



# ACCORD CADRE – MAITRISE D'ŒUVRE OUVRAGES GEMAPI

**OP3 / RENOVATION ET REHABILITATION DES OUVRAGES EN  
MER, EXUTOIRES PLUVIAUX « PIED DE DIGUE » - « PIERRE A  
TAMBOUR » - « MAURETTES » - VILLENEUVE-LOUBET »  
VALLON DES MAURETTES**

**Rapport d'avant-Projet – indice B**

*19 décembre 2023*



# SOMMAIRE

---

<b>1 - DISPOSITIONS GENERALES .....</b>	<b>5</b>
<b>2 - CONTEXTE ET OBJECTIFS VISES PAR L'ETUDE .....</b>	<b>6</b>
<b>3 - OUVRAGES CONCERNES .....</b>	<b>7</b>
3.1 - Description de la zone.....	7
3.2 - Description sommaire des ouvrages .....	7
3.3 - Documents de Références .....	8
3.4 - Documents annexes à ce rapport .....	8
<b>4 - RAPPEL DES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC .....</b>	<b>9</b>
4.1 - Analyse structurelle de l'épi .....	9
4.2 - Analyse fonctionnelle de l'ouvrage .....	10
4.2.1 - Analyse fonctionnelle selon une approche fluviale .....	10
4.2.2 - Analyse fonctionnelle selon une approche maritime .....	11
4.3 - Recommandations, préconisations issues du diagnostic .....	12
<b>5 - ETUDES COMPLEMENTAIRES .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1 - Tranche ferme : Etudes des conditions météo-océaniques et de modélisation numériques pour la reconstruction de l'épi du vallon des Maurettes.....</b>	<b>13</b>
5.1.1 - Objectif de l'étude .....	13
5.1.2 - Conclusions de l'étude .....	13
5.1.2.1 - Observations générales.....	13
5.1.2.2 - Dérive littorale .....	14
<b>5.2 - Tranche optionnelle 1 : Etude de l'influence de la longueur de l'épi des Maurettes sur la morphologie des plages attenantes.....</b>	<b>14</b>
5.2.1 - Objectif de l'étude .....	14
5.2.2 - Conclusions de l'étude .....	15
<b>5.3 - Tranche optionnelle 3 : Mise à jour étude hydraulique.....</b>	<b>15</b>
5.3.1 - Objectif de l'étude .....	15
5.3.2 - Conclusions de l'étude .....	15
<b>6 - ETUDES D'AVANT-PROJET .....</b>	<b>16</b>
<b>6.1 - Présentation des différentes solutions.....</b>	<b>16</b>
6.1.1 - Partie terrestre de l'ouvrage : commun aux trois solutions .....	16
6.1.1.1 - Description de la solution.....	16
6.1.1.2 - Description des travaux.....	19
6.1.1.3 - Consistance des travaux.....	20
6.1.2 - Partie maritime.....	22
6.1.2.1 - Solution 1 : épi sur palplanches.....	22
6.1.2.2 - Solution 2 : épi en enrochements avec cadre béton intégré.....	23

6.1.2.3 - Solution 3 : double épi en enrochement avec exutoire à ciel ouvert ;	25
6.1.2.4 - Comparatif des solutions d'exutoire en mer	26
6.1.2.5 - Solution 4 : épi sur palplanches raccourci	27
<b>6.2 - Déconstruction de l'épi</b>	<b>29</b>
<b>6.3 - Aspect environnemental</b>	<b>29</b>
<b>6.4 - Délai global de travaux</b>	<b>29</b>
<b>7 - DOSSIERS REGLEMENTAIRES ENVISAGES</b>	<b>31</b>
<b>7.1 - Dossiers relatifs au Code de l'Environnement</b>	<b>31</b>
<b>7.2 - Examen au cas par cas</b>	<b>31</b>
<b>7.3 - Etude d'impact Environnementale</b>	<b>32</b>
<b>7.4 - Dossier au titre de la Loi sur l'Eau</b>	<b>32</b>
<b>7.5 - Notice d'incidences Natura 2000</b>	<b>32</b>
<b>7.6 - Dossiers relatifs au Code du CGPP</b>	<b>33</b>
<b>7.7 - Dossiers relatifs au Code de l'Urbanisme</b>	<b>33</b>
<b>8 - CONCLUSION</b>	<b>34</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de repérage des ouvrages en charge de la CASA	6
Figure 2 : Localisation des exutoires sur la commune de Villeneuve-Loubet	7
Figure 3 : LIGNES D'EXTRACTION AUTOUR DES OUVRAGES POUR LES ENTRANTS DE CONCEPTION : EPIS DES MAURETTES ET PIERRE A TAMBOUR (HAUT) ET EPIS DU VALLON PIED DE DIGUE (BAS) – Extrait FRA-MED0130_Epi-Maurette_Villeneuve-Loubet_v1	13
Figure 4 : Vue en plan du projet de reprise de l'exutoire projet du vallon des maurettes	16
Figure 5 : Coupe de principe longitudinale AA de l'exutoire projet du vallon des maurettes	17
Figure 6 : Coupe de principe transversale BB DE la deuxième partie de l'exutoire du vallon des maurettes projet	17
Figure 7 : exutoire réalisé en amont de la rd6007	18
Figure 8 : Entrée du réseau pluvial sous la rd6007	18
Figure 9 : Coupe de principe transversale CC DE la troisième partie de l'exutoire du vallon des maurettes projet	19
Figure 10 : Vue en plan de l'exutoire projet du vallon des maurettes en paplanches	22
Figure 11 : Coupe de principe transversale DD DE la quatrième partie de l'exutoire du vallon des maurettes – Solution 1 : Epi sur palplanches	22
Figure 12 : Vue en plan de l'exutoire projet du vallon des maurettes en enrochements avec buse intégrée – Extrait plan Cp022	24
Figure 13 : Coupe de principe transversale DD DE la quatrième partie de l'exutoire du vallon des maurettes – Solution 2 epi en enrochements avec cadre béton intégré – Extrait plan Cp022	24
Figure 14 : Vue en plan de l'exutoire projet du vallon des maurettes – Solution 3 double epi en enrochements – Extrait plan CP032	25
Figure 15 : Coupe de principe transversale DD DE la quatrième partie de l'exutoire du vallon des maurettes – Solution 3 double epi en enrochements – Extrait plan CP032	26
Figure 16 : Vue en plan de l'exutoire projet du vallon des maurettes en paplanches	28
Figure 17 : Planning de travaux maritimes	30
Figure 18 : biocénoses à l'approche de l'épi du vallon des maurettes	31



# 1 - DISPOSITIONS GENERALES

Le groupement EGIS/ICTP est attributaire de l'accord cadre de maîtrise d'œuvre pour les ouvrages GEMAPI du territoire de la CASA.

La présente prestation est établie en réponse au Bon de Commande n°OP3 et correspond au rapport de la phase de conception d'avant-projet concernant la « **Reconstruction d'un ouvrage en mer, Épi du vallon des Maurettes** ».

Maître d'Ouvrage :



**C.A.S.A.**

**COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION**

**SOPHIA ANTIPOLIS**

Les Genêts

449 route des crêtes – BP 43

SOPHIA ANTIPOLIS CEDEX

Maître d'Œuvre (Mandataire) :



**EGIS EAU**

889 rue de la vieille poste

Cs 89017

34965 Montpellier cedex 2

Maître d'Œuvre (cotraitant) :



**Bureau d'études ICTP**

254 Corniche Fahnestock

06700 Saint-Laurent-du-Var

Tél. : 04 92 12 97 09

Courriel : [ictp@ictp.fr](mailto:ictp@ictp.fr)

Lieu de l'opération

Ville : Villeneuve-Loubet

Département : 06 ALPES-MARITIMES

Ouvrages : Exutoire Vallon des Maurettes,

## 2 - CONTEXTE ET OBJECTIFS VISES PAR L'ETUDE

Le patrimoine à la charge de la CASA est en cours de définition au regard de la compétence GEMAPI et Eaux Pluviales.

Le littoral de la CASA comprend :

- 80 ouvrages en mer ;
- 30 exutoires pluviaux.

La zone d'intervention est localisée ci-dessous.

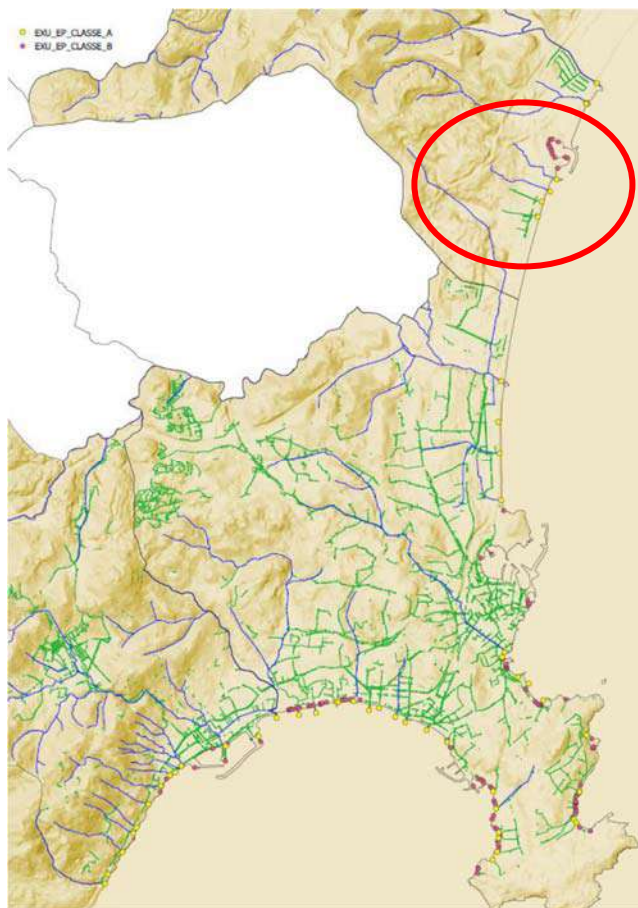


Figure 1 : Plan de repérage des ouvrages en charge de la CASA

L'objectif de l'opération est de réaliser les études d'avant-projet concernant la reconstruction de l'exutoire du vallon des Maurettes, situé sur la commune de Villeneuve-Loubet. Cela consiste ainsi à envisager les différentes solutions du projet.

## 3 - OUVRAGES CONCERNES

### 3.1 - Description de la zone

#### ■ Situation Géographique

La Commune de Villeneuve-Loubet est située dans le Sud-Est de la France, dans le département des Alpes-Maritimes, entre les villes d'Antibes et de Nice.

L'épi du Vallon des Maurettes se situe au Sud de la Marina Baie des Anges. Ce dernier est exposé vers l'Est et subit ainsi directement la houle provenant du large sans aucun obstacle.

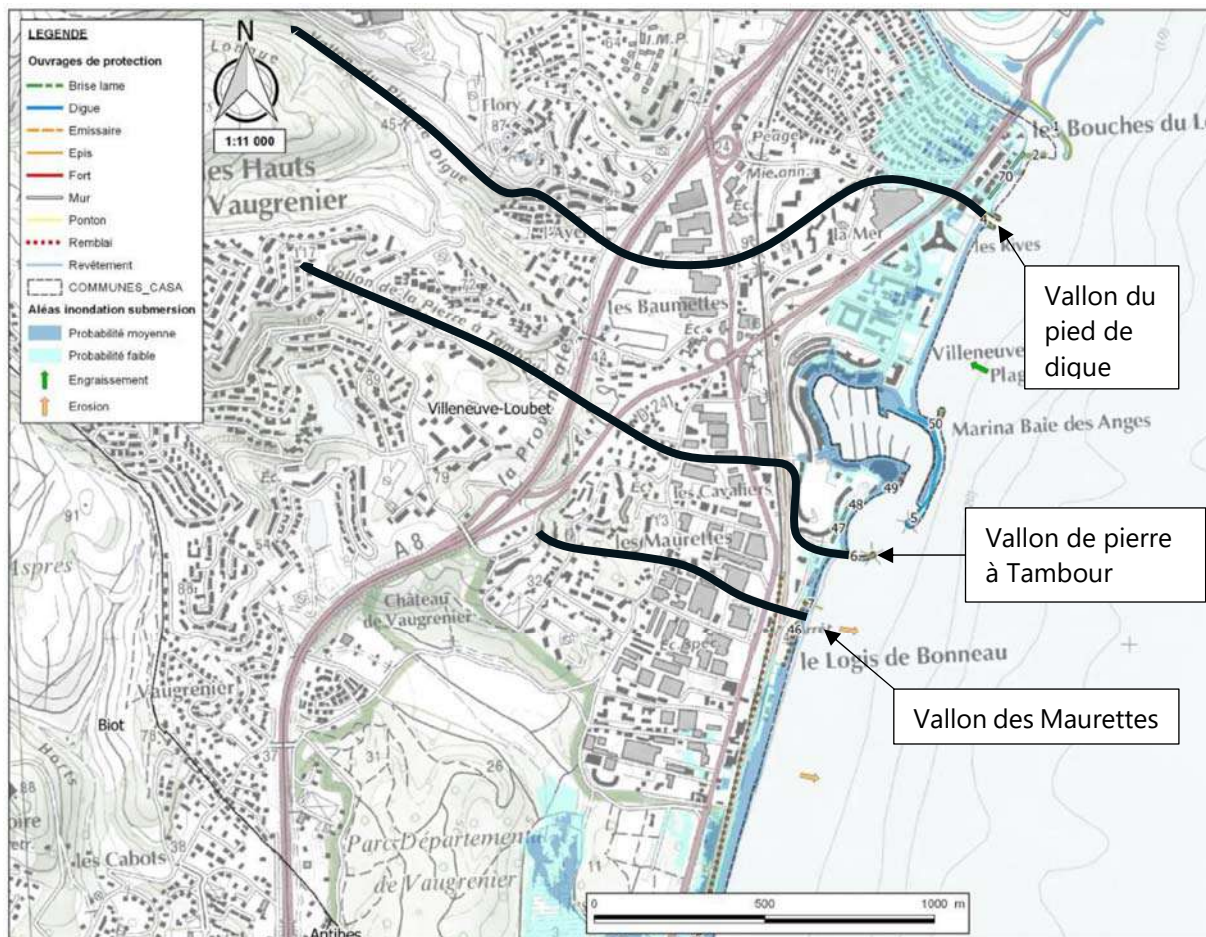


Figure 2 : Localisation des exutoires sur la commune de Villeneuve-Loubet

#### ■ Conditions Environnementales

Les études statistiques menées par SOGREAH en 2009 ont montré que les plages de Villeneuve-Loubet sont essentiellement exposées aux houles de 80°N à 160°N.

