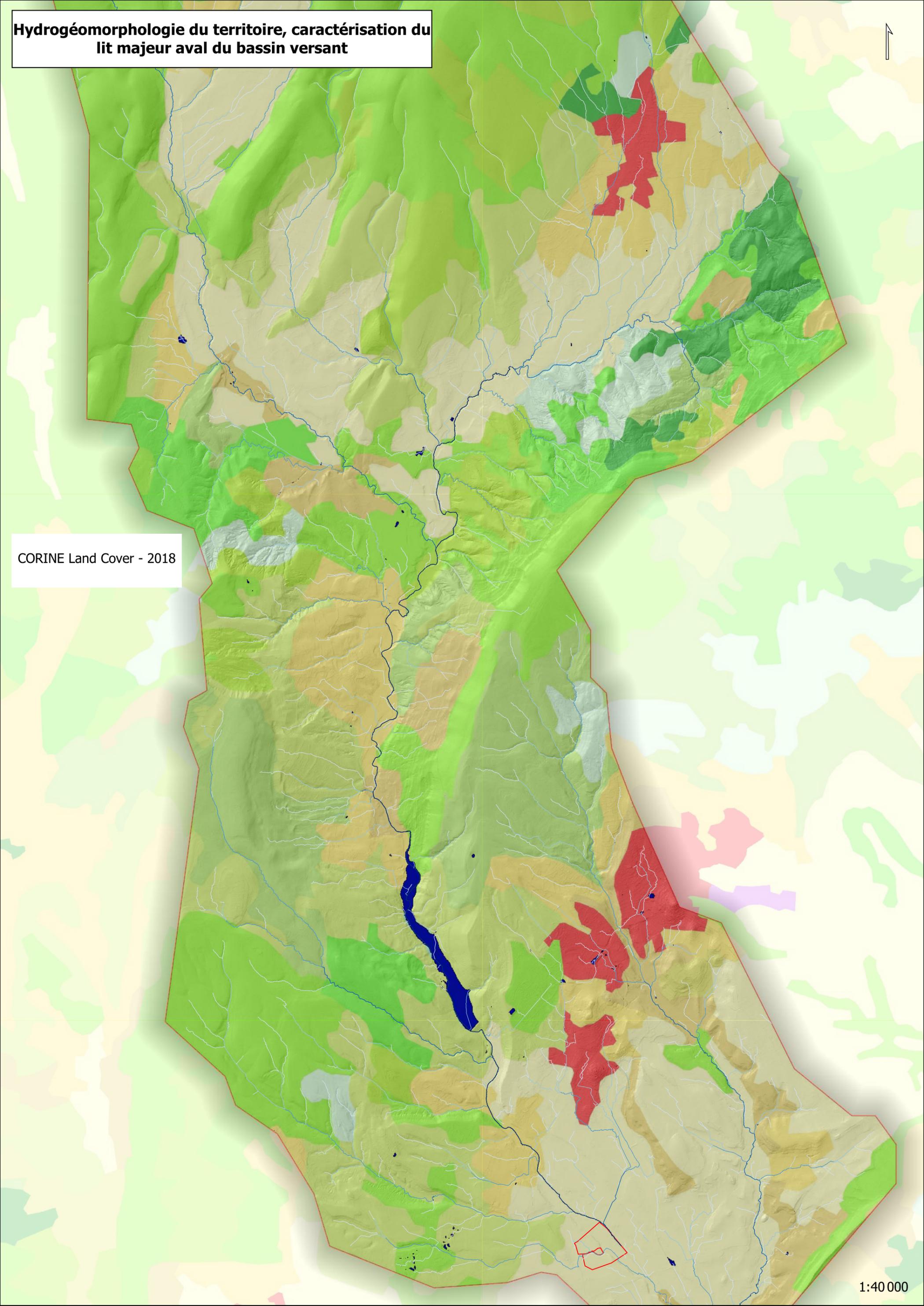


Figure 22 : Courbe d'infiltration modélisée

**Hydrogéomorphologie du territoire, caractérisation du lit majeur aval du bassin versant**



CORINE Land Cover - 2018



## VI. RÉSULTATS À L'ÉTAT INITIAL

### A. Préambule

Nous avons réalisé 2 modélisations à l'état initial :

- ✓ Débit de sortie du barrage QP400 (nommée M1) : Modélisation 2D sur la base du débit exhauré du barrage page 33. Il s'agit de faire état du lit majeur par le seul débordement de la Laye ;
- ✓ QP400 + pluie centennale sur le bassin versant (nommée M2) : Modélisation du débit de sortie du barrage et pluie centennale sur le secteur. Il s'agit de faire état du lit majeur par débordement couplé avec le ruissellement du secteur.

La première permet de voir le flux de répartition de ce débit sur le secteur d'étude sans pluie particulière en considérant que la pluie est tombée en amont du barrage.

La seconde considère une situation pluvieuse importante sur l'ensemble du bassin versant couplé à une sollicitation du barrage exceptionnelle due à cette pluie et à un niveau de nappe haute ainsi qu'à la fonte de neige ou autres rejets vers la Laye.

Les cartes en pages suivantes représentent les hauteurs et vitesses de ces 2 simulations (M1 et M2).

### B. Synthèse

La première a une aire de répartition légèrement plus limitée que la seconde couplant ruissellement et débordement. Cela permet surtout de montrer que l'aire de répartition des crues s'étend sur l'ensemble du lit majeur défini précédemment et que des apports connexes se dessinent dans les talwegs et ruisseaux transversaux.

Les circulations suivent la parallèle de la Laye hormis en quelques rares points notamment sur la rive gauche où un léger dôme engendre un contournement par l'est. Sur la propriété, le seul point notable, est l'apport depuis le ruisseau à l'ouest bordant le sud de la propriété de de Pramaiche et aboutissant juste à l'ouest du projet.

Les hauteurs d'eau à l'état initial sont de l'ordre de 5 m dans le lit mineur et plutôt de l'ordre de 25 cm sur la zone en projet. Ce point est variable en fonction de la modélisation.

Pour M1, les hauteurs d'eau sont inférieures à 50 cm et en moyenne de 25 cm, du fait de l'absence d'un fort apport transversal.

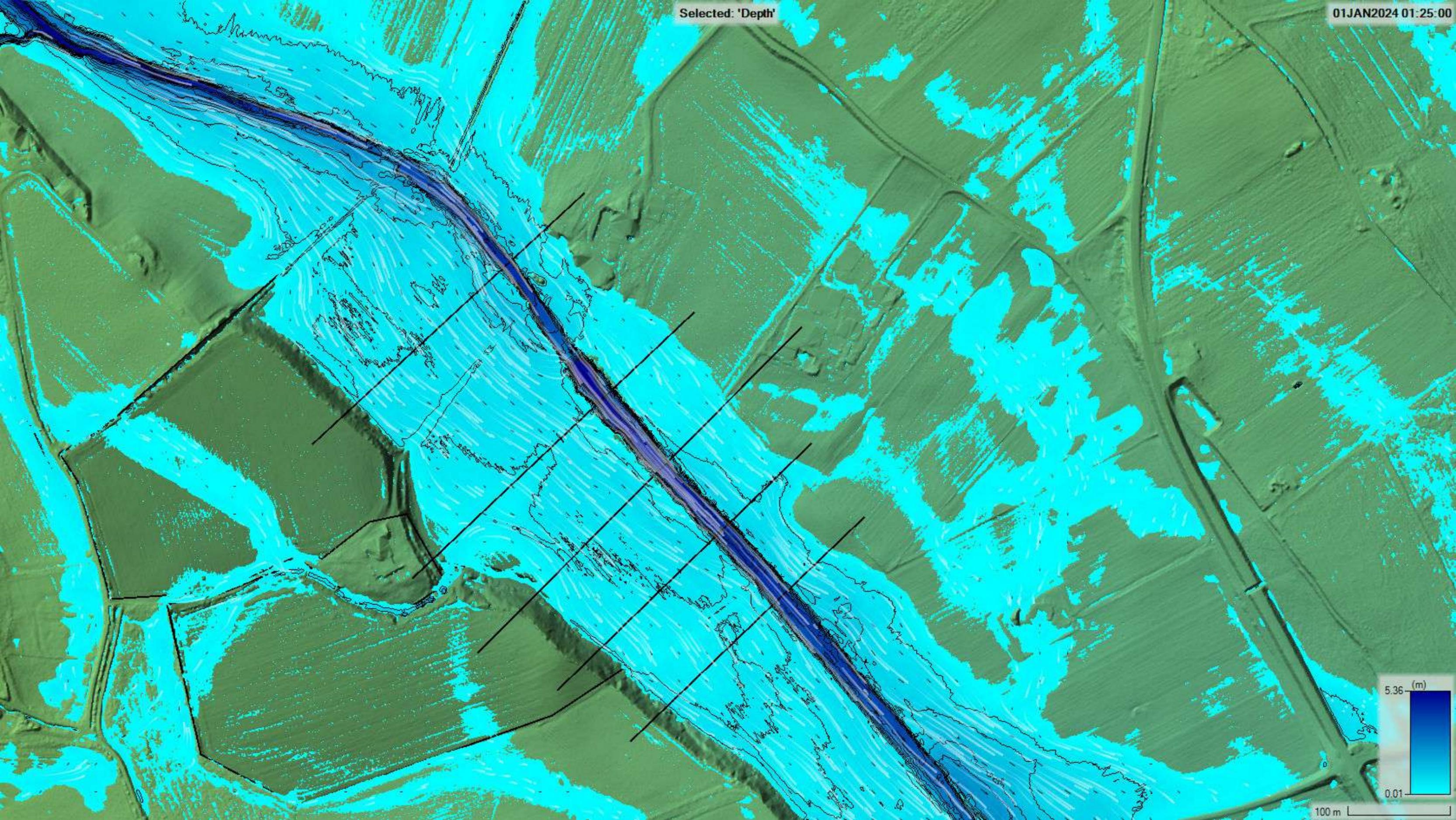
Pour M2, les hauteurs d'eau sont de l'ordre de 50 cm avec un pic de l'ordre de 1 m à l'est du projet.

Pour les vitesses, celles-ci sont globalement homogènes entre M1 et M2 elles restent de l'ordre de 1 m/s en moyenne. Elles se réduisent sur les surfaces transverses, autour de 0,30 m/s et accélèrent à environ 5 m/s dans la Laye. Les apports de talwegs ou de ruisseaux dépassent rarement 1 m/s ou par endroit l'ordre de l'accentuation des pentes.

Précisons que les pressions ont été extraites de chacune des modélisations et que sur la zone en projet elles sont de l'ordre de 50 kg minimum, soient très supérieures aux 1 kg de pression limite avant fusibilité des parois.

Selected: 'Depth'

01JAN2024 01:25:00

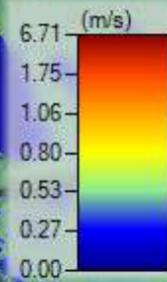
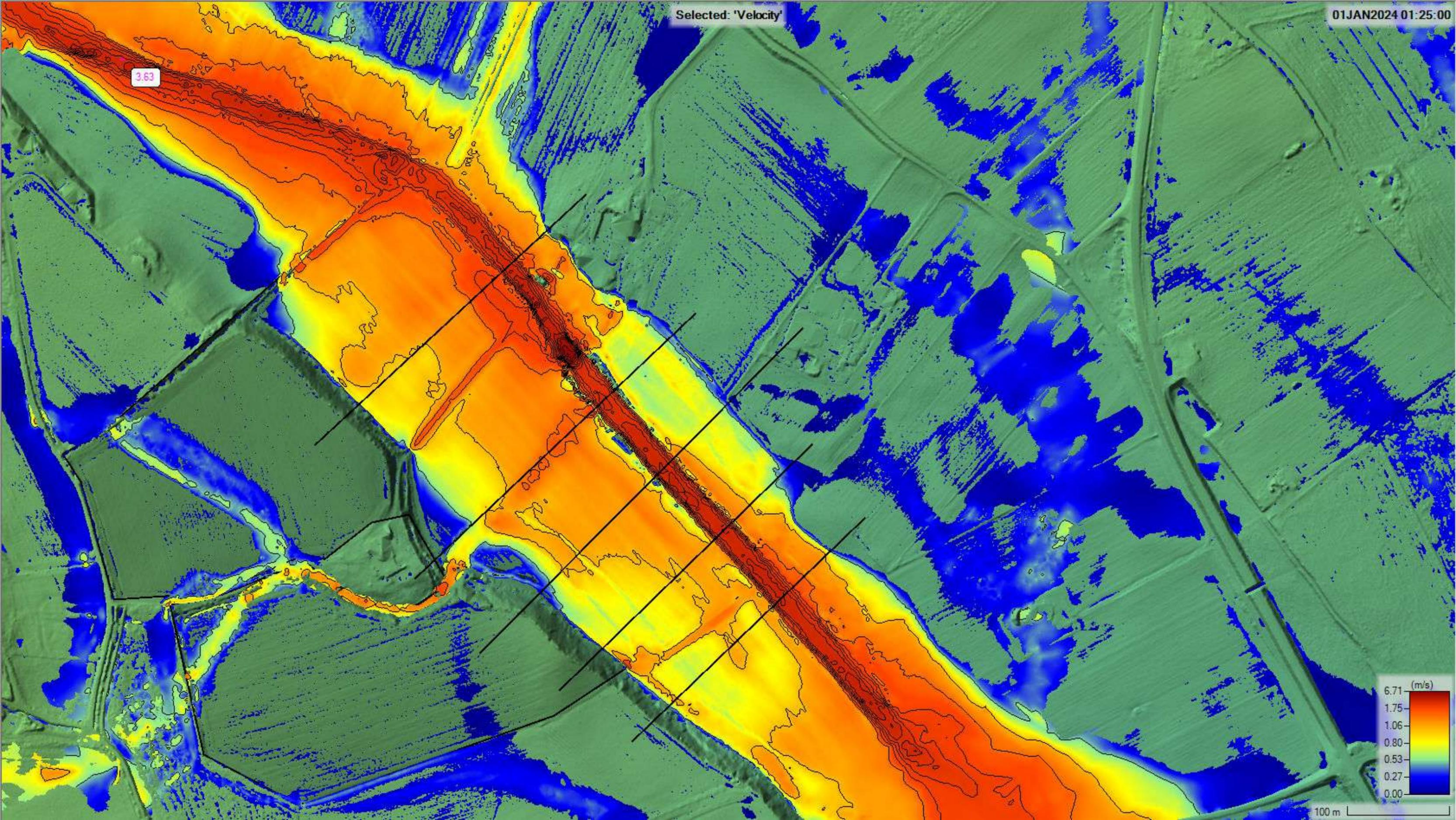