### 3.2 - Description sommaire des ouvrages

#### ■ Vallon des Maurettes

L'épi du Vallon des Maurettes est un épi en béton, fixé sur un double rideau de palplanches et protégé par un talus en enrochements de part et d'autre de l'épi. Cet épi est long d'environ 60 m depuis le trottoir de l'avenue de la Batterie

### 3.3 - Documents de Références

Cette mission d'Avant-Projet est basée sur des documents de références suivants :

- Plan topographique – GEOFIT EXPERT 18/02/2022
- Diagnostic amiante – DOMOBAT Expertises 24/01/2022
- Investigation géotechniques (mission G0) – FONDASOL
- Compléments topographiques – GEOFIT Expert – n
- Mission de repérage amiante – DOMOBAT Expertises 24/01/2022
- Détection des réseaux enterrés et géoréférencement – ELLIVIA 07/02/2022
- CASA OPC3 Diagnostic Vallon des Maurettes Indice B – EGIS / ICTP – 9 Novembre 2017

### 3.4 - Documents annexes à ce rapport

Plusieurs documents viennent compléter ce rapport d'Avant-projet :

- Missions complémentaires :
  - TF : Etudes des conditions météo-océaniques et de modélisation numérique pour la reconstruction de l'épi du vallon des Maurettes – EGIS / ICTP 2022
  - TO1 : Etude de l'influence de la longueur de l'épi des Maurettes sur la morphologie des plages attenantes – EGIS / ICTP 2023
  - TO3 : Mise à jour étude hydraulique – EGIS / ICTP 2022
- Solution 1 :
  - AVP CP012 Vallon des Maurettes – Carnet de coupes de principe de reprises de l'exutoire du vallon des Maurettes sur la commune de Villeneuve-Loubet – Solution 1 : épi sur palplanches,
- Solution 2 :
  - AVP CP022 Vallon des Maurettes – Carnet de coupes de principe de reprises de l'exutoire du vallon des Maurettes sur la commune de Villeneuve-Loubet – Solution 2 : épi en enrochements,
- Solution 3 :
  - AVP CP032 Vallon des Maurettes – Solution 3 : Double épis en enrochements,
- Solution 4 :
  - AVP CP042 Vallon des Maurettes – Solution 4 : épi en palplanches raccourci,
  - Estimation ET004 Vallon des Maurettes – Solution 4 : épi en palplanches raccourci,



## 4 - RAPPEL DES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC

### 4.1 - Analyse structurelle de l'épi

Structurellement, l'ouvrage est fortement dégradé. Les palplanches, fondations de l'épi, sont dans un état de corrosion avancée et présentent de nombreux trous. De plus, plusieurs éléments ne sont plus présents. Les aciers des bétons sont atteints par la corrosion, ils ont gonflé et créé des fissures ainsi que des épaufrures sur le béton. A certains endroits, l'enrobage du béton n'est plus présent et les aciers sont soumis directement à l'environnement marin.

Les deux derniers mètres de l'ouvrage ont subi de fortes dégradations avec le soulèvement de la dalle béton supérieure, laissant les aciers de liaisons à l'air libre. Enfin, les enrochements de protection sont totalement désordonnés et ne remplissent plus leur fonction initiale. Ils s'étalent sur environ 10 / 15 m de chaque côté de l'ouvrage.

**Au vu de ces inspections, la classification IQOA des différentes parties est définie dans le tableau suivant :**

Élément d'ouvrage	Classement IQOA
Palplanches	3U S  Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.  Ouvrage présentant une insécurité pour l'utilisateur
Préfabriqué béton	3 U  Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.
Dalle de béton supérieure	3U S  Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.  Ouvrage présentant une insécurité pour l'utilisateur
Clavetage préfabriqué / dalle de béton	3U  Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la

	<p>rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.</p> <p>Ouvrage présentant une insécurité pour l'usager</p>
Enrochements	<p>2E</p> <p>Ouvrage dont la structure porteuse est en bon état apparent mais dont les équipements ou éléments de protection présentent des défauts ou ouvrage dont la structure porteuse présente des défauts mineurs mais qui nécessitent un entretien spécialisé urgent pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure</p>

**TABEAU 1 : COTATION IQOA DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES**

En somme, **cet ouvrage, est très dégradé et présente un risque de ruine à court terme au vu de l'état de ses fondations. La cotation globale de l'ouvrage, est 3US selon le référentiel IQOA soit un ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portante de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.** Pour rappel, La mention S signale un risque pour les usagers, une tempête pourrait venir encore plus fragiliser l'ouvrage.

Suite à ce diagnostic, l'ouvrage a été fermé au public et des panneaux d'avertissement du danger et d'interdiction d'accès ont été installés.

Ce diagnostic a ainsi montré la nécessité de reprendre entièrement l'ouvrage.

## 4.2 - Analyse fonctionnelle de l'ouvrage

### 4.2.1 - Analyse fonctionnelle selon une approche fluviale

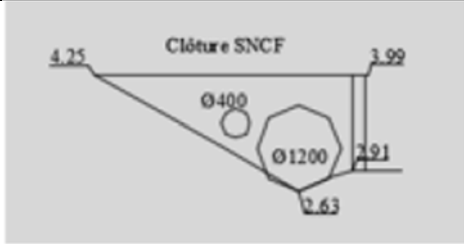
Le vallon des Maurettes est un cours d'eaux pluviales drainant un bassin versant de 19.6 ha dont l'exutoire est son embouchure en mer. Le débit décennal du vallon est de 3.4m<sup>3</sup>/s et le débit centennal du vallon est de Q=5.95 m<sup>3</sup>/s.

**L'exutoire Maurettes contribue ainsi au bon écoulement des eaux pluviales et leur évacuation en mer.** Le vallon des Maurettes est un ouvrage stratégique dans la prévention contre les inondations, notamment, de la zone commerciale du Pôle Marina 7.

Avec le projet de travaux sous la RD6007, le débit du vallon des Maurettes sera limité par la buse DN1200 (Qcap : 4.3m<sup>3</sup>/s) permettant la traversée de la voie ferrée.

Actuellement, le débit maximal de l'exutoire du vallon des Maurettes est de Qcap = 4.5m<sup>3</sup>/s, soit des crues d'occurrence 20-30 ans.

	Ouvrage	Section
Projet sous la RD6007	<p>Arase filante mur: 4.30m NGF Trottoir: 4.15m NGF RN7: 4.0m NGF Fourreaux en béton de protection Emprise des terrassements 1.23 m<sup>2</sup> 2.65 m<sup>2</sup> 1.75 Cadres B.A. préfabriqués 0.75m x 1.75m Ep. mini 20cm - Long 2.00m</p>	2*1.23 m <sup>2</sup> soit 2.46 m <sup>2</sup>

Buse sous la voie ferrée		1.13 m <sup>2</sup>
Sortie de la buse jusqu'à exutoire en mer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadre 1.5 * 1.5m</li> <li>• Buse DN1200</li> <li>• Cadre 1.6*1.2 m</li> <li>• Cadre 2.8*1.9 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.25 m<sup>2</sup></li> <li>• 1.13 m<sup>2</sup></li> <li>• 1.92 m<sup>2</sup></li> <li>• 5.32 m<sup>2</sup> (obstrué par la présence de galets)</li> </ul>

**TABEAU 2 : TABLEAU COMPARATIF DES DIFFERENTES SECTION DU VALLON DES MAURETTES**

Le vallon des Maurettes **participe également à l'évacuation des eaux du bassin versant des Cavaliers**. Ce bassin possède les caractéristiques suivantes : débit décennal de 1.6m<sup>3</sup>/s et débit centennal de 2.3m<sup>3</sup>/s. **Le raccordement de ce réseau au vallon des Maurettes s'effectue à l'amorce de l'exutoire. L'exutoire doit ainsi pouvoir supporter les débits cumulés des deux vallons**, à savoir 5 m<sup>3</sup>/s en crue décennale et 8.25 m<sup>3</sup>/s pour une crue centennale.

En l'état actuel, la hauteur de l'exutoire en mer se situe à une altimétrie de +1.41 m NGF fini à son extrémité, soit une hauteur de passage d'eau de 1.20 m. Or l'élévation du niveau marin en période de retour centennale est de +1.40 m NGF, cela signifie donc que l'exutoire est totalement obstrué par le niveau marin lors de tempêtes centennales.

De plus, l'ouvrage étant ouvert directement à la mer, l'exutoire a tendance à s'obstruer de galets amenés par les tempêtes. Ainsi, des bouchons se créent au niveau de la plage réduisant la section hydraulique et empêchant alors une bonne évacuation du vallon en période de crue. Une amélioration de cette sortie serait à prévoir (sortie en T ou Y non directement face à la mer).

#### 4.2.2 - Analyse fonctionnelle selon une approche maritime

L'exutoire est un épi transversal à la plage qui **participe au maintien du trait de côte**. Etant donné sa longueur, il parvient à bloquer légèrement le transit sédimentaire longitudinal et ainsi à créer une légère accrétion de sable sur la plage, à minima d'en réduire l'érosion.

Un retrait complet de cet ouvrage entraînerait une érosion de la plage des Maurettes (comme observé plus au sud le long de la route du bord de mer). On observerait ainsi un **alignement relativement rapide du trait de côte avec les plages au Nord et au Sud**. L'érosion sera d'autant plus **accentuée lors des tempêtes d'EST**.

Le rallongement de l'épi pourrait, en théorie, bloquer davantage le transit sédimentaire et favoriser l'accrétion de la plage mais cela nécessiterait d'augmenter l'emprise sur le Domaine Public Maritime (en contradiction avec les doctrines actuelles de la DDTM). Seule une modélisation numérique hydro-sédimentaire de la zone pourrait déterminer les conséquences d'un rallongement de l'exutoire du vallon des Maurettes sur les conditions hydro-sédimentaires.

Un tableau présentant les avantages et inconvénients de modifications de la longueur de l'ouvrage est transmis ci-après.

Modification de l'ouvrage	Avantages	Inconvénients
Réduction voire suppression de l'exutoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux moins coûteux</li> <li>• Réduction de l'emprise des ouvrages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evacuation des crues sur toute la plage et non canalisées en mer</li> <li>• Possible création de bouchon au niveau de l'exutoire restant</li> <li>• Réduction de la profondeur de plage pouvant aller jusqu'à la suppression de la plage</li> </ul>
Maintien de la longueur de l'exutoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintien de la plage au droit de l'exutoire</li> <li>• Canalisation des évacuations en mer</li> <li>• Réduction des bouchons éventuels</li> <li>• Emprise des ouvrages inchangée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux coûteux</li> </ul>
Rallongement de l'exutoire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventuel léger agrandissement de la plage mais non garanti</li> <li>• Canalisation des évacuations en mer</li> <li>• Réductions des bouchons éventuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travaux très coûteux</li> <li>• Emprise agrandie nécessitant une autorisation (concession DPM) et en contradiction avec les doctrines actuelles</li> <li>• Nécessite des études spécifiques pour valider l'efficacité ou l'inefficacité du blocage du transit sédimentaire</li> </ul>

**TABLEAU 3 : TABLEAU DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS POUR LA MODIFICATION DE LA LONGUEUR DE L'OUVRAGE**

### 4.3 - Recommandations, préconisations issues du diagnostic

Au vu des résultats l'étude hydraulique réalisée par Suez, l'exutoire du vallon des Maurettes ne semble pas être adapté à des crues cinquantennales et centennales (Actuellement le débit est limité par la buse DN1200 à 4.5m<sup>3</sup>/s). Son dimensionnement initial ne permet pas d'accepter les conditions de mer prévues sur du long terme, à l'horizon 2050, compte tenu de l'élévation des niveaux marins (+0.25 m).

**Au regard de l'état structurel de l'exutoire et de l'évolution des conditions de mer, des réparations de l'exutoire ne sont pas envisageables. Nous préconisons alors, une reconstruction totale de l'ouvrage** en prenant en compte les futurs aménagements prévus sur le vallon au niveau de RD6007, des apports du bassin versant des Cavaliers et de l'élévation du niveau marin à l'horizon 2050.

Les dimensions de l'exutoire devront être adaptés à toutes ces nouvelles contraintes qui entrent en jeu dans le but d'améliorer ses capacités d'évacuation des eaux. Elles devront tenir compte des débits de crues centennales du vallon des Maurettes (avant son passage sous la voie ferrée) soit 5.95 m<sup>3</sup>/s, et du bassin versant des Cavaliers soit 2.3 m<sup>3</sup>/s. Cela permettra d'anticiper d'éventuels travaux d'optimisation de ces vallons, notamment la reprise de la buse DN1200 sous la voie ferrée.

Par ailleurs, il pourra être envisagé d'éviter une sortie directement face à la mer et aux vagues (sortie en T ou en biais). Cette modification empêchera en partie que les vagues rentrent dans le linéaire de conduite et apportent des matériaux (galets) formant des bouchons.

## 5 - ETUDES COMPLEMENTAIRES

### 5.1 - Tranche ferme : Etudes des conditions météo-océaniques et de modélisation numériques pour la reconstruction de l'épi du vallon des Maurettes

#### 5.1.1 - Objectif de l'étude

Cette étude vise à définir les conditions de mer au droit de l'épi des Maurettes notamment en vue de sa reconstruction. Pour cela plusieurs études ont dû être réalisées :

- Une **étude météo-océanique** comprenant une analyse statistique en vue de la définition des conditions marines du large,
- Une **étude de modélisation numérique de la propagation des états de mer** depuis le large jusqu'à la côte,
- Une **extraction des caractéristiques d'état de mer** (hauteur significative, direction moyenne, période, niveau d'eau) **en pied d'ouvrages**,

#### 5.1.2 - Conclusions de l'étude

Les simulations numériques réalisées ont permis de sortir les caractéristiques suivantes au droit de l'épi des Maurettes :

- Hm0 [m],
- Dirm [°N],
- Tp [s],
- Zw [mNGF], niveau total intégrant la composante côtière liée au déferlement (setup).

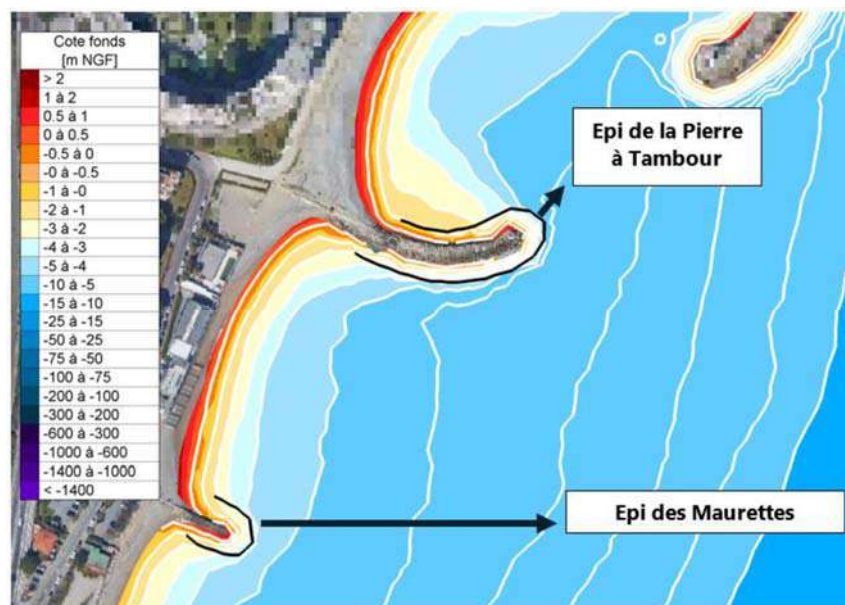


FIGURE 3 : LIGNES D'EXTRACTION AUTOUR DES OUVRAGES POUR LES ENTRANTS DE CONCEPTION : EPIS DES MAURETTES ET PIERRE A TAMBOUR (HAUT) ET EPIS DU VALLON PIED DE DIGUE (BAS) – EXTRAIT FRA-MED0130\_EPI-MAURETTE\_VILLENEUVE-LOUBET\_V1

#### 5.1.2.1 - Observations générales

De manière générale, les observations suivantes peuvent être faites au regard des plans de vagues réalisés :

- Au-devant de l'ouvrage, les trains de vagues proviennent d'E à SE, notamment par effet de réfraction des systèmes de SSO,
- On observe peu de différences en termes de  $H_{m0}$  entre les événements 50 ans et 100 ans (effet d'écrêtage de la houle avec la remontée des fonds),
- Les conditions de houle d'E sont généralement plus pénalisantes que celle de SSO en raison de l'incidence directe sur les ouvrages (réfraction des vagues limitée),
- Les conditions centennales les plus pénalisantes (musoir) sont  $H_{m0} = 3.47\text{m}$  (E)
- En conditions à niveau bas, les hauteurs significatives sont moins élevées en raison de l'écrêtement opéré par les fonds. A titre d'exemple, la hauteur significative au musoir de l'épi de la Pierre à Tambour est réduite de près de 30% par rapport à la condition à niveau haut.
- Le niveau d'eau en conditions centennales est généralement proche de +1.5mNGF (variable selon la direction de la houle du large et l'épi considéré), indiquant une surcote de déferlement de l'ordre de 25cm sur les trois sites. Cette valeur est stable le long des ouvrages ou bien augmente près du trait de côte où un fort déferlement a lieu.

### 5.1.2.2 - Dérive littorale

Le modèle utilisé permet de calculer la surélévation (setup) ainsi que les courants de dérive associés au déferlement des vagues sur la côte. Les résultats de simulation obtenus en conditions annuelles et centennales pour les deux secteurs directionnels d'étude afin de caractériser la circulation autour des ouvrages.

En conditions de houle d'E, la dérive littorale est globalement orientée  $N > S$ . En conditions annuelles, la dérive est peu intense autour de l'épi du Vallon Pied de Digue ( $< 0.4\text{m/s}$ ) mais atteint 0.6 à 0.8m/s entre la marina et l'épi des Maurettes. En conditions centennales, une contre-dérive ( $S > N$ ) se forme entre la marina et les épis du Vallon Pied de Digue, de sorte qu'un courant d'arrachement – portant vers le large à une vitesse atteignant 0.8m/s – apparaît ponctuellement à quelques dizaines de mètres au Sud des épis.

Réciproquement, en conditions de houle de SSO, la dérive est orientée  $S > N$ . En conditions annuelles, celle-ci dépasse 0.6m/s devant les musoirs des épis et de la digue de la marina. Au Sud des épis du Vallon Pied de Digue, la dérive est très supérieure à 1m/s, de sorte qu'une accrétion sédimentaire est attendue contre l'épi Sud lors de tels événements. En conditions centennales, ces tendances sont accrues : la vitesse du courant atteint 2m/s devant les musoirs des épis du Vallon Pied de Digue et de l'épi des Maurettes. Le long de la digue principale de la marina et de l'épi de la Pierre à Tambour, le courant reste inférieur à 1.5m/s.

#### NB :

- Les résultats de vitesse sur le trait de côte doivent être considérés avec précaution car soumis à effets de bord.
- Le modèle courantologique n'ayant pas fait l'objet d'un calage (notamment sur la base de mesures in situ), les vitesses calculées restent indicatives. Par ailleurs, l'analyse courantologique n'étant pas la finalité première de cette étude de Tranche Ferme, elle n'est esquissée ici qu'à titre indicatif et nécessitera un approfondissement dans le cadre des études de Tranches Optionnelles.

## 5.2 - Tranche optionnelle 1 : Etude de l'influence de la longueur de l'épi des Maurettes sur la morphologie des plages attenantes

### 5.2.1 - Objectif de l'étude

La présente étude vise à fournir des éléments de compréhension quant à l'impact de la longueur de l'épi sur les plages attenantes (Pierre au Tambour et Maurettes). Pour cela, il a été réalisé :

- Un rappel du contexte hydro-morpho-sédimentaire du site,

- Une modélisation numérique du transport sédimentaire en période de tempête en prenant en compte l'influence d'un épi de différentes longueurs (longueur actuelle de ~50 m, réduite de moitié en mer et nulle),
- Une modélisation numérique de la dynamique du trait de côte à l'échelle pluri-décennale rétrospective et prospective, avec et sans épi,

### 5.2.2 - Conclusions de l'étude

L'étude morphologique des plages s'est basée sur l'analyse d'images aériennes historiques et satellites plus récentes, une modélisation hydro-sédimentaire en période tempête et une modélisation du trait de côte à échelle pluri-décennale pour estimer l'influence potentielle d'une reconfiguration de l'épi des Maurettes sur la morphologie des plages attenantes.

Il en ressort que, compte-tenu :

- Du faible apport actuel de sédiments dans le budget sédimentaire du site (en partie en lien avec la construction des ouvrages perpendiculaires le long du littoral depuis le Var, comme la marina Baie des Anges),
- De la relative stabilité du trait de côte ces dernières années (sauf éventuellement lors d'épisodes de tempête) – les plages restant très étroites dans le secteur,
- D'une faible dérive littorale quasi symétrique de part et d'autre de l'épi (qui permet le maintien d'une petite portion de plage),
- De l'effet d'ombre induit par l'épi sur les courants littoraux et le transport associé en amont et surtout aval dérive lors d'épisodes tempétueux,
- De l'absence d'impact à long terme et à distance de la présence de l'épi sur l'évolution du trait de côte, et malgré une connaissance lacunaire de la dynamique des galets sur les plages,
- Il est suggéré de reconstruire l'épi avec sa longueur actuelle.

## 5.3 - Tranche optionnelle 3 : Mise à jour étude hydraulique

### 5.3.1 - Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est de réaliser une modélisation hydraulique sur le vallon Maurettes. Ce vallon draine des bassins versants majoritairement urbanisés avant de déboucher sur la mer. SUEZ a réalisé un modèle hydraulique sur le secteur en 2020.

La finalité de l'étude est de reprendre et compléter la simulation du vallon par des propositions d'aménagements.

### 5.3.2 - Conclusions de l'étude

L'étude a réalisé une comparaison des hauteurs d'eau dans le vallon entre l'état initial et l'état projet (cf. 6 - Etudes d'avant-projet). Les résultats sont présentés pour une seule condition aval étant donné la faible influence de celle-ci comme vu en état initial.

L'état projet permet une baisse généralisée de la ligne d'eau sur tout le linéaire allant de quelques centimètres à une vingtaine de centimètres. Seule la partie amont n'est pas impactée par les aménagements ;

- Les aménagements proposés permettent de faire baisser la ligne d'eau environ 20 cm pour toutes les occurrences au niveau de l'Avenue de la Batterie ce qui est l'objectif initial recherché ;
- Les débordements sur la partie amont du modèle sont légèrement moins importants pour une occurrence décennale et cinquantennale (environ 200 m<sup>3</sup> en moins) mais sont identiques pour une occurrence plus forte comme la centennale. ;
- Les hauteurs d'eau dans l'épi en mer sont peu impactées par les aménagements avec une baisse d'environ 5 cm.

## 6 - ETUDES D'AVANT-PROJET

### 6.1 - Présentation des différentes solutions

Suite au diagnostic réalisé, le Maître d'ouvrage a décidé d'entreprendre une mission d'étude d'avant-projet relative à la reconstruction de l'épi depuis le Parking de la batterie, situé à l'Est de l'avenue de la Batterie. La réhabilitation complète de l'ouvrage va ainsi consister à reconstruire l'épi, depuis, mais également à optimiser les capacités d'évacuation des eaux pluviales en tenant compte des éventuelles crues centennales.

Il est important de préciser que les débits d'évacuations seront toujours limités par les ouvrages en amont du projet (depuis la RD6007) avec notamment la présence de buses DN1200. Les travaux d'optimisation du débit fluvial projeté ici, sont en anticipation des travaux sous la RD6007 et en amont de l'avenue de l'avenue de la RD6007.

L'étude de l'influence de la longueur de l'épi des Maurettes sur la morphologie des plages attenantes réalisées par le bureau d'études EGIS en Avril 2023, a permis de mettre en évidence l'importance de l'épi sur le maintien des plages autour de l'ouvrage et par ailleurs, la nécessité de conserver la longueur actuelle de l'ouvrage.

Les différentes solutions étudiées concernent l'exutoire en mer, à savoir la nature, forme et composition de l'épi. Trois types d'épis ont été étudiés :

- Solution 1 : épi sur palplanches,
- Solution 2 : épi en enrochements avec cadre béton intégré,
- Solution 3 : double épi en enrochements avec exutoire à ciel ouvert ;

#### 6.1.1 - Partie terrestre de l'ouvrage : commun aux trois solutions

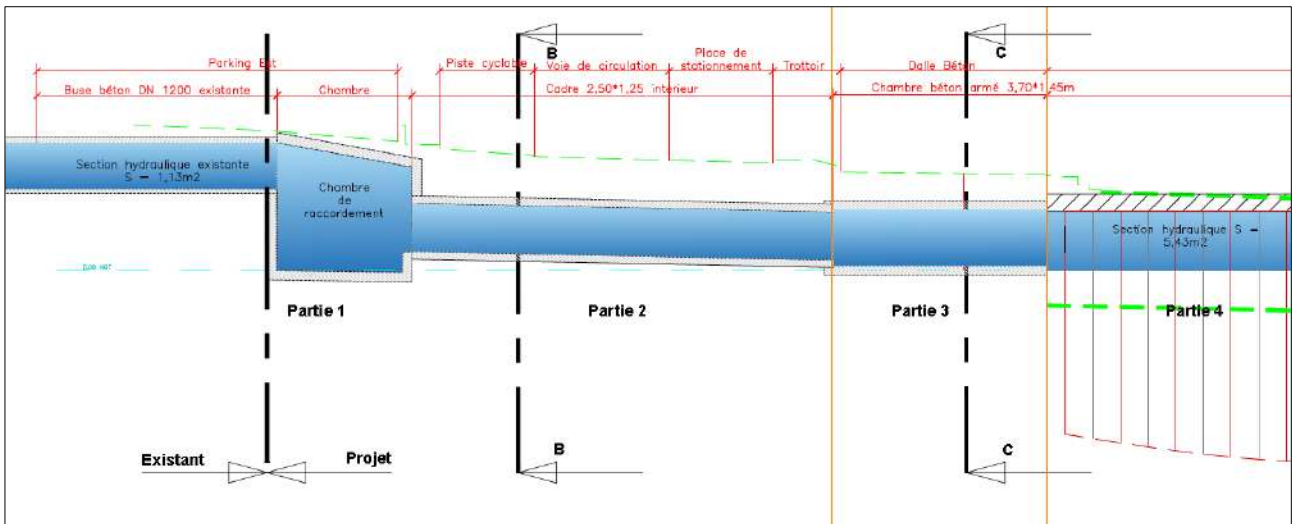
##### 6.1.1.1 - Description de la solution

Le projet de reconstruction et d'optimisation de l'exutoire du vallon des Maurettes comprend différentes parties afin de s'adapter au milieu autour de lui. L'ouvrage projet sera composé de 4 parties, dont trois communes aux différentes solutions étudiées correspondantes à la partie « terrestre de l'ouvrage » et une partie variante selon les solutions correspondantes à la « partie maritime » de l'ouvrage.



FIGURE 4 : VUE EN PLAN DU PROJET DE REPRISE DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES

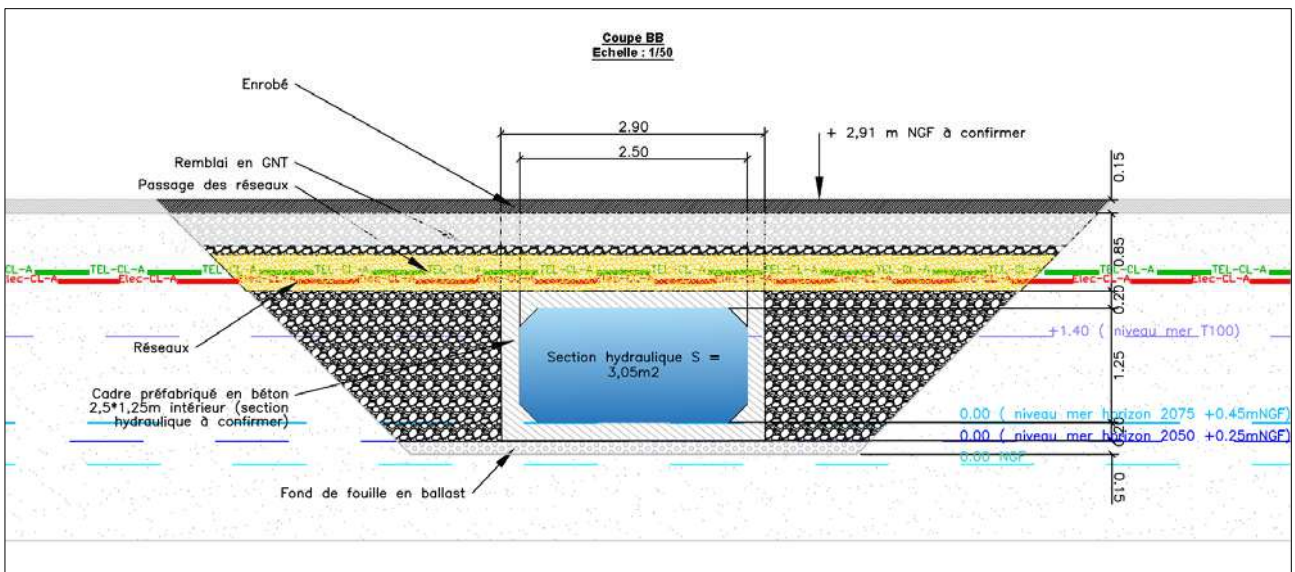




**FIGURE 5 : COUPE DE PRINCIPE LONGITUDINALE AA DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES**

La première partie constitue une chambre de raccordement en béton armé entre la buse béton DN 1200 existant et le reste de l'exutoire à construire. Cet élément permettra de passer d'une section hydraulique de 1,13 m<sup>2</sup> à 3,05m<sup>2</sup>. Cette chambre pourra faire office de dégraveur.