100 m

Selected: 'Velocity'

01JAN2024 01:25:00

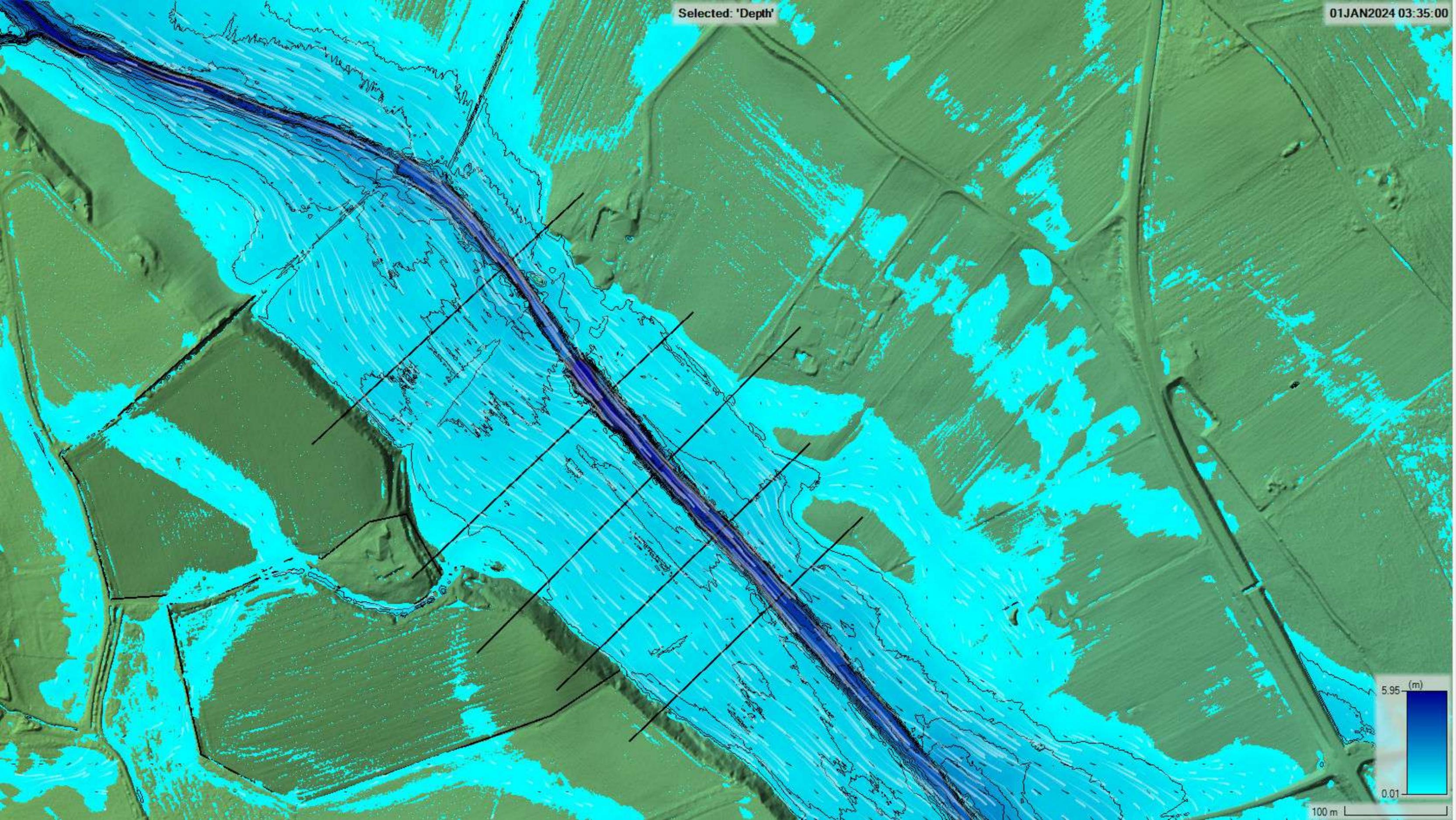
3.63



100 m

Selected: 'Depth'

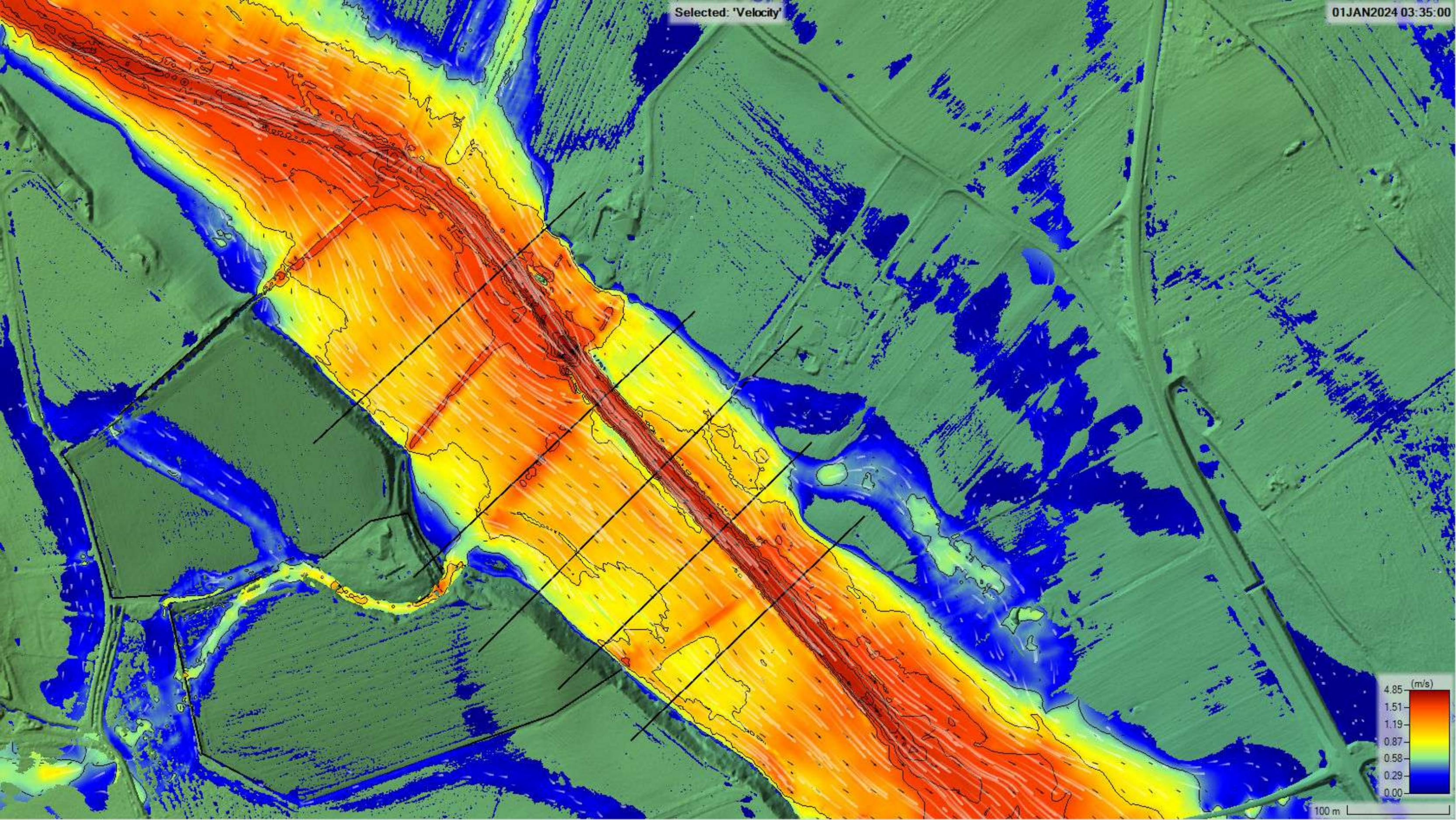
01JAN2024 03:35:00



100 m

Selected: 'Velocity'

01JAN2024 03:35:00



100 m

## VII. RÉSULTATS À L'ÉTAT FINAL

### A. Préambule

Pour modéliser l'état final nous avons intégré des serres sur le site. Seulement nous avons supprimé les parois fusibles, ce qui limite l'espace de serres à 25 cm, hauteur équivalente à la banquette en béton au pied de la serre. Précisons également que nous avons intégré une reprise du canal arrivant à l'ouest du projet pour le faire contourner la serre par le sud et rejoindre la Laye au sud-est du projet. Nous détaillerons cet aménagement dans la partie compensation.

Nous avons réalisé 2 modélisations à l'état final :

- ✓ Débit de sortie du barrage QP400 (nommée M1) : Modélisation 2D sur la base du débit exhauré du barrage page 33. Il s'agit de faire état du lit majeur par le seul débordement de la Laye ;
- ✓ QP400 + pluie centennale sur le bassin versant (nommée M2) : Modélisation du débit de sortie du barrage et pluie centennale sur le secteur. Il s'agit de faire état du lit majeur par débordement couplé avec le ruissellement du secteur.

La première permet de voir le flux de répartition de ce débit sur le secteur d'étude sans pluie particulière en considérant que la pluie est tombée en amont du barrage.

La seconde considère une situation pluvieuse importante sur l'ensemble du bassin versant couplé à une sollicitation du barrage exceptionnelle due à cette pluie et à un niveau de nappe haute ainsi qu'à la fonte de neige ou autres rejets vers la Laye.

Les cartes en pages suivantes représentent les hauteurs et vitesses de ces 2 simulations (M1 et M2). L'extraction des cartes vitesses et hauteurs à l'état initial et à l'état final nous a permis de comparer ces variables entre chacun des états et d'en extraire pour chacune une carte de différence permettant de voir l'incidence du projet sur la zone inondable. Ces cartes sont intégrées en pages suivantes.

### B. Synthèse

Sur la cartographie présentant les hauteurs et vitesses on observe peu de différence ou trop fine à l'échelle de la carte pour être visible. C'est pourquoi sur cette synthèse nous nous concentrerons sur les cartes de différence.

L'incidence en terme de vitesse et de hauteur ou même d'expansion est très limitée que ce soit en M1 ou en M2.

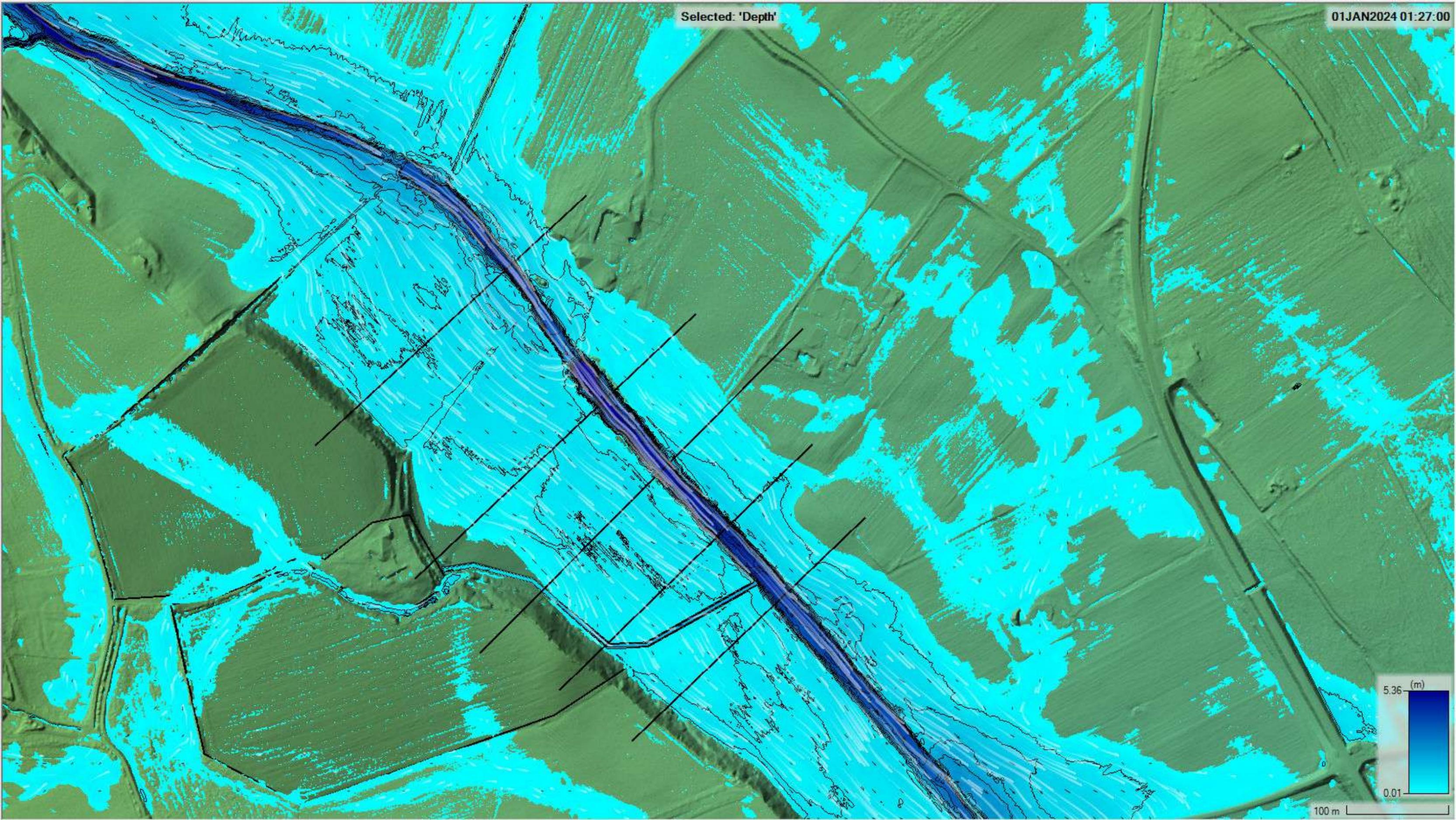
On note aucune expansion de la crue entre M1 et M2.

Pour ce qui est des hauteurs, celles-ci sont diminuées sur les zones de parois de la serre et très légèrement augmentées en amont des parois dans le sens de circulation. Les différences de hauteurs sont de l'ordre de 2 à 5 cm et l'expansion du bourrelet en amont des parois reste à 5-10 m de la serre. Ainsi, au regard de la hauteur, le projet n'aura qu'une incidence à l'échelle du projet. Précisons que l'incidence majeure réside dans le fossé de reprise du canal provenant de l'ouest qui sera précisé en partie suivante.

Pour ce qui est des vitesses, les modifications résident dans une baisse au niveau des parois et une accélération localisée dans les angles de la serre. L'expansion de ces modifications autour des parois reste à 5-10 m de la serre. Ainsi, au regard de la hauteur, le projet n'aura qu'une incidence à l'échelle du projet.

Selected: 'Depth'

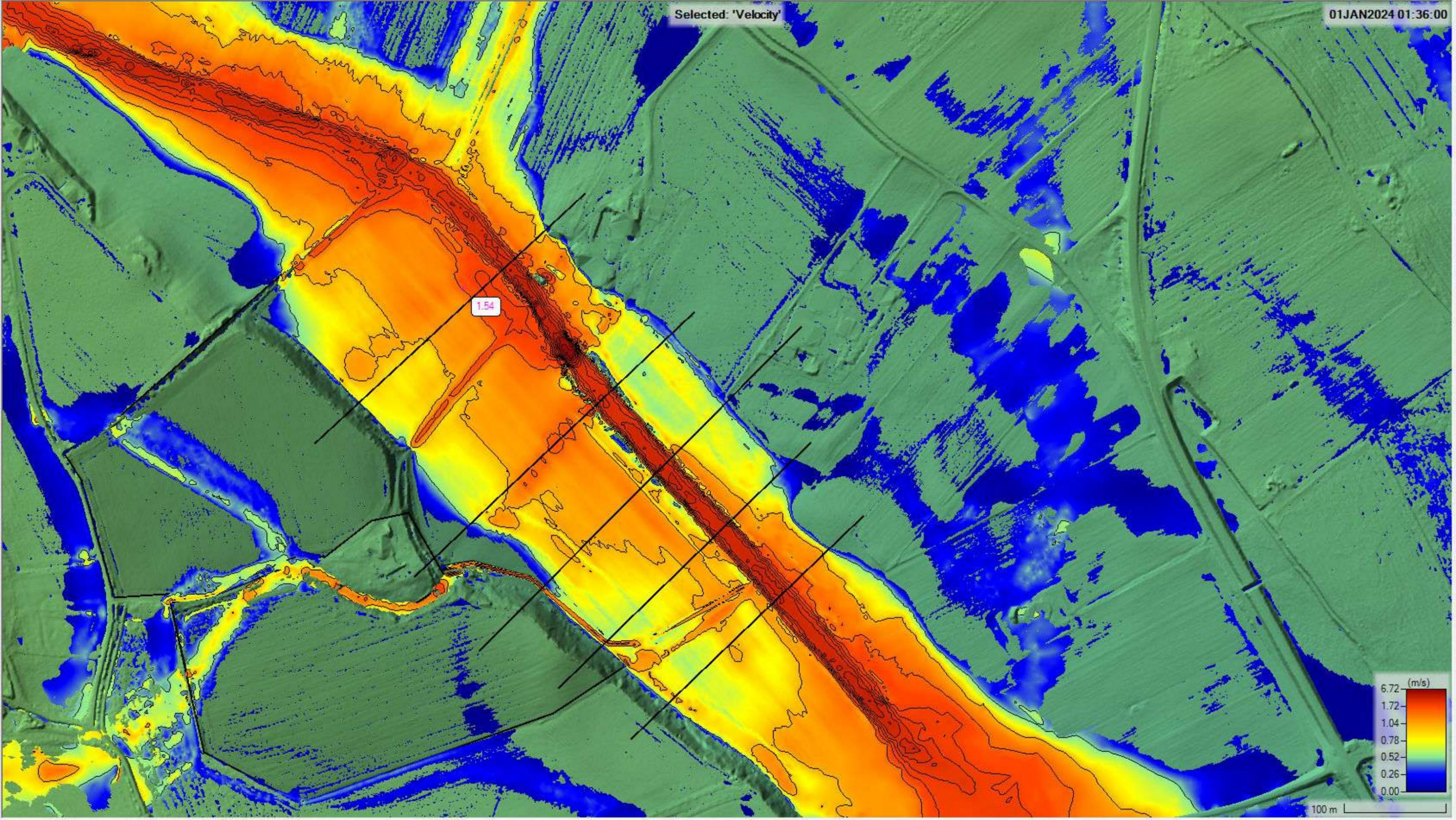
01JAN2024 01:27:00



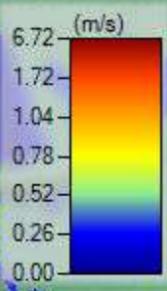
100 m

Selected: 'Velocity'

01JAN2024 01:36:00



1.54

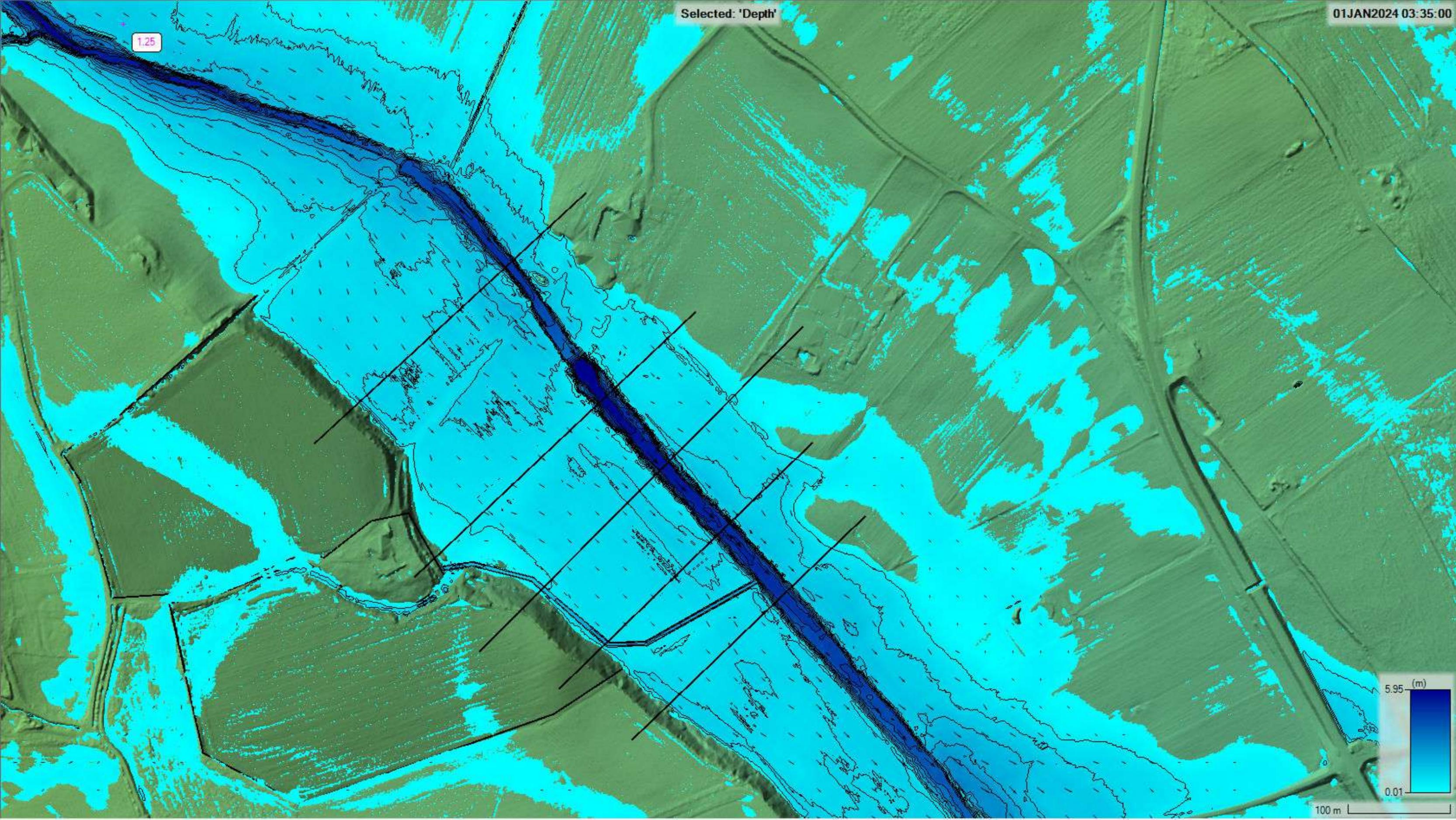


100 m

Selected: 'Depth'