La deuxième partie du projet est composée d'un cadre en béton préfabriqué de dimension intérieure 2,50\*1.25m correspondant à une section hydraulique de 3,05 m<sup>2</sup>. Cette seconde partie correspond au passage du réseau fluvial sous la route.

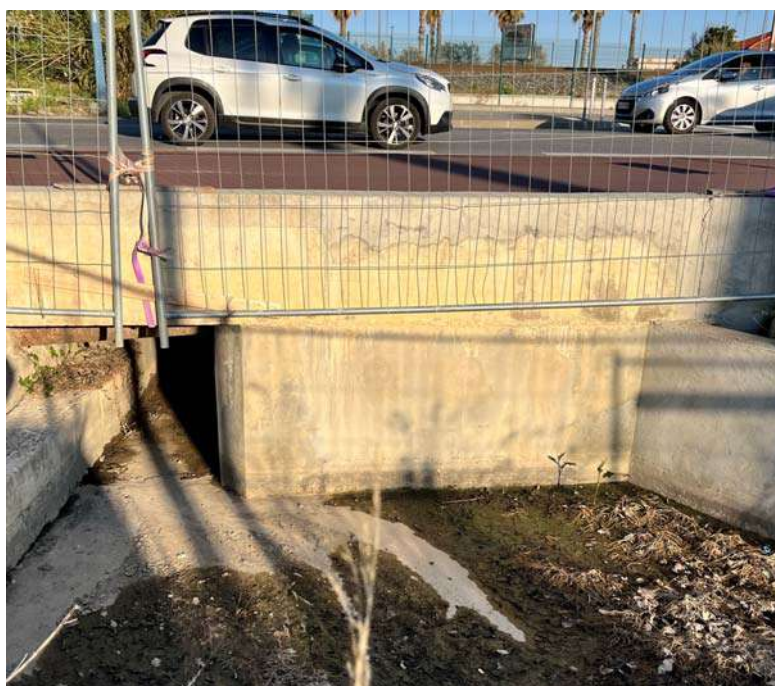


**FIGURE 6 : COUPE DE PRINCIPE TRANSVERSALE BB DE LA DEUXIEME PARTIE DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES PROJET**

La section hydraulique de la seconde partie de l'ouvrage a été déterminée à l'aide des études précédentes présentant notamment le projet sous RD6007. En effet, le projet de reprise du fluvial sous la RD6007 prévoit la mise en place de deux cadres bétons de section hydraulique 1.23 m<sup>2</sup> soit une section totale de 2.46 m<sup>2</sup>. Cependant, nous avons pris le parti d'augmenter la section dans notre projet afin d'avoir une continuité avec l'ouvrage réalisé en amont de RD6007 (au niveau de la nouvelle résidence séniors). Cependant, le débit du réseau pluvial sera toujours limité par le passage sous la RD6007 est les buses DN1200 présentes sur le réseau.

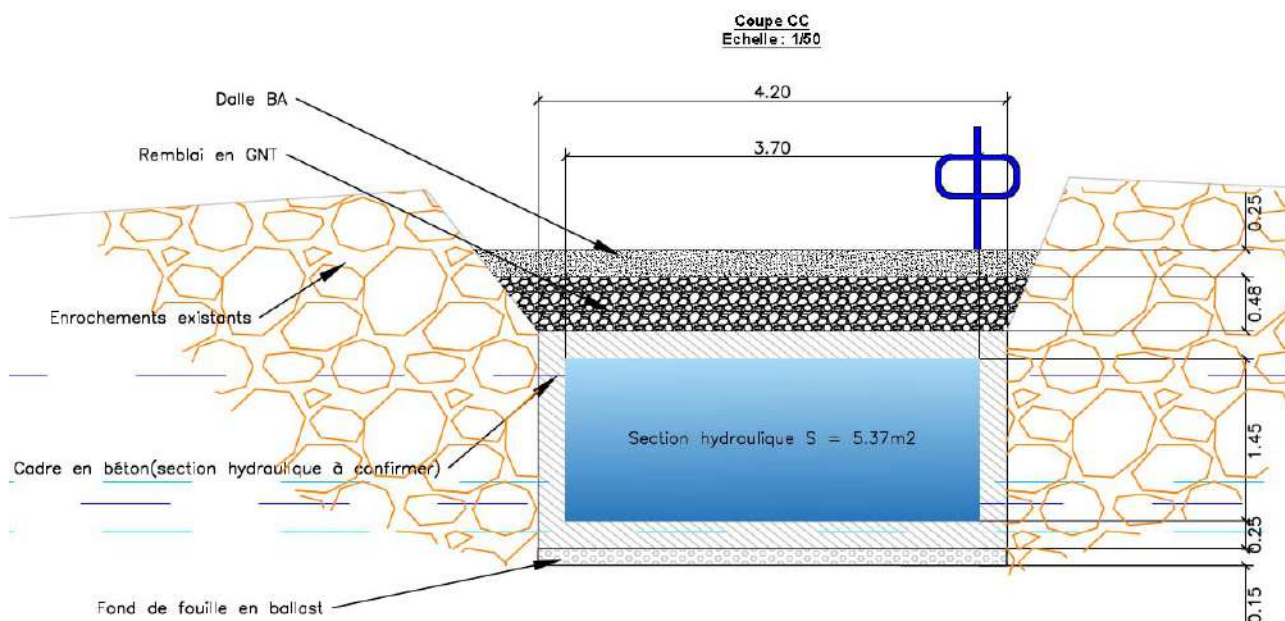


**FIGURE 7 : EXUTOIRE REALISE EN AMONT DE LA RD6007**



**FIGURE 8 : ENTREE DU RESEAU PLUVIAL SOUS LA RD6007**

La troisième partie de l'exutoire est une chambre de raccordement en béton armé entre le cadre en béton et l'épi en mer. Cette chambre permet également l'arrivée du réseau pluvial des cavaliers composé de deux buses DN400 ainsi que d'un réseau composé d'une canalisation PVC DN200. Cette seconde chambre de raccordement permet d'agrandir la section hydraulique à 5,37 m<sup>2</sup>.



**FIGURE 9 : COUPE DE PRINCIPE TRANSVERSALE CC DE LA TROISIEME PARTIE DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES PROJET**

Au cours des études de conception de l'ouvrage, une attention particulière a été portée sur le fait de créer des accès permettant le curage du réseau à l'aide d'engins mécaniques.

Au niveau de la chambre de raccordement située en haut de plage, une structure amovible en béton pourra être réalisée. Elle sera composée de plusieurs éléments ayant une masse raisonnable pour être soulevé et déplacé par une pelleteuse.

Les éléments amovibles reposeront sur les bords de la structure béton. Les dalles amovibles devront être fixées à la structure, pour cela des tiges filetées en inox pourraient être scellées aux poutres béton permettant d'y glisser les dalles et de les bloquer à l'aide d'écrous.

Attention, ce système s'avère plus fragile vis-à-vis des efforts de sous-pressions, un dimensionnement particulier des ancrages devra être entrepris.

Cette chambre pourra également faire office de dégraisseur, limitant l'encombrement du réseau.

#### 6.1.1.2 - Description des travaux

Les travaux de reprise de l'exutoire concernent les 80 derniers mètres du vallon des Maquettes avec 20 m en partie terrestre et 60 m en partie maritime (épi).

En partie terrestre, les travaux traverseront l'avenue de la batterie jusque sur le parking Est, au niveau du regard existant.

Afin de réaliser les travaux, la route, la piste cyclable et les trottoirs devront être coupés durant toute la durée des travaux. Des aménagements concernant la voie circulation devront être réalisés (voie sans issue, mise en place d'un double sens de circulation, ...). Le portique d'entrée du parking Est devra être démonté et déposée afin de pouvoir réaliser les terrassements. Il sera reconstruit à l'issue des travaux.

L'ensemble des équipements présents sur la zone de travaux (panneaux, barrières, poubelles, arceaux...) sera soigneusement déposé en vue de leur éventuelle remise en place après travaux. Le portique béton à l'entrée du parking Est devra également être démoli, tout comme les murets bétons.

Les travaux en partie terrestre seront réalisés en tranchées (terrassement) jusqu'au niveau de l'épi. Lors des opérations de terrassement, une attention particulière devra être portée sur la présence de nombreux réseaux sur la zone de chantier. Ces derniers passeront au-dessus du cadre préfabriqué à poser (dévoisement provisoire potentiel).

Durant la période de travaux, il est impératif de maintenir une continuité de service du réseau pluvial. Pour cela, une canalisation provisoire sera mise en place en dehors des périodes d'ouverture du chantier et lors des intempéries.

### 6.1.1.3 - Consistance des travaux

Les travaux détaillés sur l'estimation jointe sont répartis comme suit :

#### ■ Installation de chantier et travaux préparatoires

- Installation de chantier,
- Amenée et repli du matériel de chantier terrestre et maritime,
- Constat d'huissier, études d'exécution et plan de récolement,
- Repérage et protection de réseaux,
- Mesures de protection de l'environnement (filet anti-MES, double rideau à bulle, mesures de turbidité, kits anti-pollution, récupération des produits de démolition éventuellement tombés à l'eau).

#### ■ Démolition et évacuation de l'exutoire en partie terrestre

- Dépose, déplacement et remise en place des coffrets électriques,
- Dépose, déplacement et remise en place des compteurs d'eaux,
- Dépose et mise en stock des panneaux de signalisations routière pour repose et évacuation des poteaux en décharge agréée,
- Dépose en mise en stock provisoire ou évacuation des équipements (panneaux publicitaires, garde-corps, poubelles, arceaux vélos, affichage, ...),
- Découpe soigné démolition, fractionnement et évacuation des murets,
- Dépose et évacuation des enrochements sur plage,
- Dépose, démolition, fractionnement et évacuation du portique béton d'entrée du parking Ouest,
- Découpe soignée, démolition et évacuation de l'enrobé, y compris bordures et trottoirs,
- Réalisation du terrassement, démolition de l'exutoire existant, tri et évacuation des matériaux sur 20ml environ,
- Dépose et évacuation du socle de douche en béton, y compris déconnection du réseau d'alimentation en eaux et pose de bouchon,
- Blindage des terrassements,
- Dévoisement des réseaux existants.
- Continuité du réseau pluvial durant les travaux : mise en place d'une conduite provisoire

#### ■ Démolition et évacuation de l'exutoire en partie maritime

- Dépose en mise en stock provisoire ou évacuation des équipements (panneaux publicitaires, garde-corps, poubelles, arceaux vélos, affichage, ...),
- Dépose, mise en stock provisoire ou évacuation des enrochements de protection de l'épi en mer,

- Terrassement (y compris dans l'eau) pour libérer l'épi en béton jusqu'à la route,
- Dépose, démolition, fractionnement et évacuation des éléments en béton constituant l'épi,
- Extraction ou recépage sous le fond marin et évacuation des rideaux de palplanches.

#### ■ Réalisation du réseau pluvial en partie terrestre et réfection voirie

- Réalisation d'une couche fond de fouille en ballast,
- Réalisation d'une chambre de raccordement en béton armé entre la buse DN1200 existante et le cadre béton projet,
- Fourniture et pose de cadre béton préfabriqué de section intérieur 2500\*1250mm et d'épaisseur 200mm,
- Reprise du réseau annexe SUD en PVC Ø200mm y compris fourniture et mise en place de sable d'enrobage (réalisation de tranchée, fourniture et mise en place de sable, de tuyaux, remblai compactage et revêtement),
- Fourniture et pose de regard avaloir avec grille fonte de classe D4000 carré, de dimension 400 x 750 mm,
- Réalisation d'une chambre en béton armé de collecte des eaux de HT 145m, y compris raccordement des réseaux à la chambre,
- Mise en place de remblai autour des cadres béton et pour couche de forme y compris compactage des matériaux,
- Réalisation de dalles de transition sous la voirie,
- Couche de forme en GNT 0/31,5 sous enrobé,
- Remblaiement en terre au niveau du parking,
- Fourniture et pose de bordures de type T,
- Fourniture et pose de bordures de type P,
- Couche d'imprégnation,
- Réalisation d'un enrobé BBSG pour voirie épaisseur 15 cm,
- Réalisation d'un enrobé teinté sur trottoirs et la piste cyclable,
- Réalisation de murets en agglo sur 1 m de haut, y compris enduit coloré,
- Réalisation d'un portique en béton armé pour l'entrée du parking,
- Couche de forme en GNT 0/31,5 sous dalle BA (partie3),
- Réalisation d'une dalle en béton armé au-dessus de la chambre y compris escaliers de conduite entre la routé et l'épi,
- Réalisation de la signalisation horizontale (passage piéton, places de stationnement, piste cyclable...),
- Répose des équipements (barrières, panneaux, arceau vélo), y compris fourniture de nouveaux poteaux pour panneaux de signalisation,
- Répose des enrochements,
- Réalisation d'un socle pour douche de plage en béton armé, y compris raccordement au réseau AEP.

## 6.1.2 - Partie maritime

### 6.1.2.1 - Solution 1 : épi sur palplanches

#### 6.1.2.1.1 - Description de la solution

L'épi en mer tel que défini par la première solution proposée sera fondé sur un double rideau de palplanches et sera composé de poutres longitudinales, de prédalles et d'une dalle de compression en béton armé. La géométrie de l'épi permet d'obtenir une section hydraulique de 5,43 m<sup>2</sup>. De plus, l'about de l'épi ne sera pas directement orienté vers le large mais sur le côté. Cela a pour objectif de limiter l'entrée de la houle dans l'ouvrage et donc l'accrétion de sédiments qui réduit la section hydraulique.