01JAN2024 03:35:00

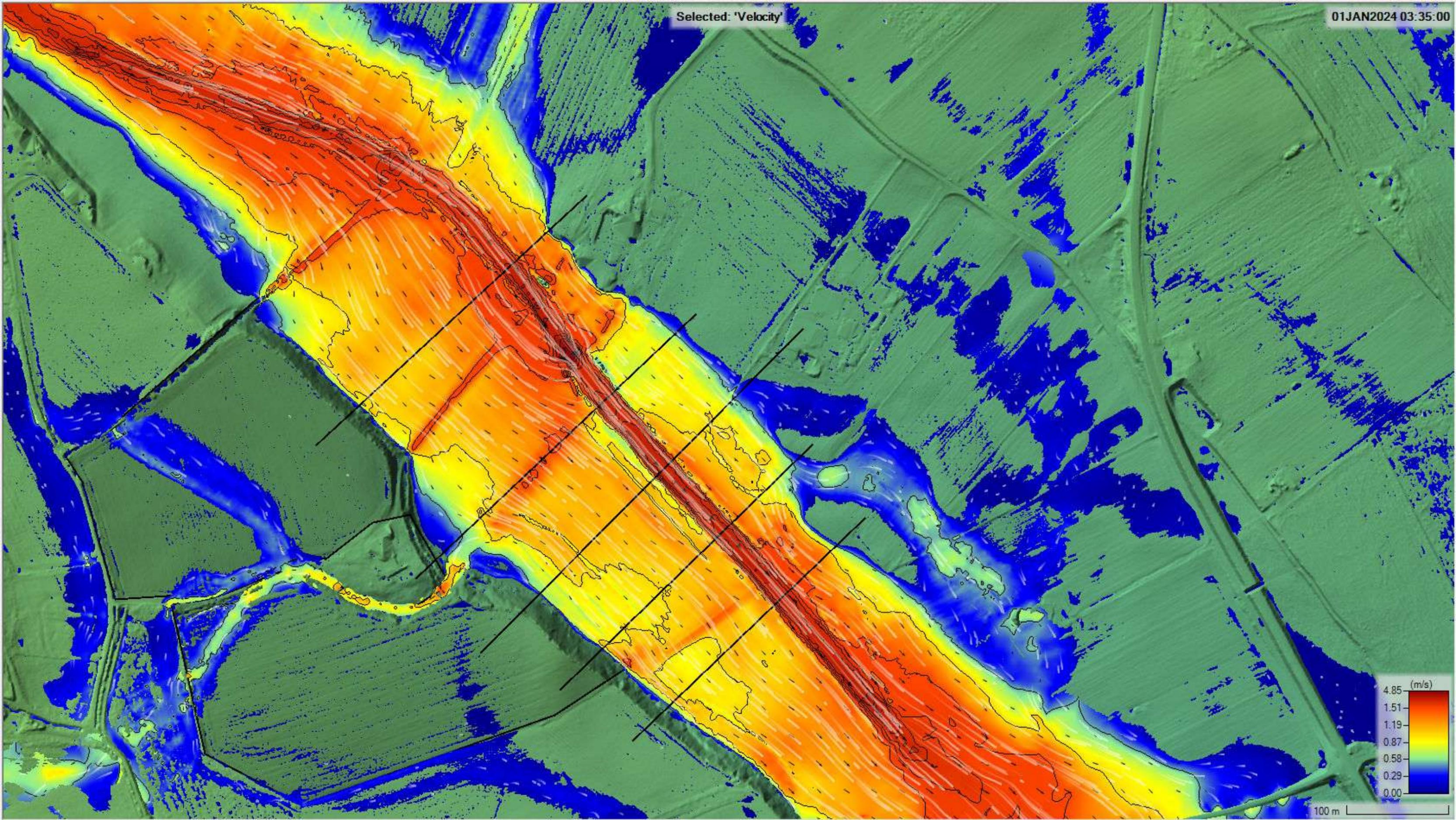
1.25



100 m

Selected: 'Velocity'

01JAN2024 03:35:00



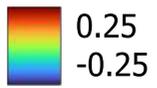
100 m

# Différence de hauteur entre EI et EF pour la modélisation M1

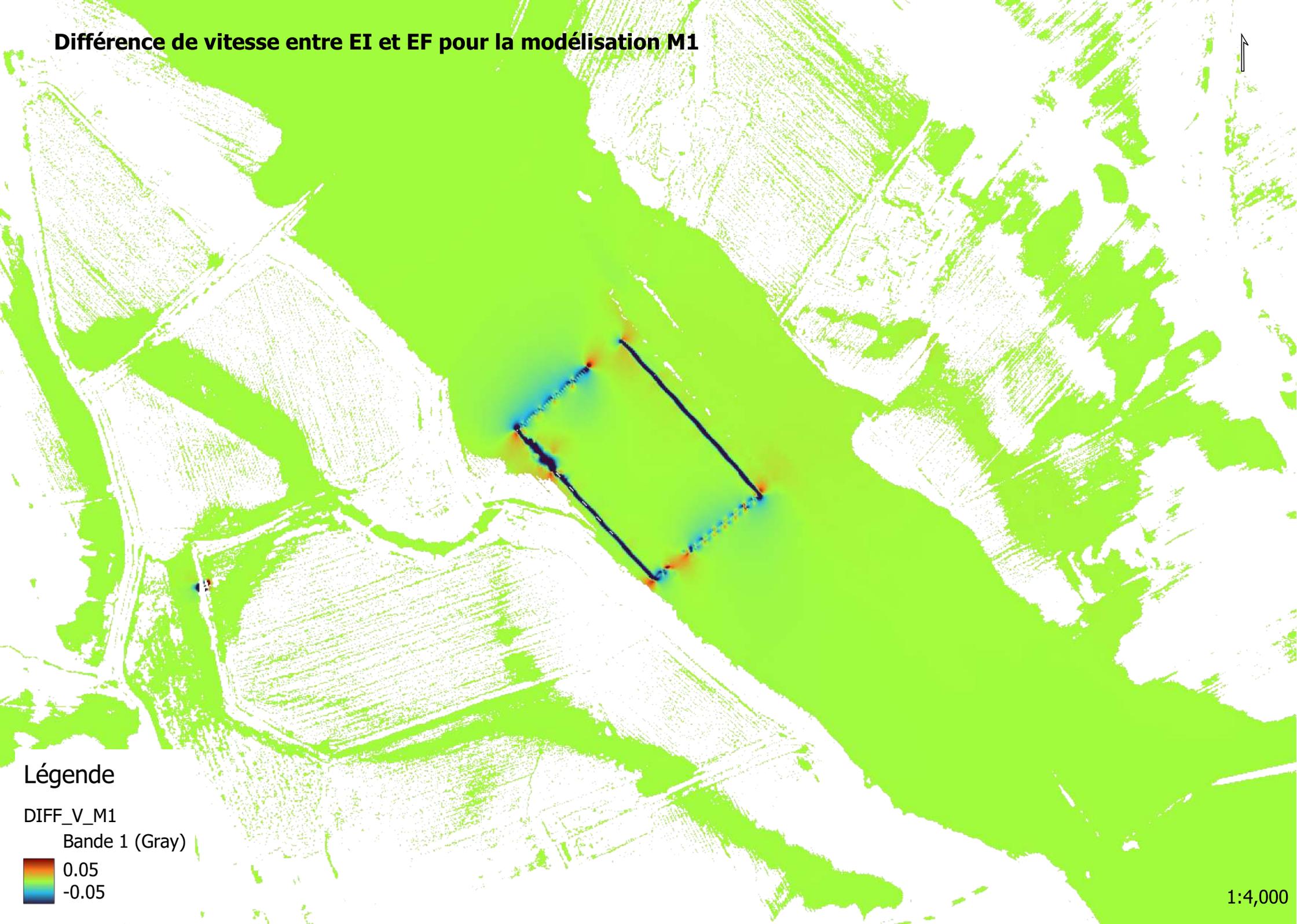


## Légende

DIFF\_H\_M1  
Bande 1 (Gray)



# Différence de vitesse entre EI et EF pour la modélisation M1



## Légende

DIFF\_V\_M1

Bande 1 (Gray)

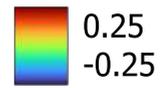


# Différence de hauteur entre EI et EF pour la modélisation M2

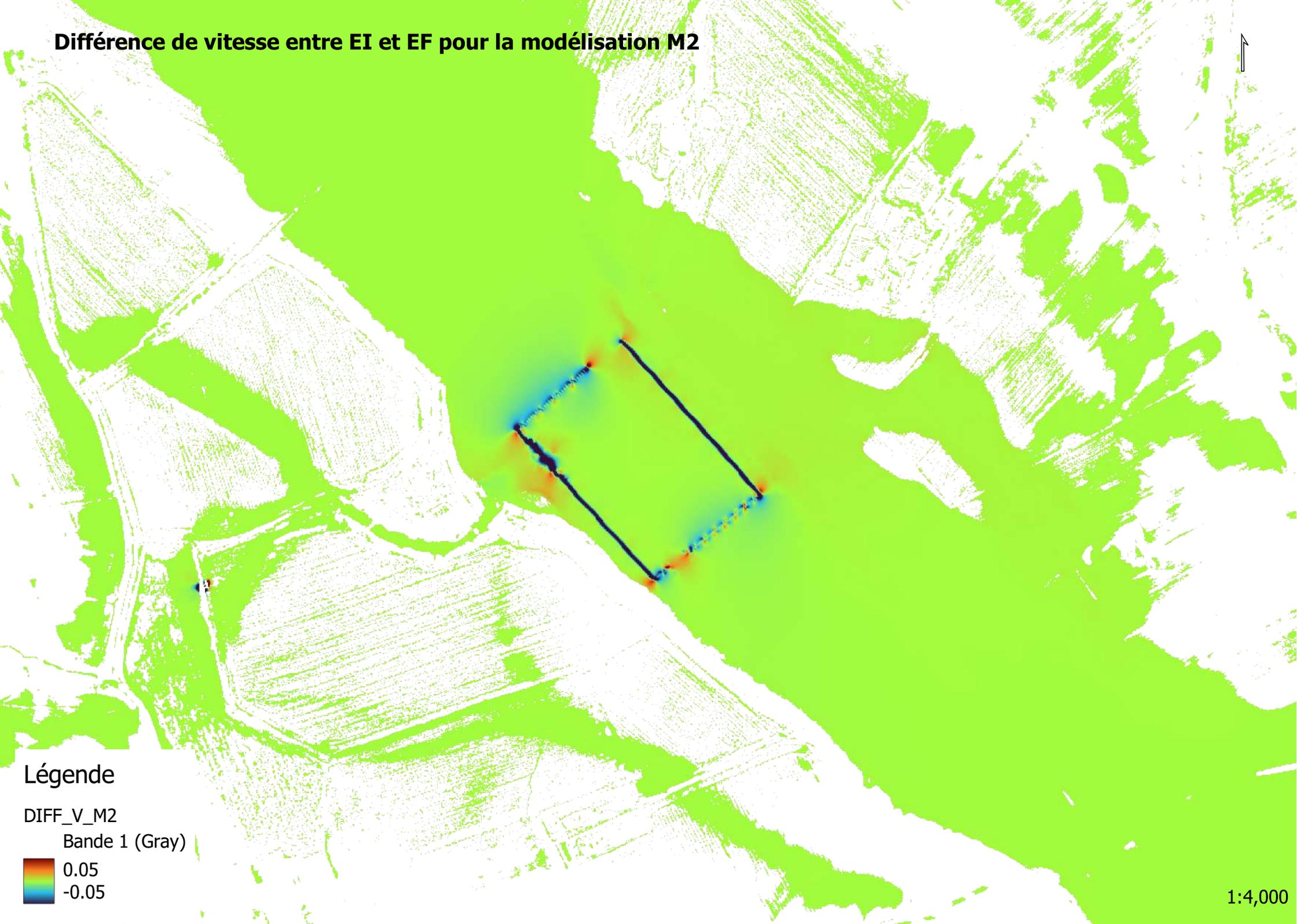


## Légende

DIFF\_H\_M2  
Bande 1 (Gray)



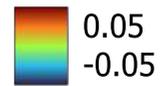
# Différence de vitesse entre EI et EF pour la modélisation M2



## Légende

DIFF\_V\_M2

Bande 1 (Gray)



1:4,000

## INTERPRÉTATION ET MESURES COMPENSATOIRES

### I. RECOMMANDATIONS SUR LES DISPOSITIFS DE TRANSPARENCE

#### A. Muret périphérique

De la même façon que le filet de propreté, les murets périphériques en béton, implantés dans certains cas pour le confortement de la structure, peuvent engendrer un obstacle à l'écoulement des crues. Nous recommandons d'éviter sa mise en place dès que c'est possible, ou alors de :

- Procéder à un nettoyage régulier aux abords du muret.
- Le muret ne devra pas dépasser 40 cm de hauteur lors de l'implantation d'une serre en zone inondable, ce qui est le cas car il ne dépasse pas 20 cm.
- Si sa hauteur dépasse 20 cm, des ouvertures (barbacanes de Ø100) devront être créées dans le muret tous les 3 m maximum, pour laisser circuler librement l'eau.

#### B. Porte d'accès

Les portes constituent des parois fixes, dans le sens où elles sont amovibles horizontalement pour permettre l'accès, mais ne peuvent pas se relever grâce au système motorisé des parois latérales.

- Au vu de leur faible linéaire par rapport aux façades, les écoulements ne seront perturbés que localement au niveau des portes sans provoquer une incidence notable sur le risque d'inondation.
- Dans la mesure du possible, les accès se feront sur les façades parallèles au sens d'écoulement des eaux.
- Nous recommandons d'ouvrir les portes en cas d'inondations pour faciliter les écoulements.

#### C. Poteau des serres

Évidemment nécessaire au maintien de la serre, la distance entre chaque poteau dans le sens orthogonal à l'écoulement devra être suffisante afin de limiter le phénomène d'embâcle.

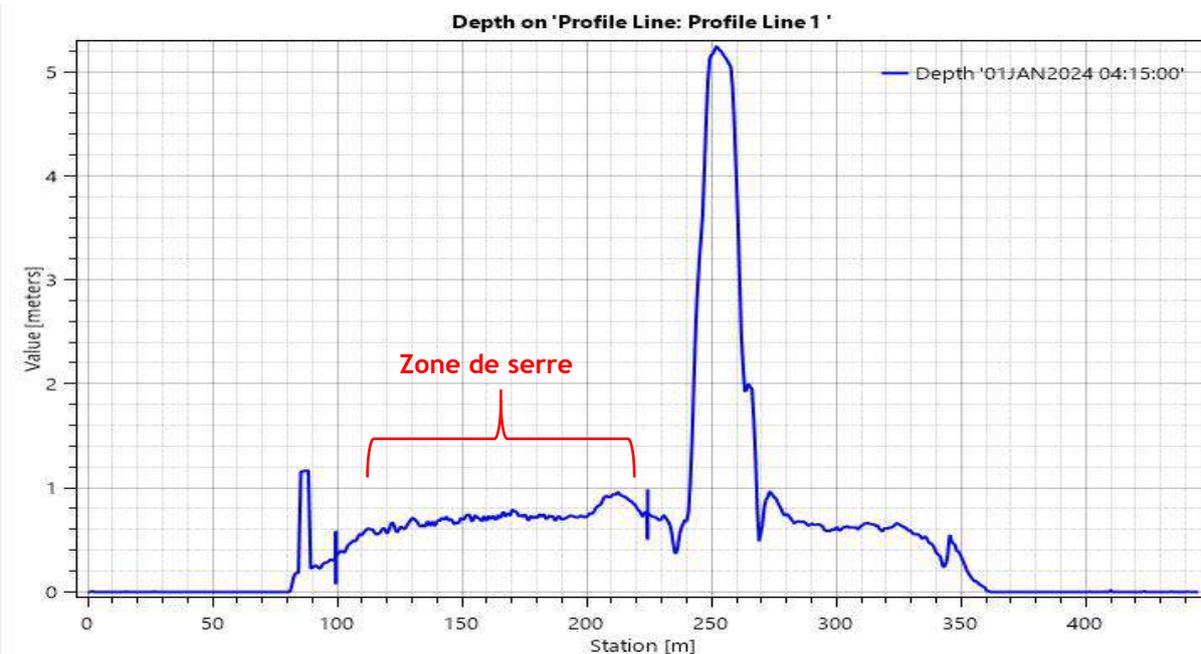
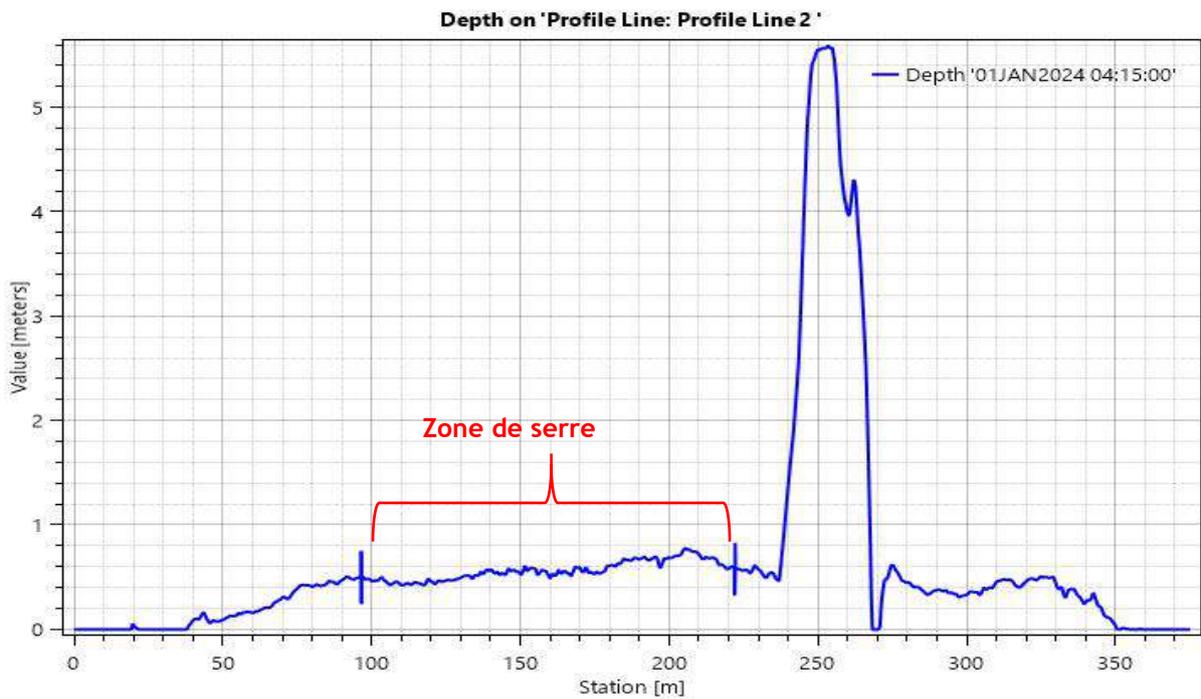
Précisons que les vitesses d'écoulement sont tout de même limitée et ne permettent pas un transport important.

## II. HAUTEUR DES PAROIS FUSIBLES

Le profil verticale de la serre est le suivant

- ✓ Sur les 25 premiers centimètres, le muret périphérique permettant l'assise des parois ;
- ✓ Sur une hauteur à définir, les parois fusibles qui permettent la transparence hydraulique de l'ouvrage ;
- ✓ Puis enfin les parois en verre.

La modélisation M2, plus importante en terme de hauteur et de vitesse, montre une hauteur d'eau de 95 cm maximum (cf profils en Figure 36).



C

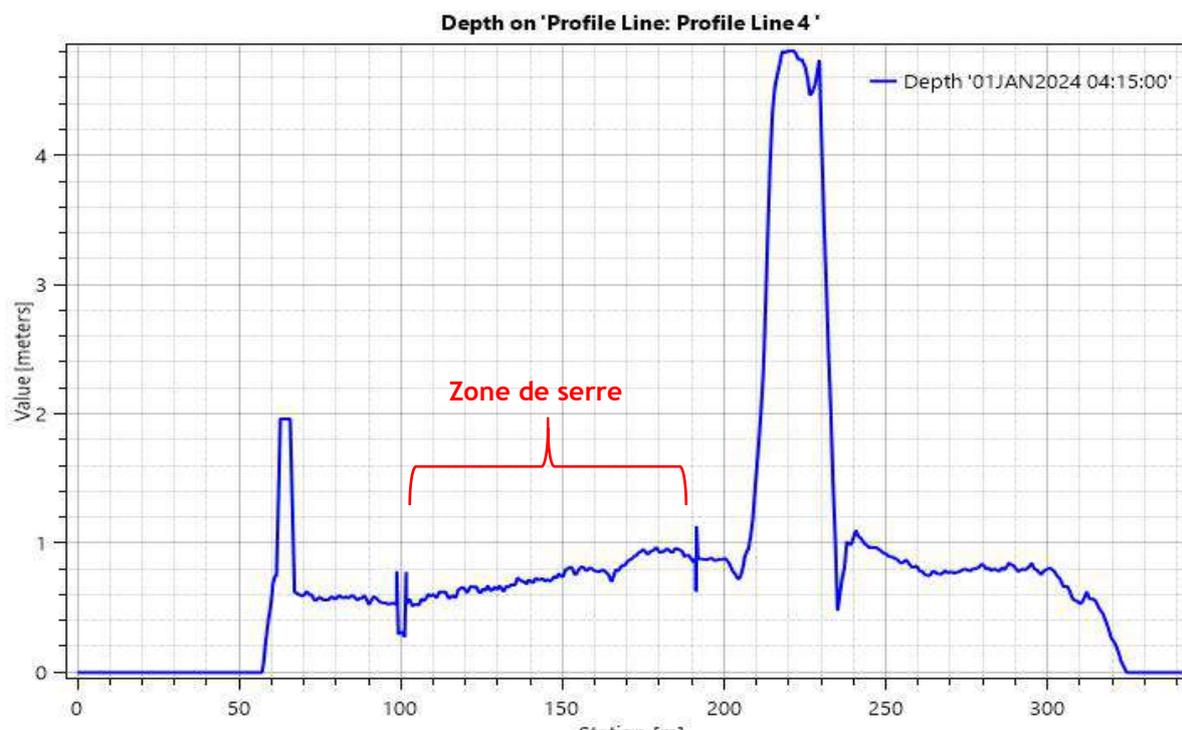


Figure 36 : Profil topographique/hydraulique amont (en haut), central (au milieu) et aval (en bas) de la serre

Ainsi si on se réfère à ces hauteurs nous conseillons la mise en place d'un paroi fusible de 75 cm au-dessus du muret périphérique afin que la transparence hydraulique soit maximale.

Précisons que la modélisation M1 a une hauteur d'eau de l'ordre de 50 cm maximum, ainsi la transparence est assurée pour cet événement.

### III. FOSSÉS OUEST

Il est proposé de réaliser un fossé de drainage des eaux provenant de l'est de la propriété. Pour définir la solution, nous utiliserons les résultats de l'état initial pour calculer le débit de ruissellement provenant de l'extérieur de la propriété.

Le tracé du fossé est proposé sur la carte ci-dessous.

Le profil du fossé est fourni au graphique ci-dessous et intégré au plan de masse en page suivante. Dans ce graphique nous proposons un fil d'eau de fossé pour une hauteur utile de 1,5 m. Pour une largeur haute de 6 m, et une pente de berge de 1/1 et un fossé en herbe très rase. Le rejet s'opérera vers la Laye à l'est, la modélisation après projet permet de montrer l'efficacité d'un tel ouvrage du fait de l'absence de débordement pour une pluie centennale.



Figure 37 : Emplacement du fossé de contournement

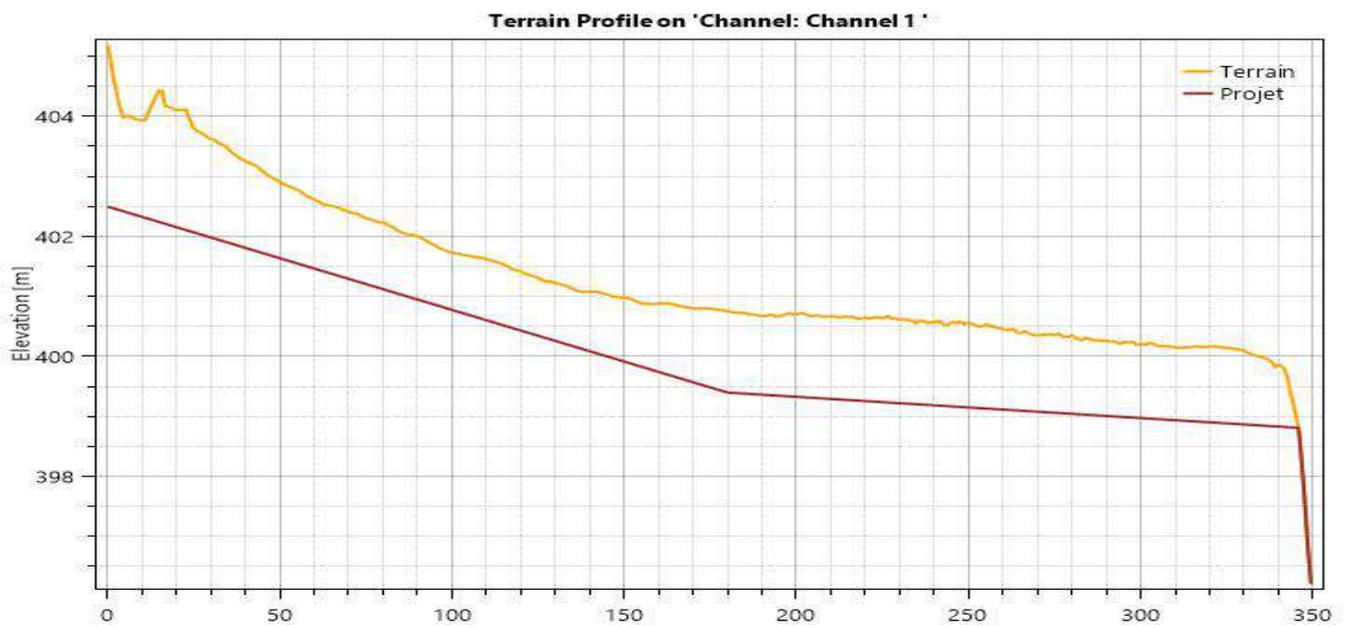


Figure 38 : Profil topographique MNT initial/FE du fossé

---

## CONCLUSIONS

---

Cette étude vise à évaluer les éventuels obstacles à l'écoulement des eaux par rapport à différents types d'inondation :

- zone inondable par débordement de cours d'eau, qui découlent de deux phénomènes :
  - les crues lentes de plaine : elles apparaissent lorsqu'un cours d'eau sort lentement de son lit mineur et envahie le lit majeur situé dans les vallées en quelques jours, voire quelques heures, l'inondation pouvant persister longtemps ;
  - les crues rapides et torrentielles : elles se produisent en zone montagneuse ou de relief marqué et provoquent des inondations éclairs et parfois dévastatrices (montée des eaux rapides, fort accroissement de la vitesse d'écoulement du cours d'eau et transport d'éléments solides).
- zone sujette aux ruissellements de surface : ces inondations se produisent lorsque les eaux de pluie ne peuvent pas ou plus s'infiltrer dans le sol, en dehors du réseau hydrographique. Il s'agit de phénomène d'écoulement diffus, sans axe préférentiel, engendré par des pluies qui drainent un bassin versant, et fortement influencé par la topographie, l'occupation du sol et les éléments naturels ou anthropiques.
- zone sensible aux remontées de nappe : l'inondation est provoquée par la montée du niveau de la nappe phréatique jusqu'à la surface du sol. Elle est en général déclenchée suite à de nombreux épisodes pluvieux entraînant des niveaux d'étiages de plus en plus élevés, dans des nappes présentant une amplitude importante de battement et un volume global significatif. La montée des eaux et la décrue de la nappe sont relativement lentes.