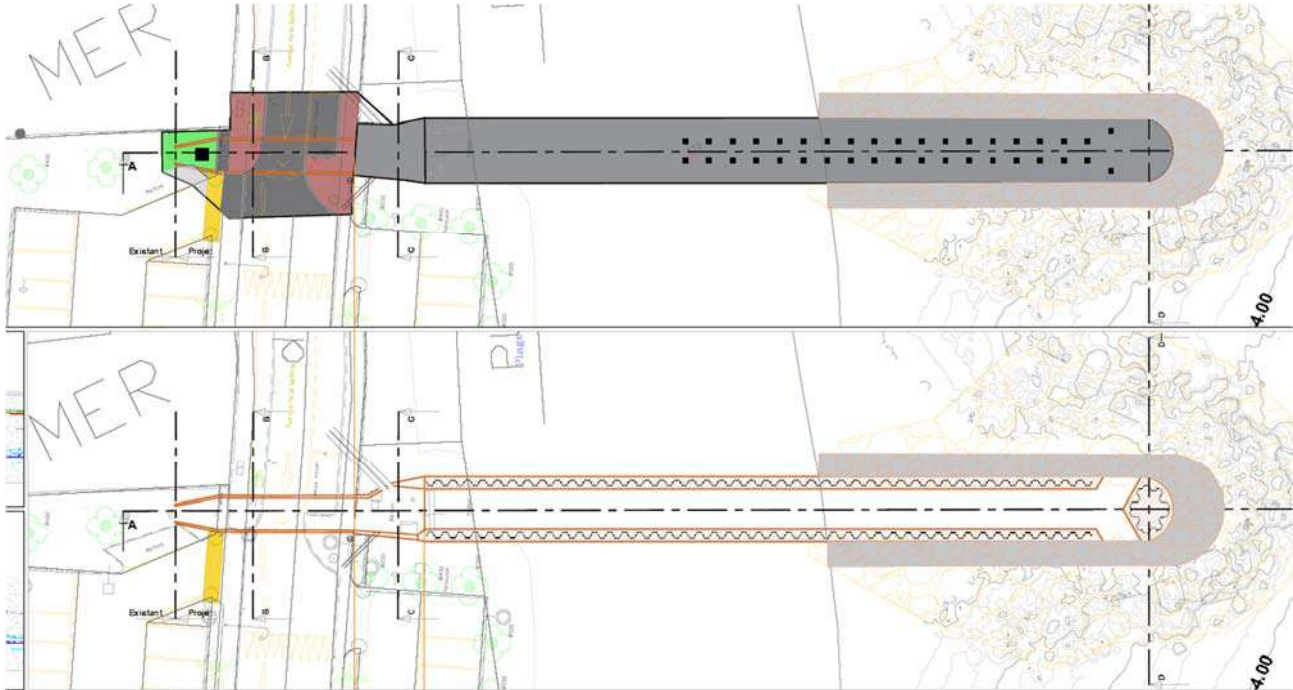


FIGURE 10 : VUE EN PLAN DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES EN PAMPLANCHES

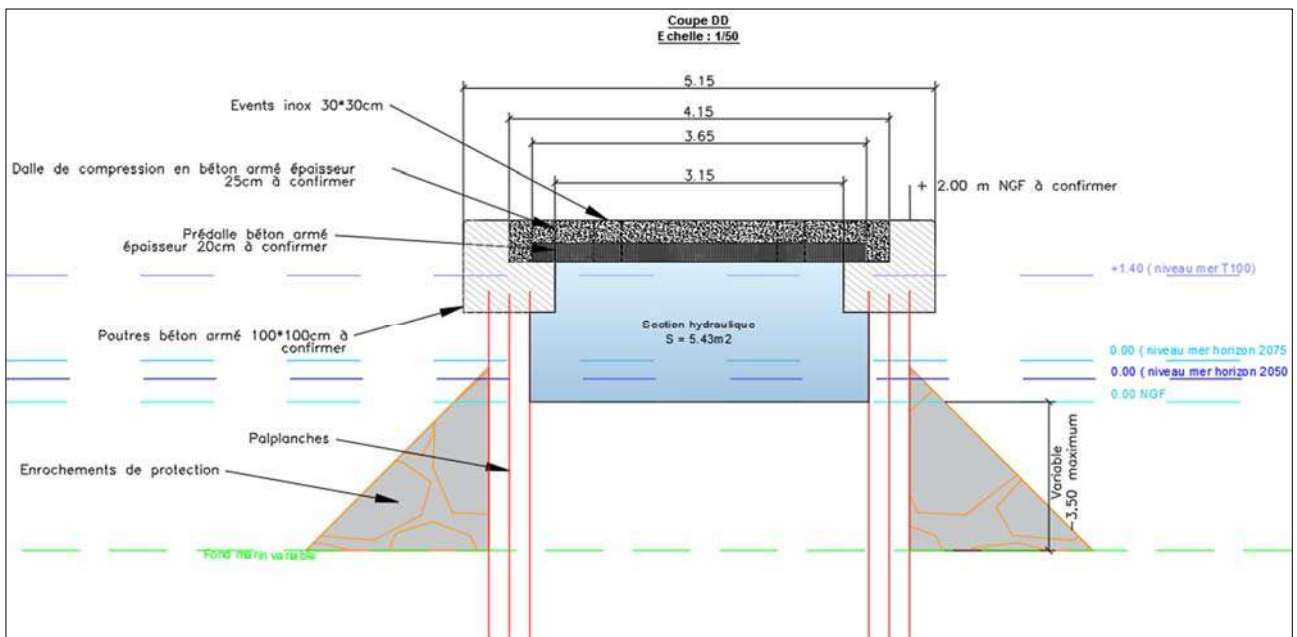


FIGURE 11 : COUPE DE PRINCIPE TRANSVERSALE DD DE LA QUATRIEME PARTIE DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES – SOLUTION 1 : EPI SUR PALPLANCHES

Afin de permettre un curage du réseau, et notamment au niveau de la remontée de plage, les dalles et prédalles en béton fixes pourront être remplacées par une structure « amovible » en béton, identique à celle décrite pour la chambre de raccordement.

Les enrochements déposés seront en partie reposés en pied des palplanches afin d'éviter le déchaussement de ces dernières en cas de tempête.

#### 6.1.2.1.2 - Description des travaux

Pour la reconstruction de l'épi, deux rideaux de palplanches parallèles seront foncés parallèlement. Chacun de ces rideaux seront coiffés d'une poutre de couronnement en béton armé supportant des prédalles et une dalle de compression en béton armé.

Afin de pouvoir réaliser les travaux, il pourra être envisagé de créer une piste de chantier en parallèle de l'ouvrage permettant de s'affranchir de l'utilisation d'une barge maritime, plus couteux, plus long et fortement soumis aux aléas climatiques.

Cette piste de chantier provisoire serait créée à l'aide d'enrochements naturels (potentiellement l'utilisation des enrochements initialement présents sur site) et serait par la suite démontée puis évacuée après la réalisation des travaux afin de restituer le site comme à l'existant.

Les travaux et notamment la mise en place des palplanches seront encadrés par des mesures et dispositifs de protection de l'environnement permettant de réduire les nuisances sur le milieu marin. Le chantier devra être confiné au sein d'un filet anti-MES afin de contenir les éventuelles dispersions de fines, perte de luminosité et d'éviter la propagation de la turbidité. De plus, lors des opérations de battage et vibrofonçage des palplanches, un double rideau à bulle sera mis en place permettant réduire la diffusion de vibrations dans le milieu.

#### 6.1.2.1.3 - Consistance des travaux

Les travaux détaillés sur l'estimation jointe sont répartis comme suit :

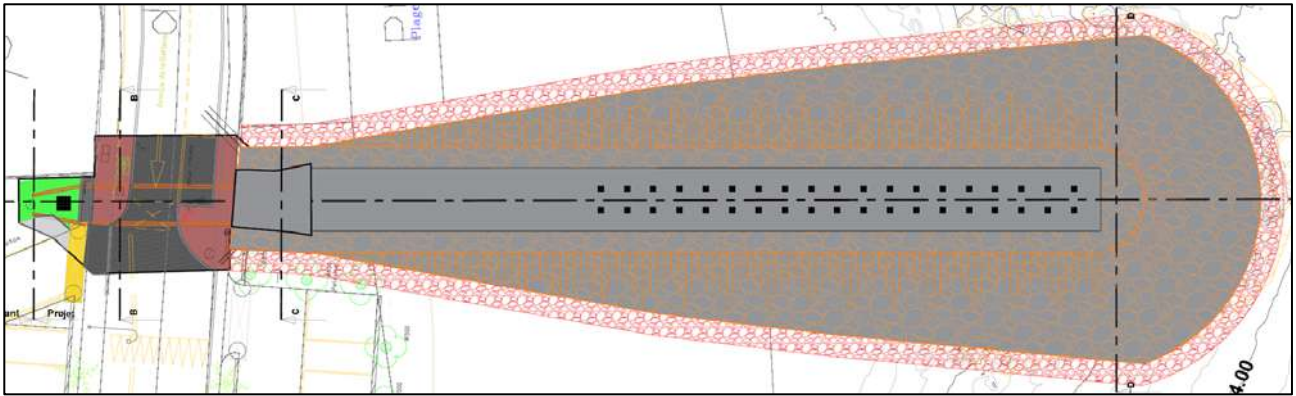
##### ■ Reconstruction de l'épi

- Création d'une piste de chantier en parallèle de l'épi pour réalisation des travaux, y compris démontage et évacuation de la piste après travaux,
- Purge de matériaux pour mise en place des palplanches,
- Fourniture de palplanches,
- Mise en place du rideau de palplanches, y compris recépage éventuel des palplanches,
- Réalisation d'un closoir en béton armé en extrémité des palplanches côté mer,
- Mise en place de remblai entre les palplanches en about d'épi,
- Reprise des enrochements et repose en pied de palplanches,
- Réalisation d'un couronnement de quai en béton armé coulé sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage,
- Réalisation et mise en place de prédalles préfabriquées en béton armé sur toute la largeur coulée sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage et réservation pour événements et parties amovibles en début d'épi,
- Fourniture et mise en place d'événements en inox marin 316L 30\*30,
- Réalisation d'une dalle de compression en béton armé épaisseur 25cm y compris clavetage et partie amovible en début d'épi.

#### 6.1.2.2 - Solution 2 : épi en enrochements avec cadre béton intégré

##### 6.1.2.2.1 - Description de la solution

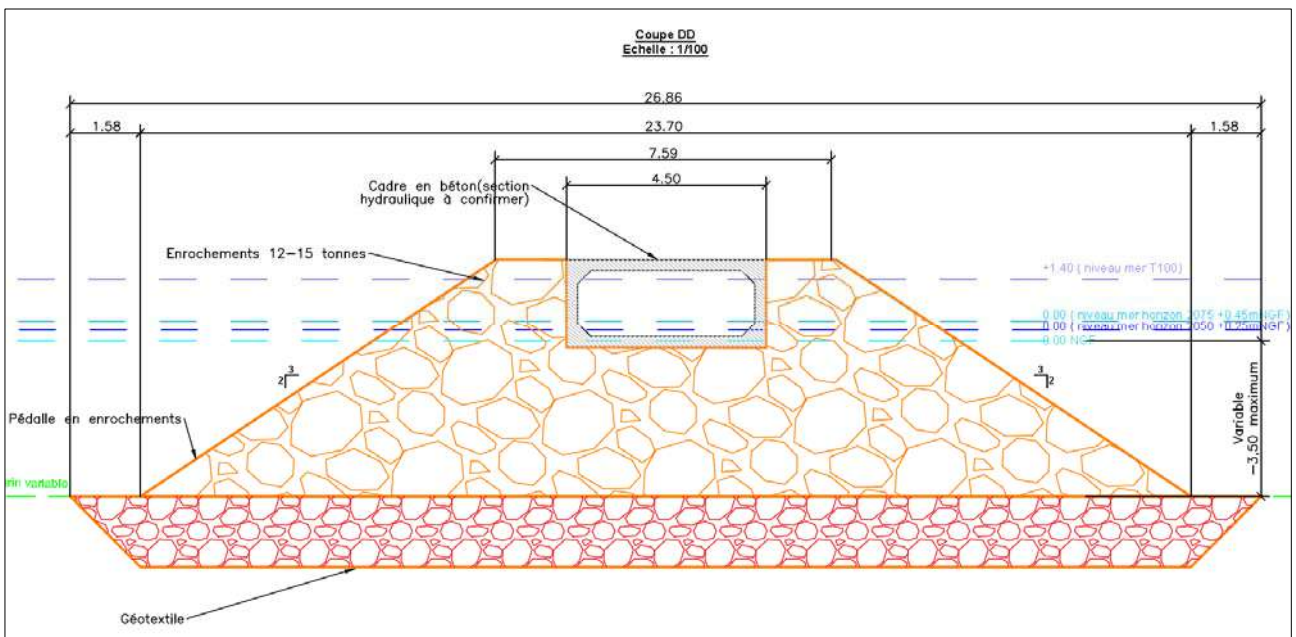
La deuxième solution proposée relative à l'épi en enrochements consiste à réaliser un ouvrage en enrochement au sein duquel un cadre béton préfabriqué ferait office d'exutoire.



**FIGURE 12 : VUE EN PLAN DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES EN ENROCHEMENTS AVEC BUSE INTEGREE – EXTRAIT PLAN CP022**

La géométrie du cadre béton permet d'obtenir une section hydraulique de 5,82 m<sup>2</sup>. A l'instar de la première solution, l'ouverture de l'exutoire en mer se fera perpendiculairement au sens de l'épi. Cela a pour objectif de limiter l'entrée de la houle dans le réseau et donc les remontées d'eaux de mer dans le fluvial.

Un premier dimensionnement des enrochements a été réalisé selon la formule de Van Der Meer. Les premiers résultats indiquent que pour un avoir une stabilité de l'épi avec un niveau de dommage inférieur à 5%, il faut mettre en place des enrochements de catégorie 12-15 tonnes. Si cette solution venait à être retenue, un dimensionnement plus précis des enrochements devra être réalisé.



**FIGURE 13 : COUPE DE PRINCIPE TRANSVERSALE DD DE LA QUATRIEME PARTIE DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES – SOLUTION 2 EPI EN ENROCHEMENTS AVEC CADRE BETON INTEGREE – EXTRAIT PLAN CP022**

De manière identique à la solution 1 décrite précédemment, la partie supérieure du cadre béton, pourra être prévu amovible afin de créer un accès au curage.

Les travaux seront encadrés par des mesures et dispositifs de protection de l'environnement permettant de réduire les nuisances sur le milieu marin. Le chantier devra être confiné au sein d'un filet anti-MES afin de contenir et d'éviter la propagation de la turbidité.