Il est nécessaire d'étudier en amont de chaque projet les données géographiques et hydrographiques locales, y compris la situation en zone inondable, pour la réalisation des études dédiées.

Ces dispositions techniques de construction et d'exploitation sont mises en œuvre sur les serres photovoltaïques dans le but de les rendre « transparentes » d'un point de vue hydraulique par rapport à ces différentes inondations. De plus, les recommandations faites au chapitre précédent contribuent à rendre les serres et infrastructures associées transparentes aux inondations.

En cas d'inondation rapide (par ruissellement ou par une crue torrentielle), une attention particulière sera apportée à la mise en place des dispositifs et recommandations de ce rapport pour limiter l'incidence hydraulique de la serre.

En cas d'inondation lente (par remontée de nappe ou par une crue de plaine), la serre présentera moins de contraintes. Le niveau d'eau sera à l'équilibre entre l'intérieur et l'extérieur de la serre étant donné la capacité des parois latérales à laisser passer l'eau, sous réserve que leur fonctionnement soit optimal.

Nous reprenons ci-après les critères qui définissent la notion de transparence hydraulique en indiquant les réponses apportées pour ce type de projet en zone inondable :

➤ **Ne pas amplifier le niveau des plus hautes eaux et ne pas intensifier la vitesse d'écoulement des eaux**

Les parois latérales seront ouvertes pour laisser passer la crue et les poteaux sont distants d'au moins 4 m pour éviter la formation de la majorité des embâcles.

Les ouvrages fixes au niveau du sol (filet de propreté, muret périphérique, etc.) sont les plus contraignants. Ils

seront limités à une certaine hauteur, mentionnée dans les documents réglementaires locaux. De ce fait, ils auront un impact hydraulique localisé, que ce soit sur la hauteur d'eau ou la vitesse d'écoulement, qui restera dans les limites acceptables dans le cas de projet en zone inondable (règlement type PPRI) comme nous avons pu le voir dans la modélisation.

Ces ouvrages seront nettoyés régulièrement pour garantir le libre écoulement des eaux. En cas d'obturation, il y aurait alors un risque d'augmentation du niveau d'eau et de la vitesse d'écoulement.

➤ **Ne pas réduire la zone d'expansion des crues**

Comme nous avons pu voir grâce à la modélisation, l'incidence de la serre sur une crue est limitée à une zone de 5-10 m autour du projet et n'a pas d'incidence à large échelle. La zone d'expansion des crues n'est pas augmentée.

➤ **Ne pas allonger la durée des inondations ou ne pas augmenter leur étendue**

L'emprise au sol des serres photovoltaïques et des infrastructures annexes étant faible, l'étendue des inondations en sera peu impactée.

Il est important que l'exploitant agricole ait conscience que la serre est inondable au même titre que son terrain avant-projet. Les dispositifs et recommandations sont prévus pour assurer un mouvement des eaux similaire à celui avant-projet, ce qui correspond à une inondation de la serre.

Dans le cas d'une implantation en zone PPRI (Plan de Prévention de Risque Inondation), le règlement de PPRI indique généralement que les serres nécessaires à l'activité agricole, quelle que soit leur hauteur, sont admises sous réserve que soit pris en compte l'écoulement des eaux, en assurant une transparence totale par des dispositifs permettant le libre écoulement des eaux.

Le travail réalisé autour de ce projet permet de prendre en compte ces points et de permettre la transparence hydraulique, ainsi la libre circulation des eaux sur la zone en projet.

➤ **Ne pas aggraver les conséquences des inondations et ne pas constituer de danger pour la sécurité publique en cas de crue**

Il est indispensable d'éliminer tout embâcle (amoncellement de déchets de quelque nature que ce soit ou de bois morts) étant de nature à former des barrages.

Ces projets ont lieu généralement en zone rurale, dans des zones d'expansion des crues où les inondations sont souvent lentes. La serre photovoltaïque ne constitue pas de danger pour la sécurité publique en cas de crue car il s'agit d'un lieu sans présence humaine permanente, dans un secteur peu urbanisé. De plus, les équipements électriques sensibles seront soit hors d'eau, soit étanches.

La cartographie des différences de hauteur et de vitesses montre une aggravation locale du phénomène n'engendrant pas de modification d'aléa.

**Il est important que les travailleurs sur site soient prévenus du phénomène et formés pour réagir en cas de crue.**

---

## RECOMMANDATIONS

---

Le présent rapport constitue un tout ; aucune de ses parties ne pourra être utilisée indépendamment de l'ensemble.

La modélisation n'est en aucun cas axée sur l'ensemble de la zone inondable du quartier. Elle est spécifique à la parcelle d'étude. Elle ne peut en aucun cas garantir les résultats de zone inondable aux alentours de l'aire d'étude.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels et ne peut traduire le comportement du sol dans son intégralité ni présager de l'amplitude des variations du toit de la nappe. Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fouilles et n'ayant pas été détecté lors de la reconnaissance des sols (ex : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, arrivées d'eau...) devra nous être signalé. Cela pourra nous amener à reconsidérer tout ou partie du présent rapport. A défaut, la responsabilité de notre bureau d'études ne pourra être engagée.

-----

Toute modification du rapport, avec ou sans reconnaissance complémentaire de terrain, suite à une évolution des aménagements du quartier fera l'objet d'un devis complémentaire et sera réalisée après acceptation de ce dernier.

Rappelons que les présentes préconisations de ce dossier sont valables deux ans à compter de la date de rédaction. Cette durée peut être fortement réduite en cas de changement de réglementation. En cas de doute et de délais importants entre la rédaction de ce dossier et la réalisation des travaux, il conviendra de nous consulter pour en vérifier la validité.

-----

Nîmes, le 11 juin 2024

Aurélien GRAVOUEILLE - Ingénieur hydrologue

Pour HYDROSOL LANGUEDOC

**HYDROSOL LANGUEDOC**  
78 rue John Mac Adam  
30900 - Nîmes  
Tél. : 04.48.06.02.76  
Siret : 822 767 935 00023 - APE : 7112B

---

## ANNEXES

---

1. Note de présentation du projet
2. Reportage photographique
3. Extrait de la note de synthèse pluviale - partie terrain
4. Note de calcul double-triangle
5. Table de Chow

## **Annexe 1**

**Projet de serre agrivoltaïque**  
**Monsieur RICHARD**  
**MANE (04300)**

**BOOK TECHNIQUE**

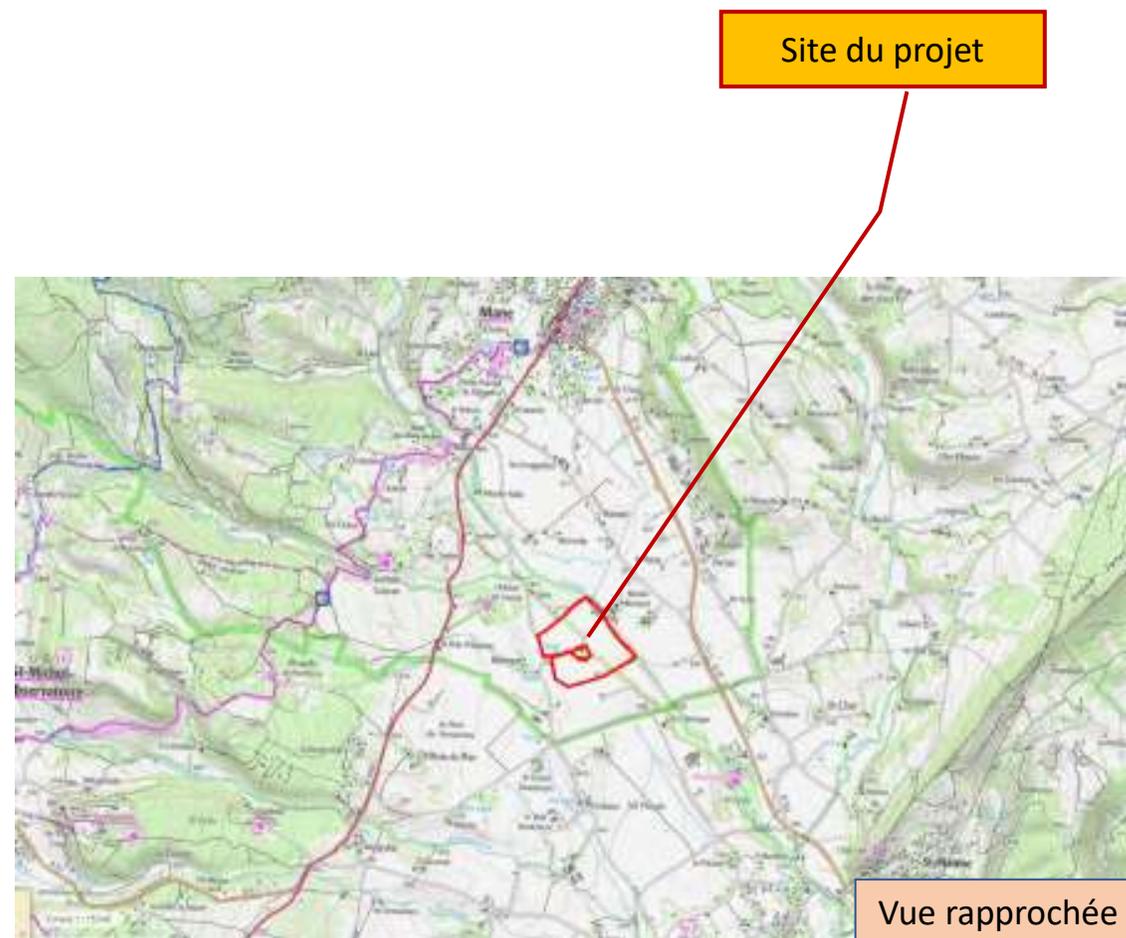
Jeudi 10 août 2023

V-00



## Monsieur RICHARD – MANE (04300)

### Localisation



## Monsieur RICHARD – MANE (04300)

### Localisation

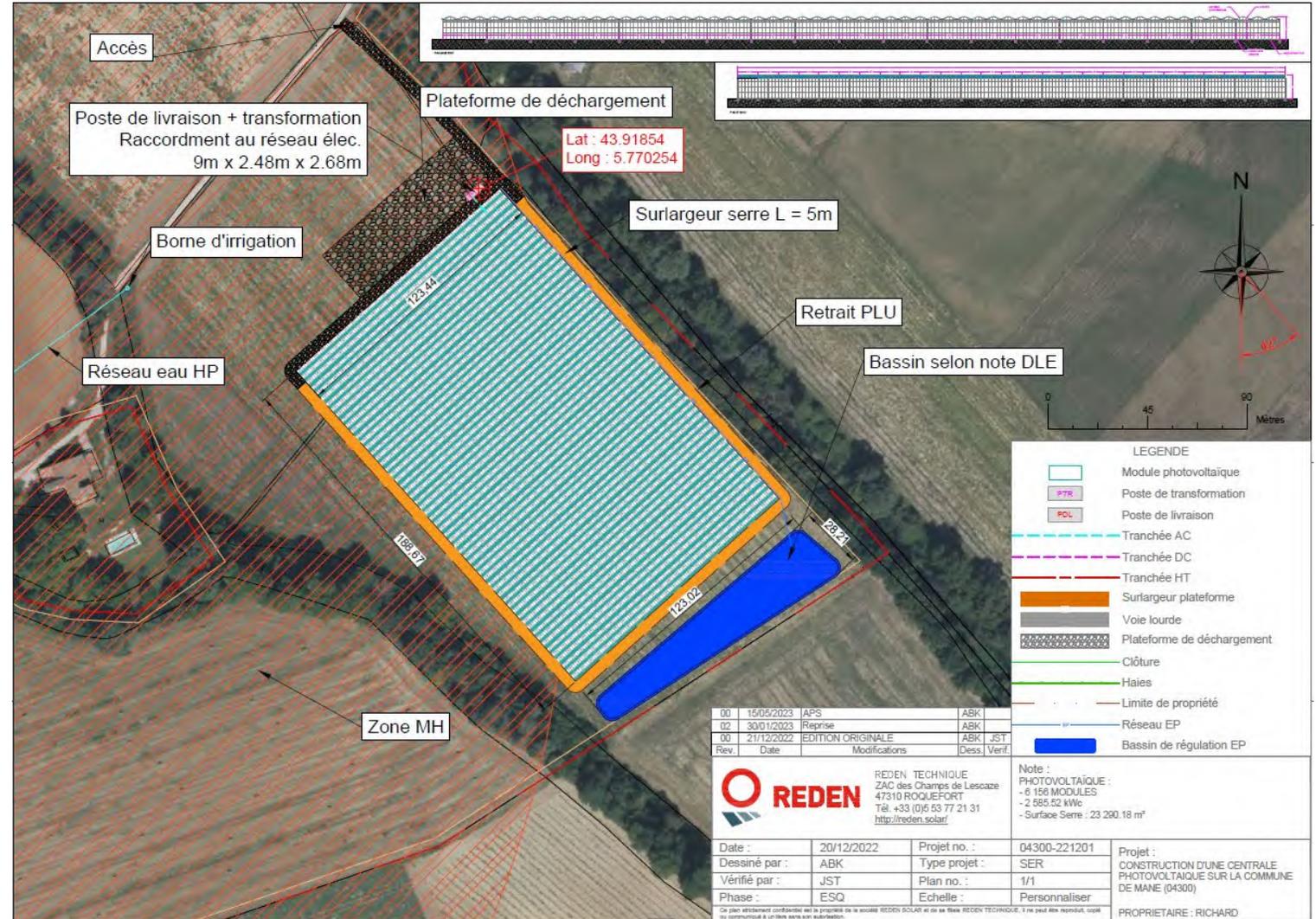
Références cadastrales
<b>000 ZD 35</b>
Surface foncière
<b>220 404 m<sup>2</sup></b>
Commune
<b>MANE (04300)</b>
Propriétaire
<b>Monsieur RICHARD</b>