#### 6.1.2.2.2 - Description des travaux

Les travaux détaillés sur l'estimation jointe sont répartis comme suit :



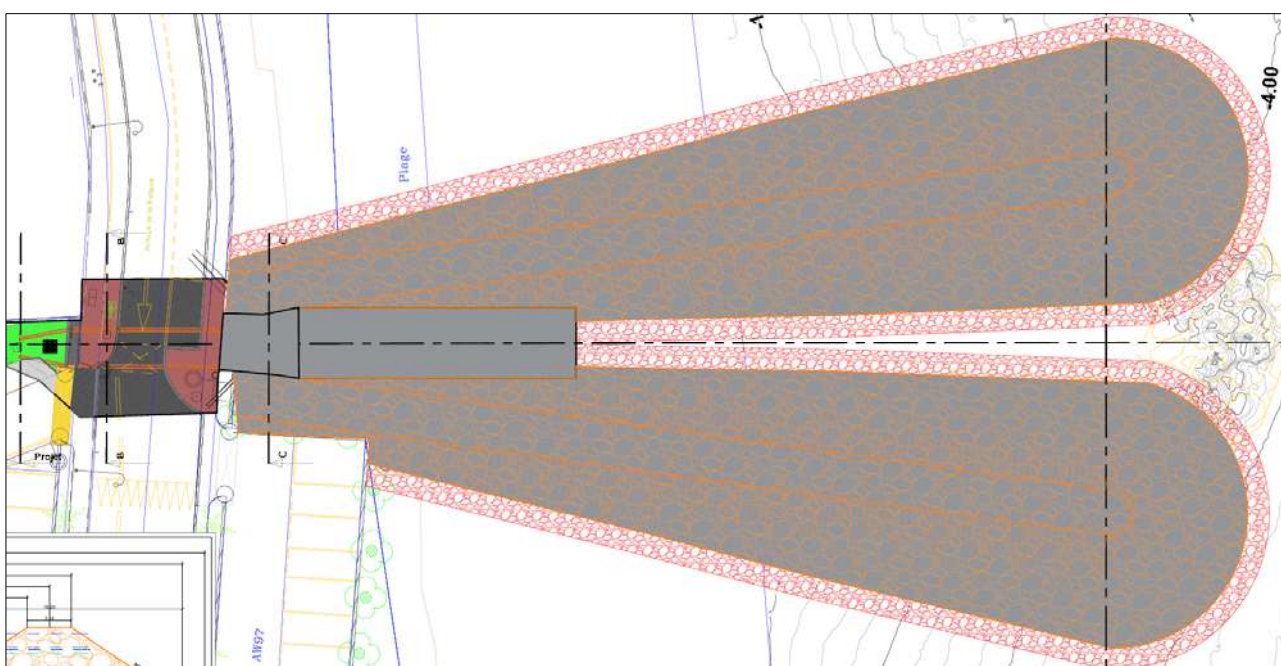
## ■ Reconstruction de l'épi

- Terrassement pour assise épi,
- Fourniture et pose d'un géotextile 500g/m<sup>2</sup>,
- Fourniture et pose de filtre 1000/1500kg,
- Fourniture et pose d'enrochements 12 à 15 tonnes,
- Fourniture et pose de cadre béton préfabriqué de section intérieur 4000\*1500mm et d'épaisseur 250mm avec partie supérieure amovible,
- Fourniture et mise en place d'évents en inox marin 316L 30\*30.

### 6.1.2.3 - Solution 3 : double épi en enrochement avec exutoire à ciel ouvert ;

#### 6.1.2.3.1 - Description de la solution

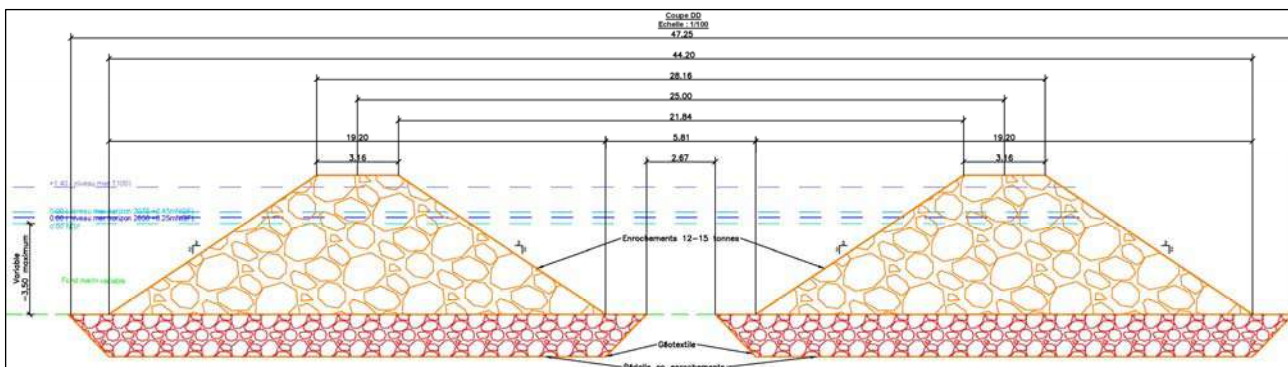
Cette solution consiste à réaliser un exutoire à l'air libre protégé de part et d'autre par deux épis en enrochements.



**FIGURE 14 : VUE EN PLAN DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES – SOLUTION 3 DOUBLE EPI EN ENROCHEMENTS – EXTRAIT PLAN CP032**

En effet, cette solution paraît, d'un premier abord, facile d'entretien. Cependant, elle présente un risque important d'ensablement puisque l'exutoire est directement ouvert vers la mer. De plus, bien qu'à l'air libre, l'accès est contraint par la présence des épis en enrochements.

D'un point de spatial, les épis possèdent des emprises au sol relativement importantes avec un élargissement de l'ouvrage non-négligeable par rapport à l'existant. Également, la plage se verra séparée par les épis et l'exutoire. Un « pont » devra être alors aménager afin de maintenir une continuité piétonne entre les deux parties de la plage. Sur la vue en plan présentée ci-dessus, une buse en béton protège le réseau sur la plage et permet de franchir l'ouvrage.



**FIGURE 15 : COUPE DE PRINCIPE TRANSVERSALE DD DE LA QUATRIEME PARTIE DE L'EXUTOIRE DU VALLON DES MAURETTES – SOLUTION 3 DOUBLE EPI EN ENROCHEMENTS – EXTRAIT PLAN CP032**

Les travaux seront encadrés par des mesures et dispositifs de protection de l'environnement permettant de réduire les nuisances sur le milieu marin. Le chantier devra être confiné au sein d'un filet anti-MES afin de contenir et d'éviter la propagation de la turbidité.

#### 6.1.2.3.2 - Description des travaux

Les travaux détaillés sur l'estimation jointe sont répartis comme suit :

##### ■ Reconstruction de l'épi

- Terrassement sous eau par voie maritime pour assise épi,
- Fourniture et pose d'un géotextile 500g/m<sup>2</sup>,
- Fourniture et pose de filtre 1000/1500kg,
- Fourniture et pose d'enrochements 12 à 15 tonnes,
- Fourniture et pose de cadre béton préfabriqué de section intérieur 4000\*1500mm et d'épaisseur 250mm.

#### 6.1.2.4 - Comparatif des solutions d'exutoire en mer

**TABLEAU 4 : COMPARATIF DES SOLUTIONS**

Solution	Avantages	Inconvénients
Solution 1 : Epi sur palplanches	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emprise au sol limitée (environ 310m<sup>2</sup>)</li> <li>• Esthétique inchangée</li> <li>• Continuité de circulation piétonne sur la plage</li> <li>• Entretien limité sur la structure</li> <li>• Continuité piétonne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curage / entretien par accès</li> </ul>
Solution 2 : Epi en enrochements avec buse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque d'ensablement par la mer limité</li> <li>• Continuité de circulation piétonne sur la plage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible pente</li> <li>• Emprise au sol augmentée (environ 1350m<sup>2</sup>)</li> <li>• Coûts élevés</li> <li>• Taille d'enrochements important pour la stabilité (disponibilité non garantie)</li> <li>• Impact visuel important</li> <li>• Entretien des enrochements régulier</li> <li>• Curage / entretien par accès</li> </ul>

<p>Solution 3 : Double épi en enrochements</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curage / entretien facile (exutoire ouvert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emprise au sol très augmentée (environ 2275 m<sup>2</sup>)</li> <li>• Coûts très élevés</li> <li>• Risque d'ensablement par la mer important</li> <li>• Aménagements complémentaires nécessaires pour continuité de circulation</li> <li>• Taille d'enrochements important pour la stabilité (disponibilité non garantie)</li> <li>• Impact visuel important</li> <li>• Curage entretien régulier</li> <li>• Entretien des enrochements régulier</li> </ul>
--	---	--

Au regard des trois solutions proposées, la solution la plus adaptée aux contraintes (site, environnement, domanialité, ...) est la solution 1 : épi sur palplanches. En effet cette solution permet de maintenir une emprise au sol contenue, avec une structure résistante demandant peu d'entretien.

#### 6.1.2.5 - Solution 4 : épi sur palplanches raccourci

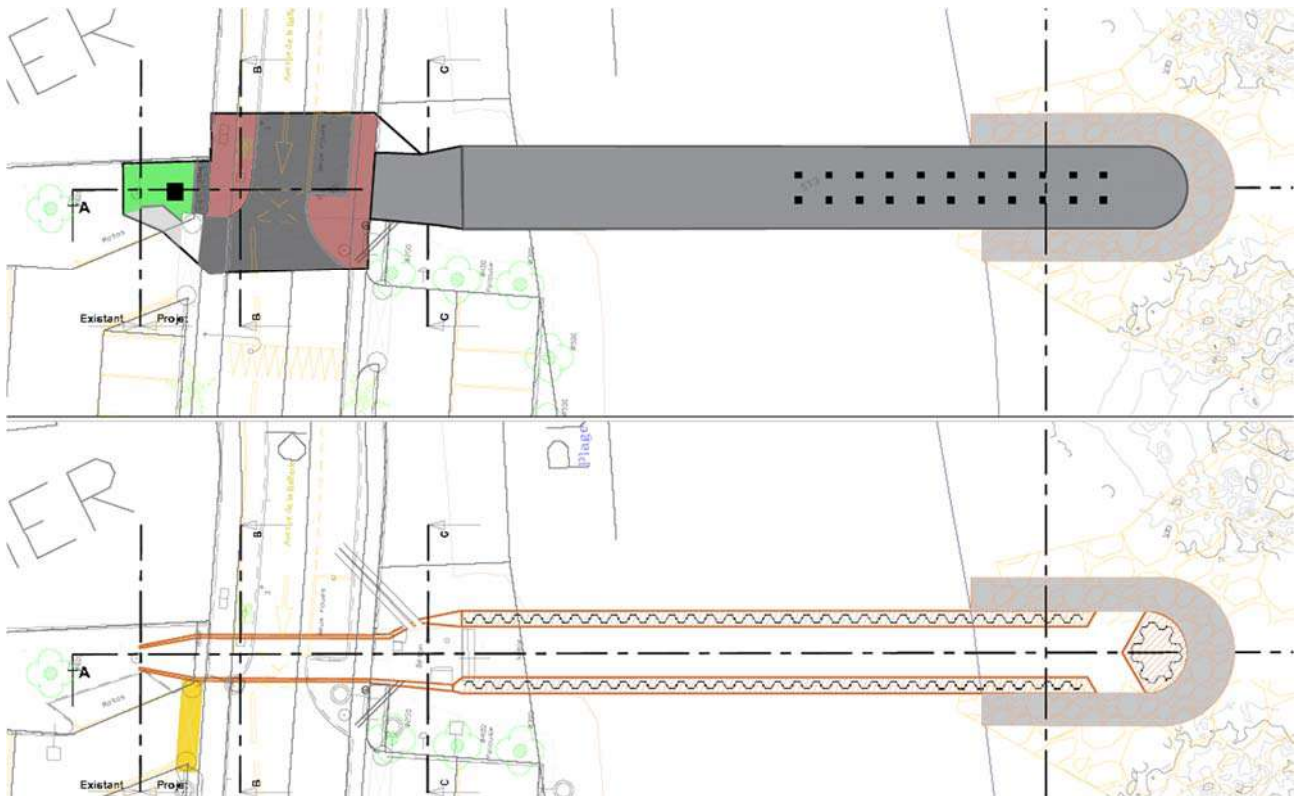
Au regard des études complémentaires à cet Avant-Projet, un raccourcissement de l'ouvrage n'a pas d'impact sur les conditions hydrodynamiques et hydro sédimentaires du secteur. De plus, le raccourcissement de l'épi permet de réduire significativement l'emprise au sol et les coûts de réalisation de l'ouvrage tout en conservant sa principale fonction de l'ouvrage, à savoir l'exutoire du vallon des Maurettes.

##### 6.1.2.5.1 - Description de la solution

La solution 4 présentée ici est basée sur la solution 1 décrite précédemment. L'épi reconstruit sera raccourci de 15m par rapport à l'ouvrage existant. En effet l'épi des Maurettes ne joue pas un rôle prépondérant sur l'engraissement de plage, sa présence permet un maintien des sédiments à son atterrage mais ne permet pas d'engraisser la plage quel que soit sa longueur. De plus, les études de dispersions du panache turbide, réalisées dans le cadre de l'AVP, ont montré qu'il était plus favorable de reconstruire un épi raccourcis, permettant une meilleur dispersion du panache turbide.

La solution d'épi raccourci permet de réduire significativement l'emprise au sol de l'ouvrage passant d'un ouvrage possédant une emprise au sol 239,54 m<sup>2</sup> et de 1033.19 m<sup>2</sup> en tenant compte des enrochements à une emprise au sol de 229m<sup>2</sup> et 303 m<sup>2</sup> en tenant compte des enrochements.

L'élargissement de l'ouvrage d'environ 1,09m est justifiée par la section hydraulique nécessaire pour le vallon. De plus, les palplanches ne peuvent être fichées au même endroit que les existante. Celle-ci sont envisagés à l'extérieur des palplanches existantes afin de correspondre également avec la largeur nécessaire à la section hydraulique.



**FIGURE 16 : VUE EN PLAN DE L'EXUTOIRE PROJET DU VALLON DES MAURETTES EN PAPLANCHES**

#### 6.1.2.5.2 - Description des travaux

Pour la reconstruction de l'épi, deux rideaux de palplanches parallèles seront foncés parallèlement. Chacun de ces rideaux seront coiffés d'une poutre de couronnement en béton armé supportant des prédalles et une dalle de compression en béton armé.

Afin de pouvoir réaliser les travaux, il pourra être envisagé de créer une piste de chantier en parallèle de l'ouvrage permettant de s'affranchir de l'utilisation d'une barge maritime, plus coûteux, plus long et fortement soumis aux aléas climatiques.