# I ● Projet de serre agrivoltaïque



## Monsieur RICHARD – MANE (04300) Proposition d'implantation



« Il est entendu par les Parties que les mesures de la serre pourront être emmenées à varier à la hausse ou à la baisse dans la limite de 2% par rapport au projet mentionné aux présentes »

## **Annexe 2**



# REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE

Reportage photographique de la propriété REDEN à Mane

Edition du rapport le 23/05/2024

Point n° 6 - Buse



Informations

**Buse depuis cours d'eau a l'ouest diam250  
intérieur**



Localisation du point



Point n° 7 - Arrivée cours d'eau



Informations

Depuis l'ouest de la propriété



Localisation du point

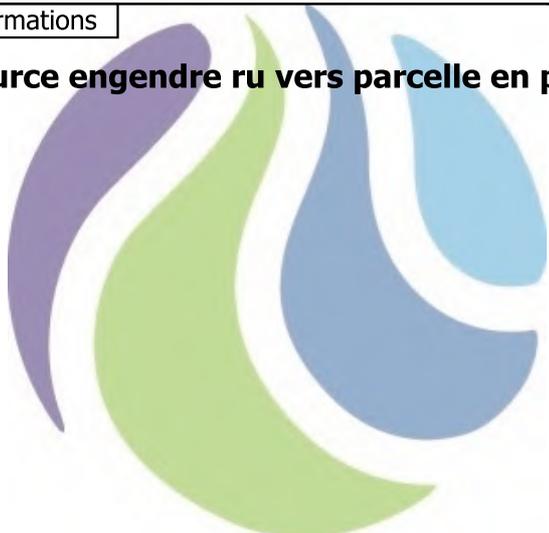


Point n° 8 - Arrivée canal



Informations

Source engendre ru vers parcelle en projet



Localisation du point



**Point n° 9 - Parcelle humide dans creux**



Informations

**Entourée du cours d'eau et du canal**



Localisation du point

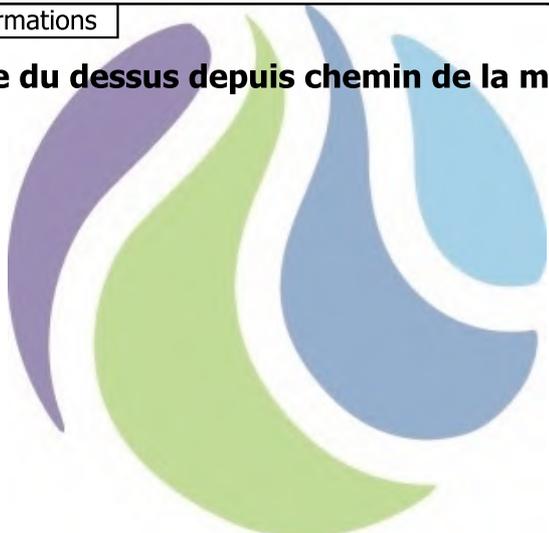


Point n° 10 - Parcelle en projet



Informations

**Vue du dessus depuis chemin de la maison**



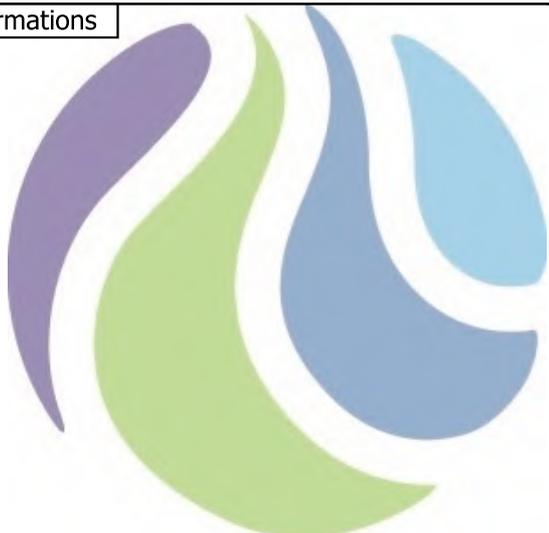
Localisation du point



Point n° 11 - Idem10



Informations



Localisation du point



Point n° 12 - Dessication



Informations

**Terre sablo argileuse avec petite dessication**



Localisation du point



Point n° 13 - Débordement canal amont



Informations

**Zone débordement lors de submersion de la canalisation 250**



Localisation du point



Point n° 14 - Idem13 aval



Informations



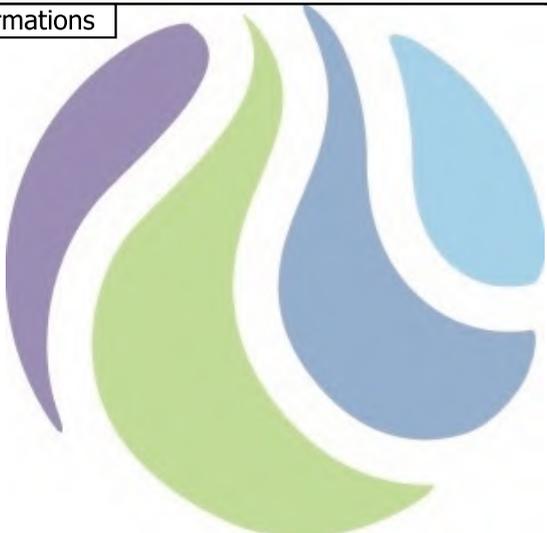
Localisation du point



Point n° 15 - Lanesu



Informations



Localisation du point



**Point n° 16 - Terre plus caillouteuse au sud-est**



Informations



Localisation du point



Point n° 17 - Laye



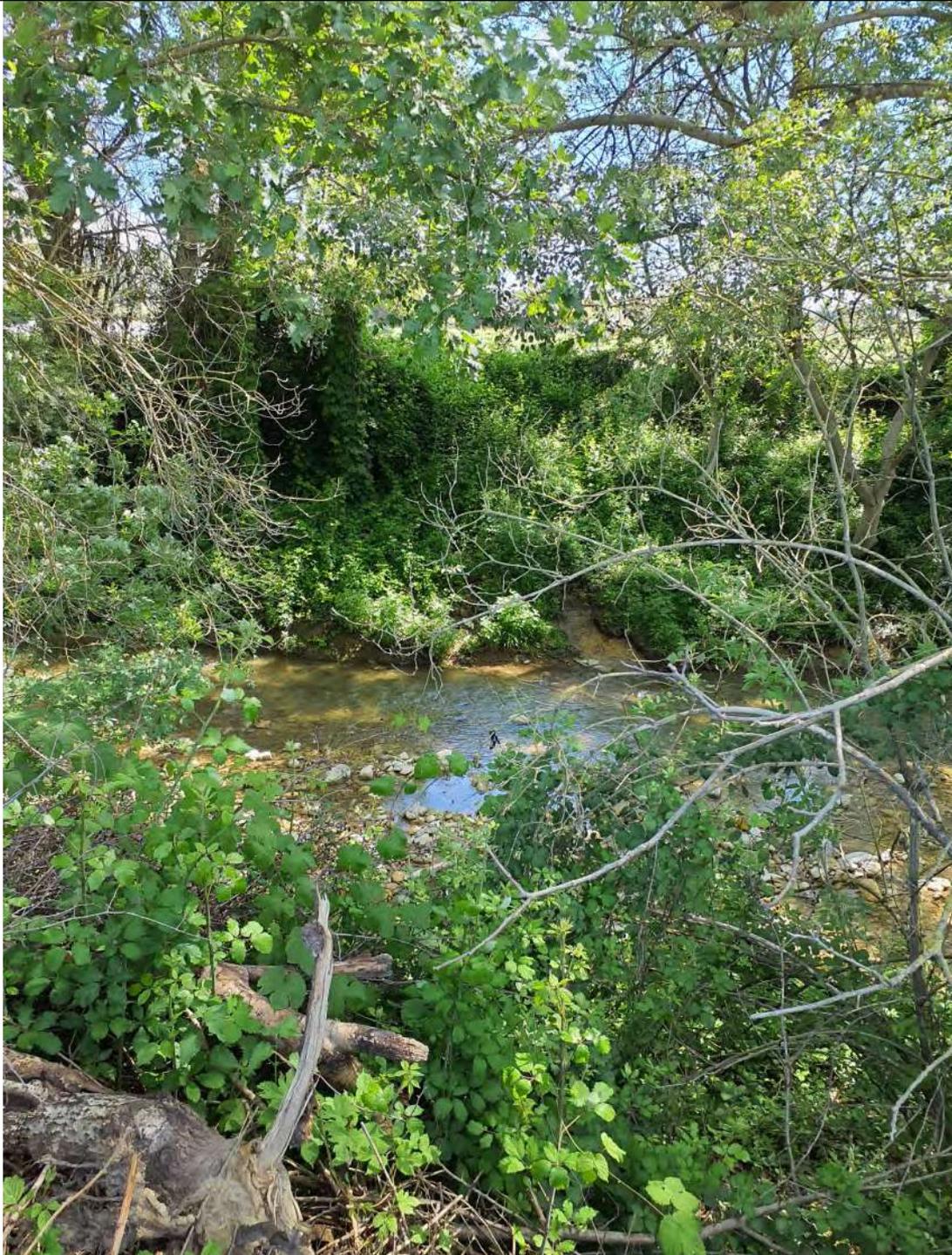
Informations



Localisation du point



Point n° 18 - Idem17



Informations



Localisation du point



Point n° 19 - Laye au pont



Informations

**Aval 10.245**



Localisation du point



Point n° 20 - Idem amont



Informations



Localisation du point

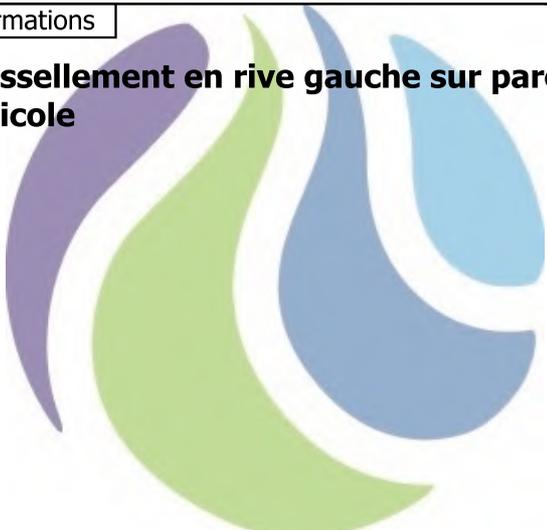


Point n° 21 - Vallonnement ouest



Informations

**Ruissellement en rive gauche sur parcelle agricole**



Localisation du point





**Fin du reportage photo**

## **Annexe 3**

### III ETUDE DE SOL

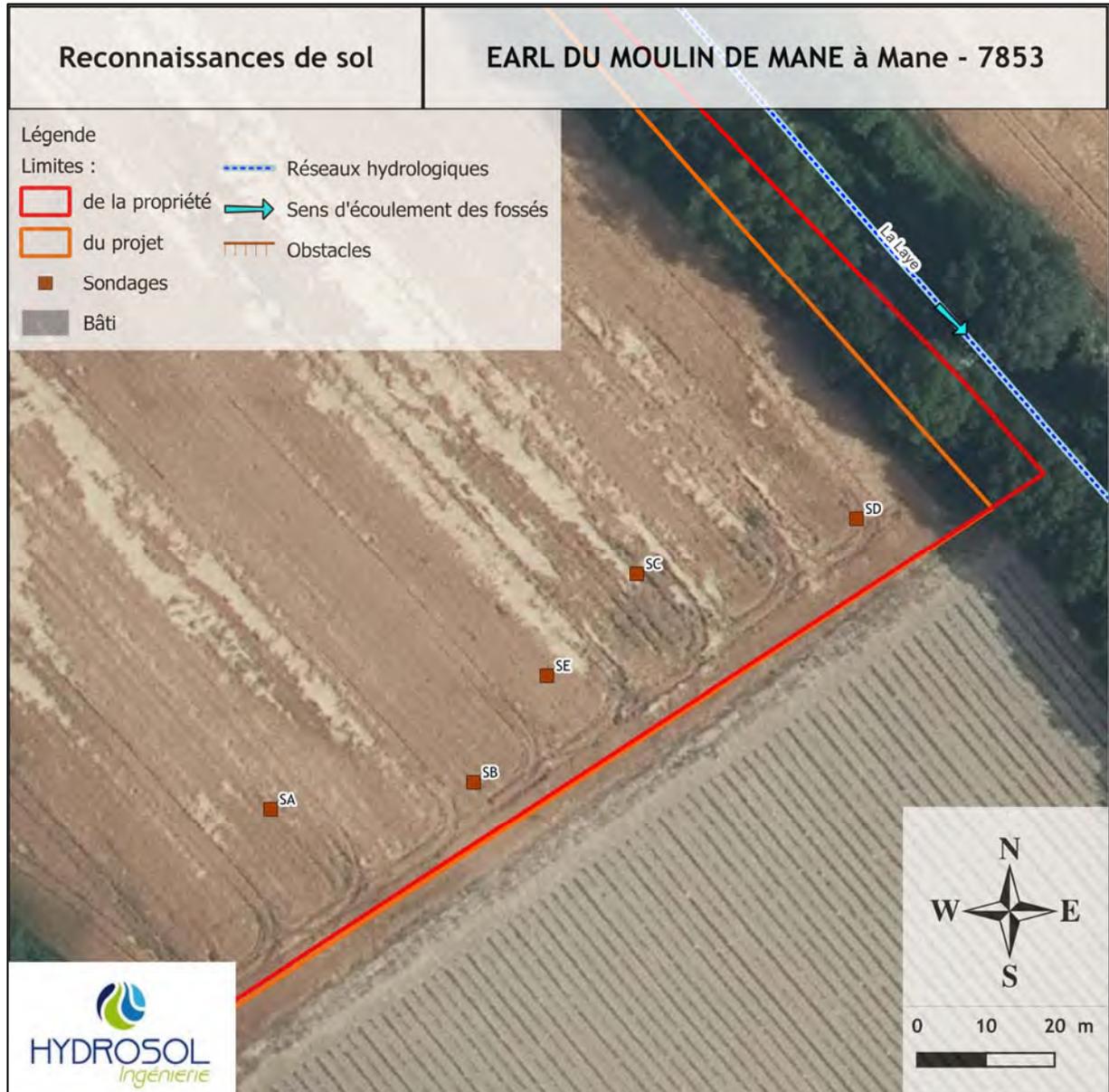
#### A. COMPOSITION

Des reconnaissances de sol et observations sur site ont été effectuées le 26 mars 2024.

Sur le secteur d'étude, nous avons réalisé :

- 5 sondages au tracto-pelle, notés SA à SE ;
- 3 essais d'infiltration par hauteur variable dans les sondages réalisés (sauf dans les sondages SA et SD).

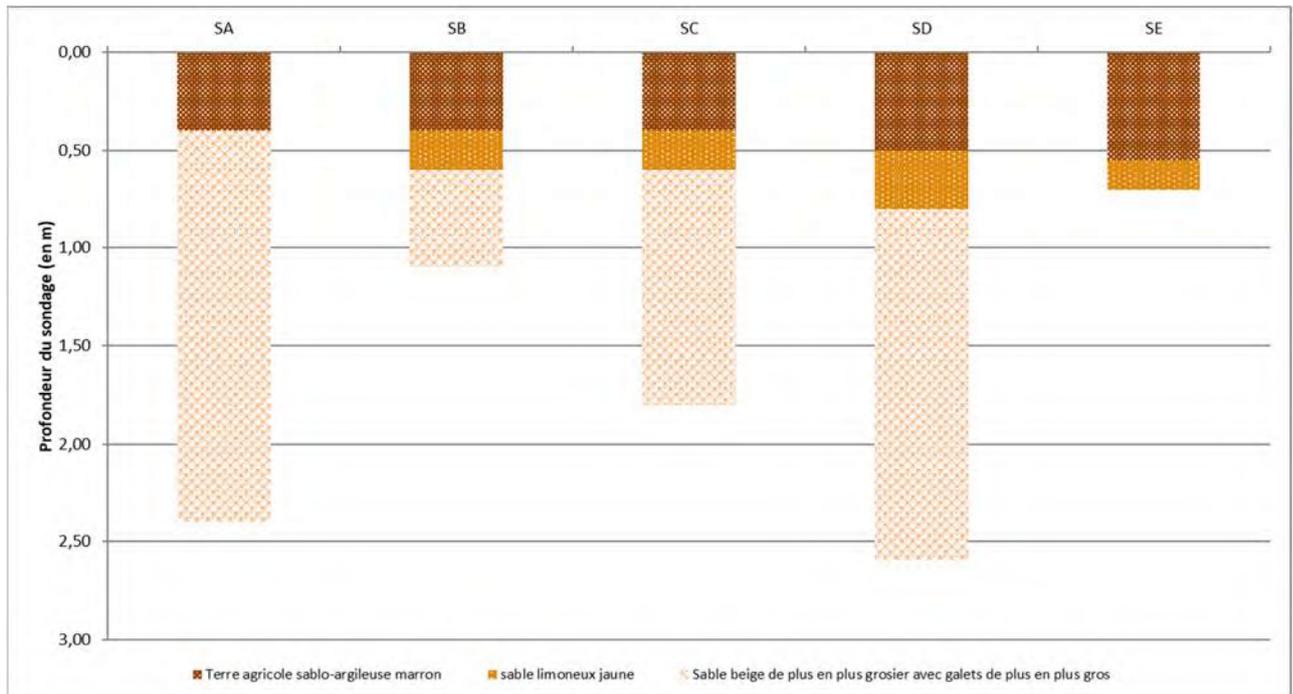
De plus, nous avons procédé à l'examen de la propriété et de ses alentours.



## B. SONDAGES AU TRACTO-PELLE

Ces sondages nous permettent de connaître la nature du sol sur la zone pressentie pour l'implantation de l'ouvrage de rétention, et de déceler d'éventuelles contraintes.

Sur la zone prospectée le terrain est homogène et peut être schématisé ainsi :



Des venues d'eau ont été observées au fond des sondages SA et SD à partir de 2,40 m et 2,60 m sous le sol et le niveau statique s'est établi au même niveau, l'eau n'est pas remontée. Ponctuellement et sans doute temporairement, il se peut que le niveau puisse se rapprocher plus près de la surface du sol.

Des traces d'hydromorphie (rouille) ont été observées à partir de 2 m sous le sol dans le sondage SA. Ces traces nous indiquent la présence temporaire d'une nappe d'eau superficielle entraînant l'oxydation du fer présent naturellement dans le sol.

## C. ESSAIS D'INFILTRATION

Les résultats des essais d'infiltration, réalisés à niveau variable, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Résultats des essais d'infiltration	SB	SC	SE
Type d'essais	Hauteur variable		
Profondeur de l'essai	1,10 m	1,80 m	0,70 m
Formation testée	Sables beiges et galets		Sables limoneux jaunes
Perméabilité	431 mm/h	1800 mm/h	50 mm/h

Nous retiendrons une perméabilité de :

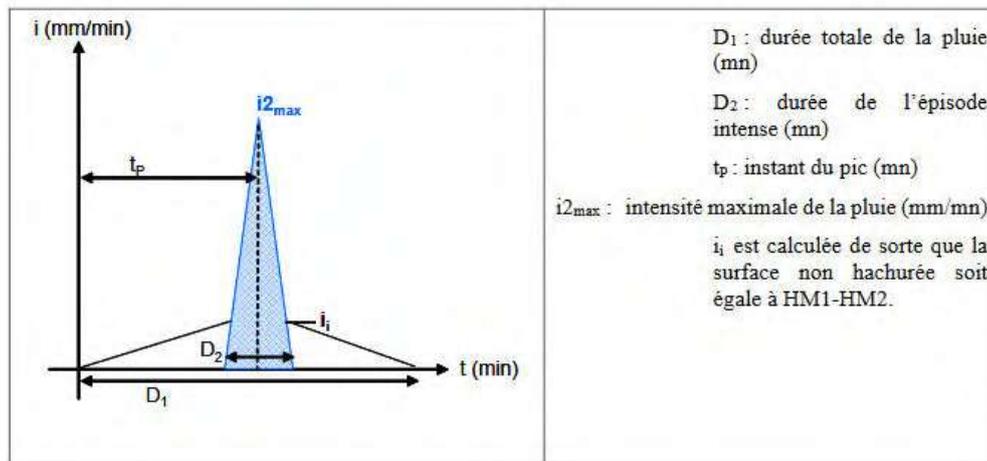
- 430 mm/h pour la couche de sables beiges et galets ;
- 50 mm/h pour la couche de sable limoneux jaunes.

## **Annexe 4**

**Note de calcul sur la construction géométrique de l'hydrogramme double-triangle (extrait du manuel du logiciel HYDRA basé sur les travaux de DESBORDES et RAOUS 1980):**

Cette pluie, supposée uniforme à l'intérieur d'un rayon donné, est définie par un hyétogramme en forme de double triangle, construit à partir des paramètres suivants :

- Le rayon d'action : emplacement et dimensions,
- La durée totale de l'épisode pluvieux et la période de retour associée,
- Les coefficients de Montana associés à l'épisode pluvieux,
- La durée de l'épisode pluvieux intense et la période de retour associée,
- Les coefficients de Montana associés à l'épisode pluvieux intense,
- L'instant du pic pluvieux.



Il faut respecter la double inégalité :

- $D_2 \leq 2$  heures
- $D_1 \geq 2$  heures (en général  $D_1$  peut être fixé à 4 heures)

De plus, les études menées notamment par le LHM montrent que la période de retour  $T_2$  doit être choisie environ deux à trois fois plus faible que  $T_1$ . La lame d'eau totale est calculée par l'expression :

$$HM_1 = (HM_1^*) * \left( \frac{D_1}{120} \right)^\beta$$

où  $HM_1^*$  est la lame d'eau tombée pour une pluie de période de retour  $T_1$  et de durée 2h (calculée avec  $a_1$  et  $b_1$  coefficients de Montana de l'épisode total) et  $D_1$  est la durée de l'épisode total exprimée en minutes ;  $\beta$  est un coefficient déterminé par COLIN et BEDEL pour des durées supérieures à 120 minutes, compris entre 0,22 et 0,29 suivant les régions.

La lame d'eau de l'épisode intense (surface hachurée) est calculée par l'expression :

$$HM_2 = a_2 * D_2^{b_2} * D_2$$

où  $a_2$  et  $b_2$  sont les coefficients de Montana de l'épisode intense et  $D_2$  sa durée en minutes.

-----

## **Annexe 5**

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
A. Closed conduits flowing partly full			
A-1. Metal			
a. Brass, smooth	0.009	0.010	0.013
b. Steel			
1. Lockbar and welded	.010	.012	.014
2. Riveted and spiral	.013	.016	.017
c. Cast iron			
1. Coated	.010	.013	.014
2. Uncoated	.011	.014	.016
d. Corrugated metal			
1. Subdrain	.017	.019	.021
2. Storm drain	.021	.024	.030
A-2. Nonmetal			
a. Lucite	.008	.009	.010
b. Glass	.009	.010	.013
c. Cement			
1. Neat, surface	.010	.011	.013
2. Mortar	.011	.013	.015
d. Concrete			
1. Culvert, straight, and free of debris	.010	.011	.013
2. Culvert with bends, connections, and some debris	.011	.013	.014
3. Sewer with manholes, inlet, etc., straight	.013	.015	.017
4. Unfinished, rough wood form	.015	.017	.020
e. Wood			
1. Stave	.010	.012	.014
2. Laminated, treated	.015	.017	.020
f. Clay			
1. Common drainage tile	.011	.013	.017
2. Vitrified sewer with manholes, inlet, etc.	.013	.015	.017
g. Glazed brickwork mortar	.011	.013	.015
	.012	.015	.017
h. Sanitary sewers coated with sewage slimes, with bends and connections	.012	.013	.016
i. Paved invert, sewer, smooth bottom	.016	.019	.020
j. Rubble masonry, cemented	.018	.025	.030



Hydrosol étend son réseau et dispose de plusieurs agences afin de mieux vous servir.