Cette piste de chantier provisoire serait créée à l'aide d'enrochements naturels (l'utilisation des enrochements initialement présents sur site) et serait par la suite démontée. Les enrochements seront remis en place en pied d'ouvrage et les matériaux excédentaires seront évacués après la réalisation des travaux afin de restituer le site comme à l'existant.

Les travaux et notamment la mise en place des palplanches seront encadrés par des mesures et dispositifs de protection de l'environnement permettant de réduire les nuisances sur le milieu marin. Le chantier devra être confiné au sein d'un filet anti-MES afin de contenir les éventuelles dispersions de fines, perte de luminosité et d'éviter la propagation de la turbidité. De plus, lors des opérations de battage et vibrofonçage des palplanches, un double rideau à bulle sera mis en place permettant réduire la diffusion de vibrations dans le milieu.

#### 6.1.2.5.3 - Consistance des travaux

Les travaux détaillés sur l'estimation jointe sont répartis comme suit :

##### ■ Reconstruction de l'épi

- Création d'une piste de chantier en parallèle de l'épi pour réalisation des travaux, y compris démontage et évacuation de la piste après travaux,
- Purge de matériaux pour mise en place des palplanches,
- Fourniture de palplanches,
- Mise en place du rideau de palplanches, y compris recépage éventuel des palplanches,

- Réalisation d'un closoir en béton armé en extrémité des palplanches côté mer,
- Mise en place de remblai entre les palplanches en about d'épi,
- Reprise des enrochements et repose en pied de palplanches,
- Réalisation d'un couronnement de quai en béton armé coulé sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage,
- Réalisation et mise en place de prédalles préfabriquées en béton armé sur toute la largeur coulée sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage et réservation pour événements et parties amovibles en début d'épi,
- Fourniture et mise en place d'événements en inox marin 316L 30\*30,
- Réalisation d'une dalle de compression en béton armé épaisseur 25cm y compris clavetage et partie amovible en début d'épi.

## 6.2 - Déconstruction de l'épi

Les travaux pourront être réalisés par voie terrestre en aménageant une piste de chantier provisoire permettant d'atteindre l'about de l'épi. La piste de chantier devra être de largeur suffisante (4m) afin de faire circuler et travailler une grue sur chenilles ou une pelleuse par exemple. La piste de chantier sera démontée à l'avancement du chantier.

La déconstruction de l'épi comprend, la dépose de la protection en enrochements et leur mise en stock provisoire en attente de réemploi sur site. Les matériaux excédentaires seront évacués en décharge agréée. Les éléments en bétons seront découpés, à l'aide de scies à câble, en plusieurs éléments, mis à terre et fractionnés. Les éléments issus de la dépose seront préalablement triés avant d'être évacués en décharge. Les palplanches seront extraites tant que possible du sol. Si l'extraction des palplanches s'avère impossible, ces dernières seront coupées sous le niveau marin.

## 6.3 - Aspect environnemental

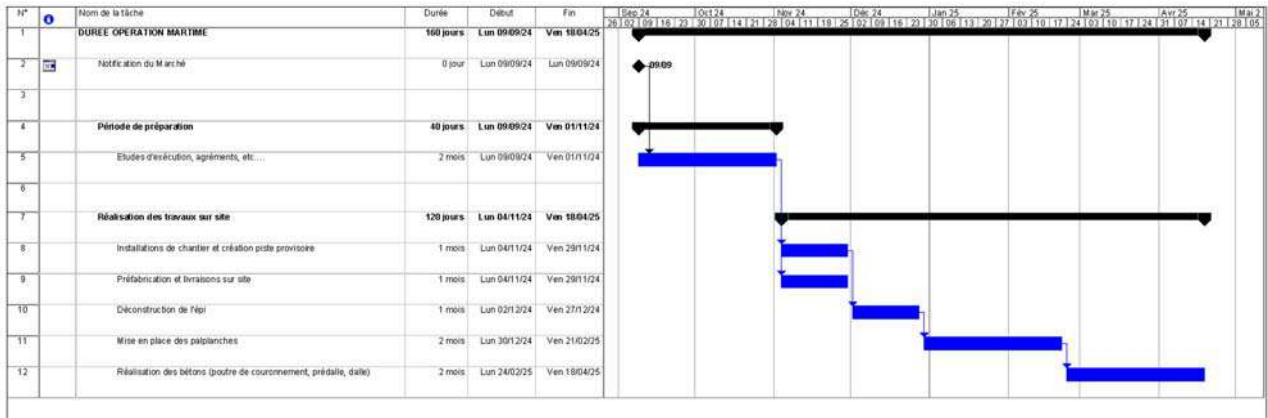
D'un point de vue environnemental, il semble important de maintenir et favoriser le développement de la faune à proximité de l'ouvrage. Dans cette optique, il pourra être mis en place différents modules écologiques à l'intérieur des ouvrages.

De plus, dans le but de protéger les palplanches, il est envisagé remettre en place une protection en enrochement en pied d'ouvrage. Les enrochements seront issus du site, à travers la dépose de la protection existante totalement déstructurée. Ces derniers serviront de niche écologique / nurserie vis-à-vis des juvéniles via des cavités présentes naturellement dans les blocs.

## 6.4 - Délai global de travaux

Quel que soit la solution envisagée, le délai global des travaux est sensiblement similaire. Pour la réalisation des travaux il faut envisager 2 mois de préparation ainsi 6 à 8 mois de travaux sur site, soit une durée globale de l'opération de 8 à 10 mois.

Les travaux réalisés en partie maritime correspondant à la reconstruction de l'estimés ont un délai de réalisation estimé à 6 mois.



**FIGURE 17 : PLANNING DE TRAVAUX MARITIMES**

## 7 - DOSSIERS REGLEMENTAIRES ENVISAGES

Compte-tenu des solutions envisagées, les travaux sont soumis aux dossiers réglementaires suivants :

### 7.1 - Dossiers relatifs au Code de l'Environnement

A ce stade du projet, les dossiers réglementaires à produire au titre du Code de l'Environnement sont les suivants :

- Formulaire d'examen au cas par cas,
- Déclaration au titre de la loi sur l'eau,
- Evaluation des incidences sur les sites Natura 2000.

Aucune espèce protégée ne situe à proximité du projet, les herbiers de Cymodocées se situent à environ 195 m de l'épi. Des mesures de protection seront mises en place (filet antis MES) afin de protéger les biocénoses contre les effets liés aux travaux.

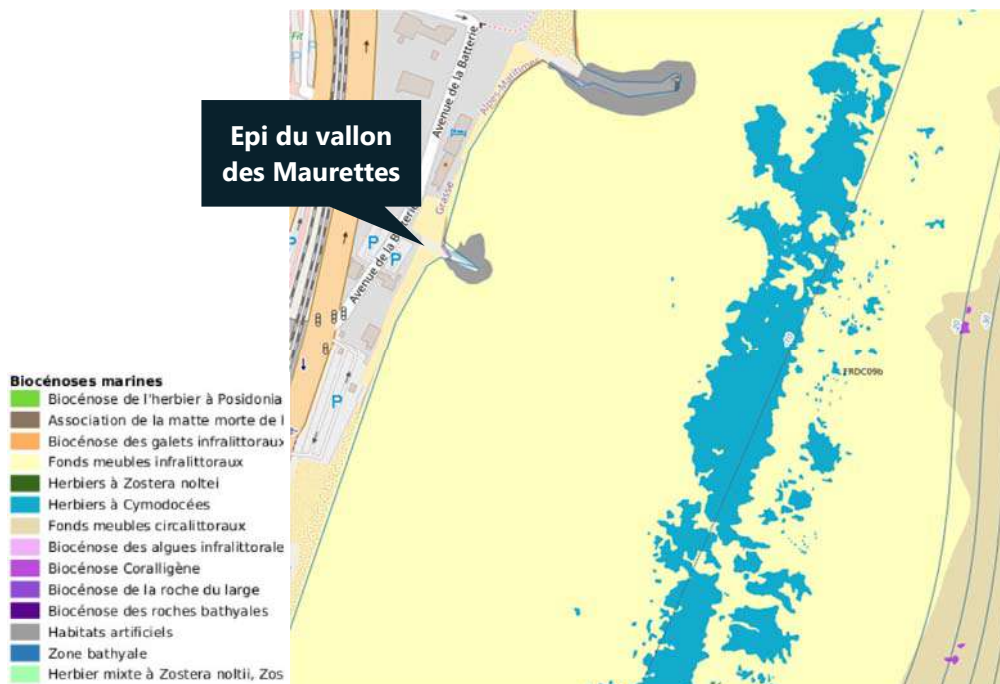


FIGURE 18 : BIOCENOSAS A L'APPROCHE DE L'EPI DU VALLON DES MAURETTES

### 7.2 - Examen au cas par cas

Selon les caractéristiques des travaux de réhabilitation de l'épi, le projet est susceptible d'être soumis à examen au cas par cas selon l'annexe à l'article R. 122-2 du Code de l'Environnement modifié par le décret n°2016-1110 du 11 août 2016 et la rubrique 11.b) Reconstruction d'ouvrages ou aménagements côtiers existants. Ainsi que la rubrique 19. Rejet en mer.

Ainsi, un formulaire de demande d'examen au cas par cas, une fois complété, sera transmis à l'Autorité Environnementale (DREAL PACA).

### 7.3 - Etude d'impact Environnementale

A la suite de la demande d'examen au cas par cas, le projet de réhabilitation des ouvrages est susceptible d'être soumis à étude d'impact.

Le cas échéant, le dossier d'étude d'impact devra être réalisé conformément à l'article R.122-4 du code de l'environnement et devra prendre en compte l'ensemble du programme d'aménagement.

### 7.4 - Dossier au titre de la Loi sur l'Eau

Compte tenu de la proximité du projet avec le milieu marin et en vertu de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques et des décrets d'application n° 2006-880 et n° 2006-881 du 17 juillet 2006, relatifs :

- Aux procédures de déclaration et d'autorisation,
- À la nomenclature des opérations soumises à déclaration ou à autorisation, intégrés dans le code de l'environnement (articles L.122-1, L.122-3 et 4 ; L.123-1 et R.123-1), le projet d'aménagement de l'extrémité de deux épis, entre dans la rubrique 4.1.2.0 de la nomenclature définie par le décret n° 2006-881 précité :

« Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu :

- D'un montant supérieur ou égal à 1 900 000 euros (A) ;
- D'un montant supérieur ou égal à 160 000 euros mais inférieur à 1 900 000 euros (D). »

Dans la mesure où les travaux projetés sont, selon la solution retenue, d'un montant prévisionnel inférieur à 1 900 000,00 € TTC, ils relèvent d'un dossier de Déclaration. Si le montant prévisionnel des travaux projeté est supérieur à 1 900 000,00 € TTC, ils relèvent alors d'un dossier d'Autorisation.

### 7.5 - Notice d'incidences Natura 2000

L'épi exutoire du vallon des Maurettes est situé à proximité (250 m) du site Natura 2000 Directive habitat FR9301573 Baie et cap d'Antibes – Ile de Lérins.

Le site Natura 2000 Directive Oiseau FR9312002 Préalpes de Grasse situé à environ 1500 m de l'ouvrage.



FIGURE 19 : SITE NATURA 2000 A PROXIMITE DE L'EPI DU VALLON DES MAURETTES



Le projet étant soumis à un dossier Loi sur l'Eau, il doit faire l'objet d'un formulaire d'évaluation des incidences Natura 2000 (articles R.414-19 4° et R.414-21 du code de l'environnement).

Ainsi, afin de montrer :

- La prise en compte notamment des sites classés NATURA 2000 les plus proches,
- L'absence d'effet négatif des travaux et du projet sur ces sites et les éventuelles espèces protégées NATURA 2000,

Un **formulaire d'évaluation simplifié des incidences NATURA 2000** sera joint au dossier Loi sur l'Eau.

## 7.6 - Dossiers relatifs au Code du CGPP

L'épi exutoire du vallon des Maurettes fait l'objet d'une concession à titre gratuit du DPM hors port de la commune de Villeneuve-Loubet. Les travaux ne vont pas entraîner d'augmentation de surface en dehors de la concession.

Il n'y a donc pas de démarche spécifique à mener au titre de la domanialité, pour autant, ces informations spécifiques seront présentées dans le dossier Loi sur l'Eau.

## 7.7 - Dossiers relatifs au Code de l'Urbanisme

L'ouvrage se situe dans le périmètre du site inscrit « Le littoral Ouest de Nice à Théoule-sur-Mer ».

Selon l'article L341-1 du code de l'environnement, «Tout projet de modification de l'état des lieux, à l'exception des travaux d'entretien normal des constructions ou d'exploitation courante des fonds ruraux, doit être porté à la connaissance de l'Administration 4 mois à l'avance », le classement en site inscrit de la Bande côtière de Nice à Théoule, va entraîner une consultation pour avis du Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine, par la MISE 06, lors de l'instruction du dossier de Déclaration Loi sur l'Eau.

Ainsi, dans le dossier de Déclaration, un volet sera consacré **aux sites classés au titre du code de l'urbanisme et aux effets visuels de la solution envisagée.**

## 8 - CONCLUSION

Afin de poursuivre la mission PRO, le maître d'ouvrage indiquera vers quelle solution il souhaite s'orienter. Il pourra également indiquer si l'ensemble des prestations détaillées seront validées, ou si certaines d'entre-elles ne seront pas retenues, s'il souhaite également que le bureau d'études continue ces études pour la réalisation des dossiers règlementaires et du PROJET.

Au regard des différentes solutions étudiées au cours de cet avant-projet, il est préconisé de s'orienter vers la solution 4 : épi en palplanches raccourci, de même nature que l'existant.

## EGIS EAU Siège Social

889, rue de la Vieille Poste  
CS 89017  
34965 MONTPELLIER Cedex 2

Tél. : 04.67.13.90.00  
Fax : 04.67.13.93.93

[www.egis.fr](http://www.egis.fr)




**Maître d'Ouvrage :**



C.A.S.A.  
Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis  
181 Centre  
449 Route des crêtes - BP 43  
Sophia Antipolis Cedex

**Maître d'Ouvrage :**



egis  
Egis EAU (Mandatiste)  
100 Rue du Général de Gaulle  
92000 Nanterre Cedex

ICTP  
Ingénierie Consultants Travaux Publics  
204 Centre Kéroullec  
92075 Saint-Laurent de la Rivière  
Email: ictp@egis.fr

**Mission :**  
Accord cadre de maîtrise d'oeuvre sur les ouvrages et réseaux pluviaux, ouvrages littoraux et ouvrages Gemapi

Carnet de coupes de principe de reprises de l'exutoire du vallon des Maurettes sur la commune de Villeneuve-Loubet  
Solution 1 : Epi sur palplanches

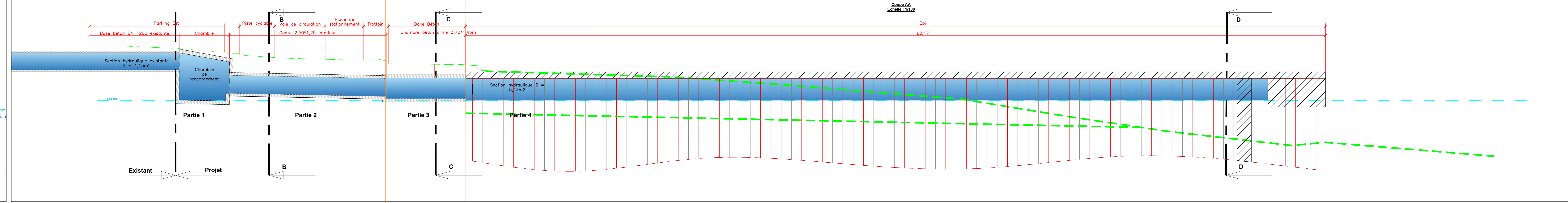
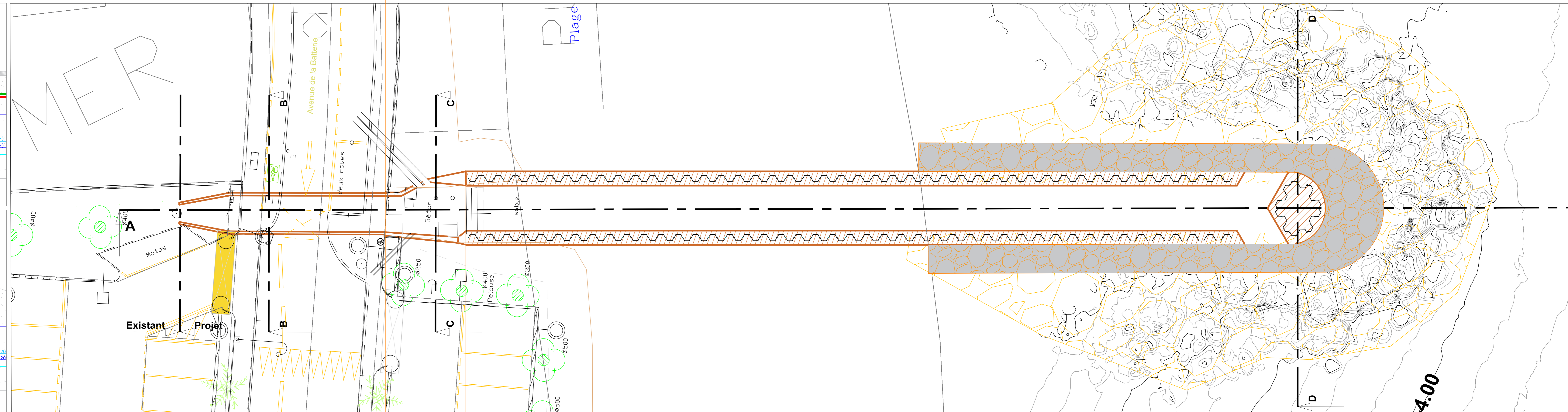
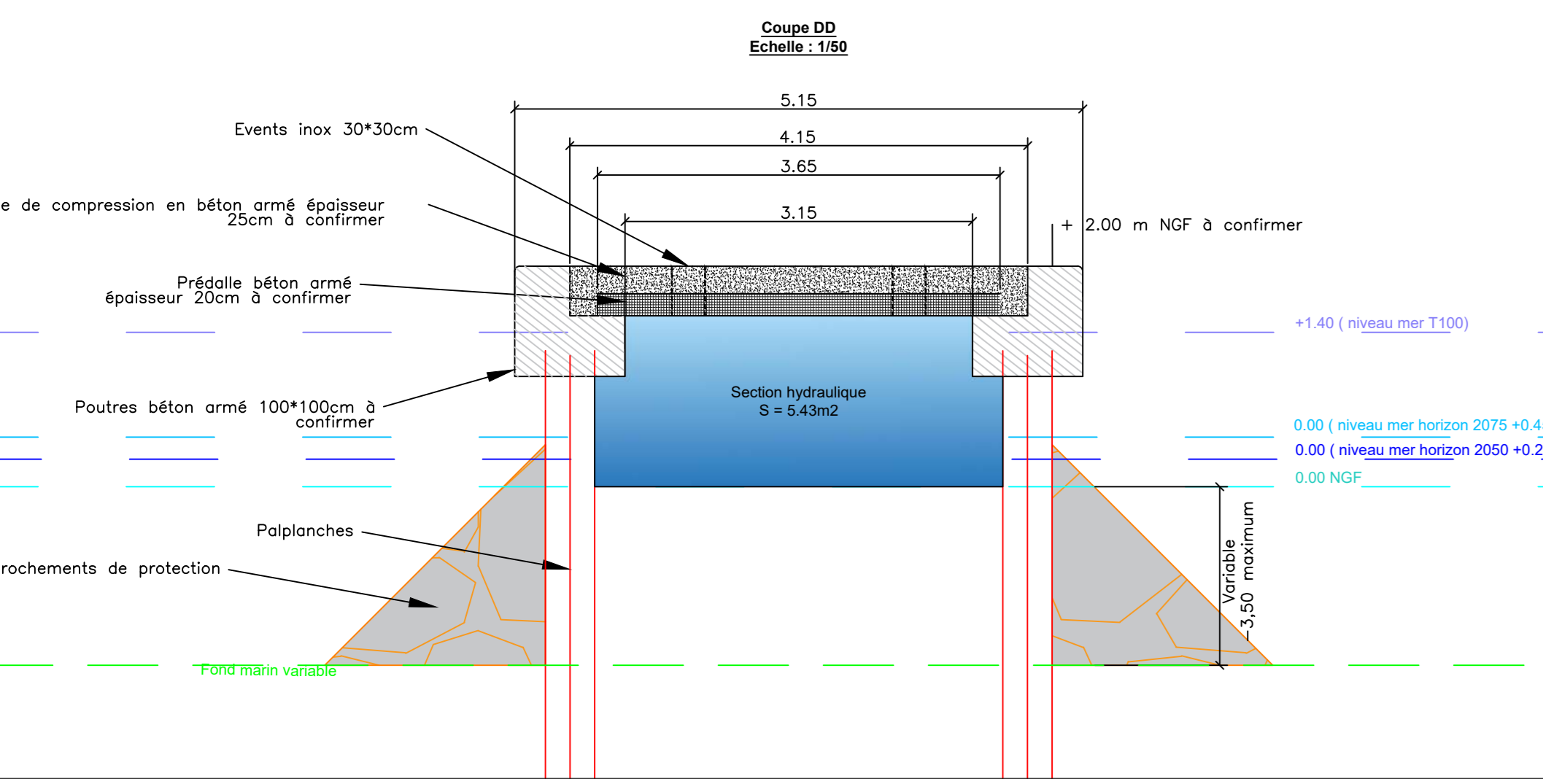
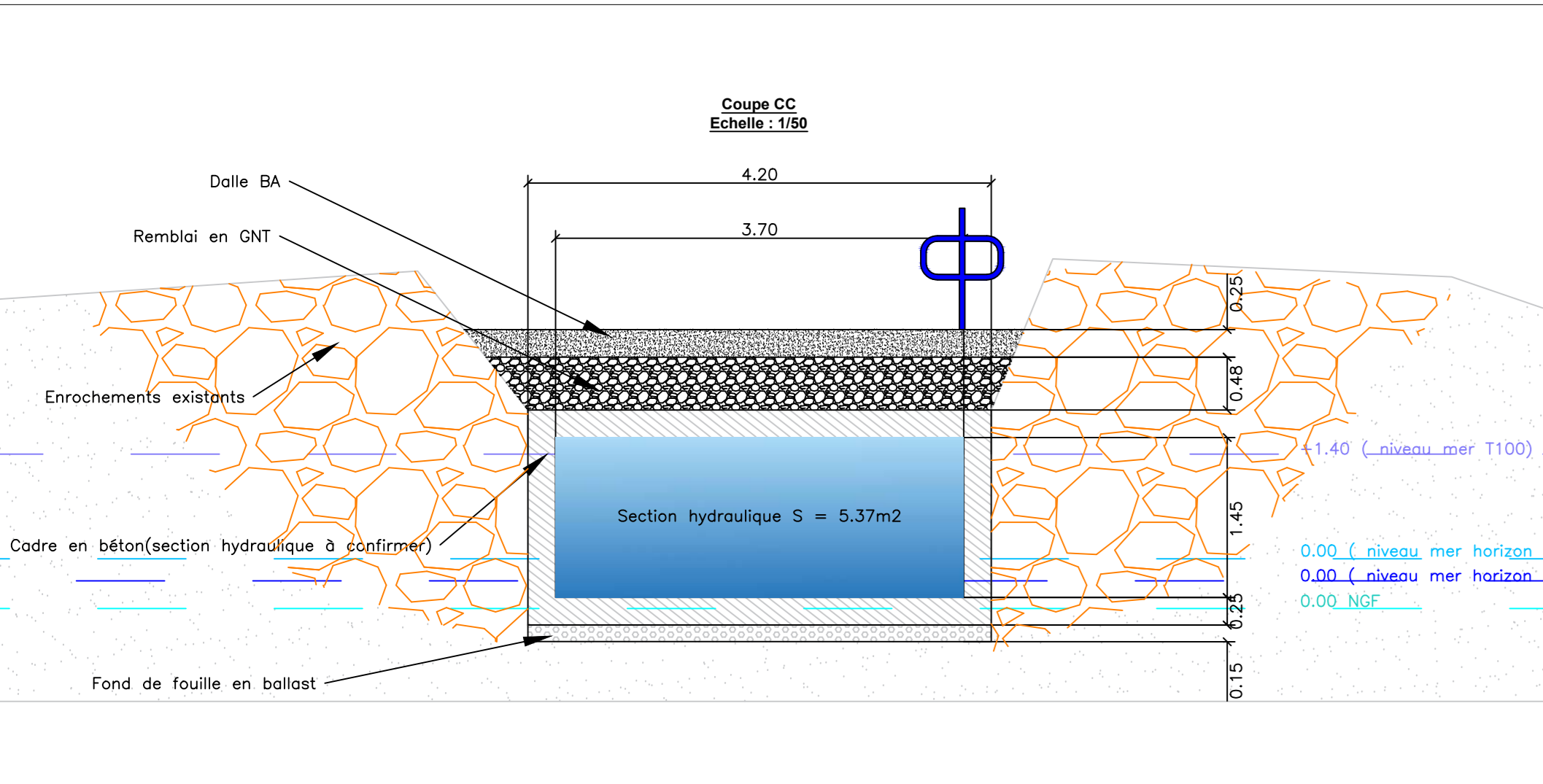
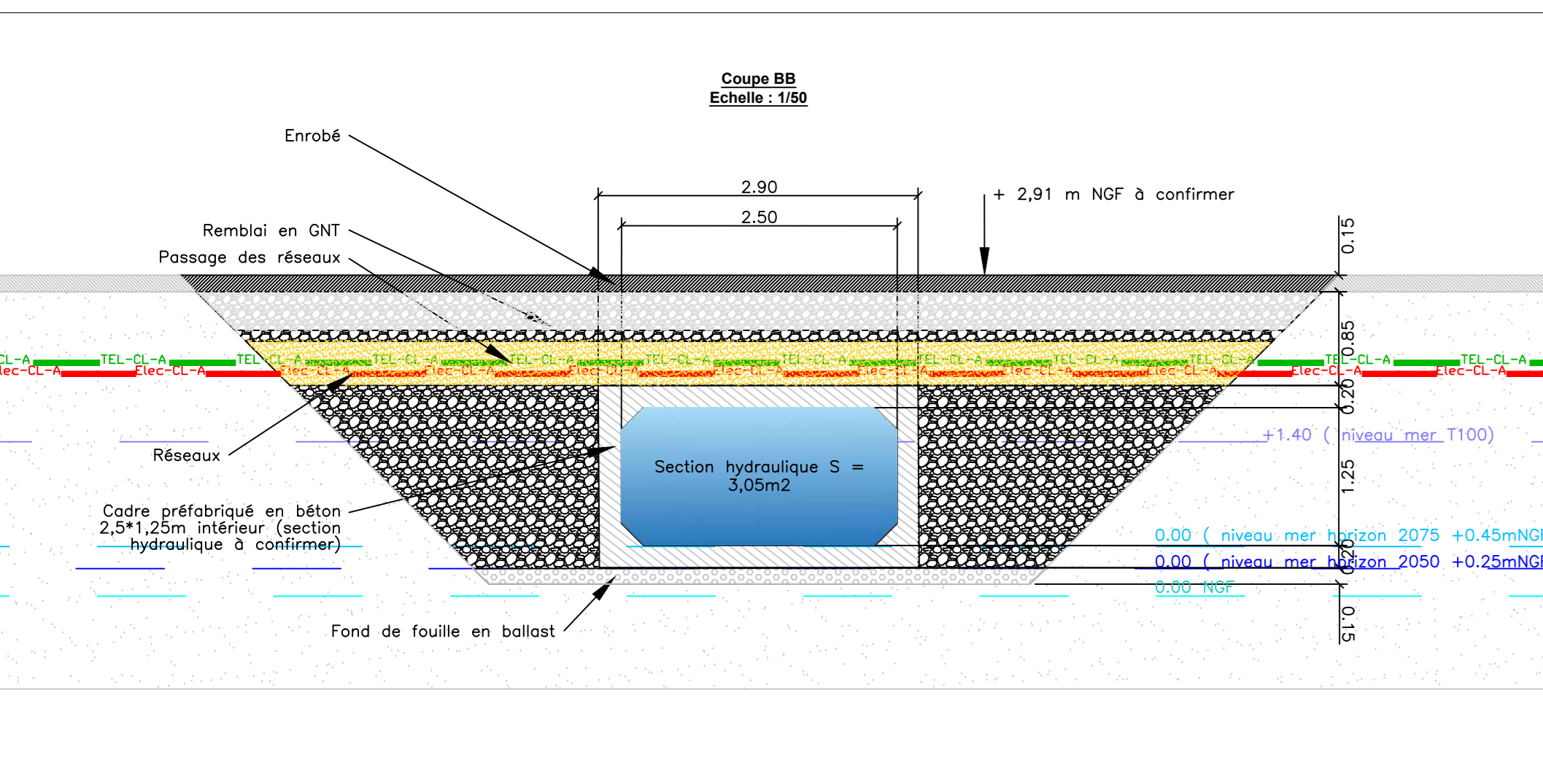
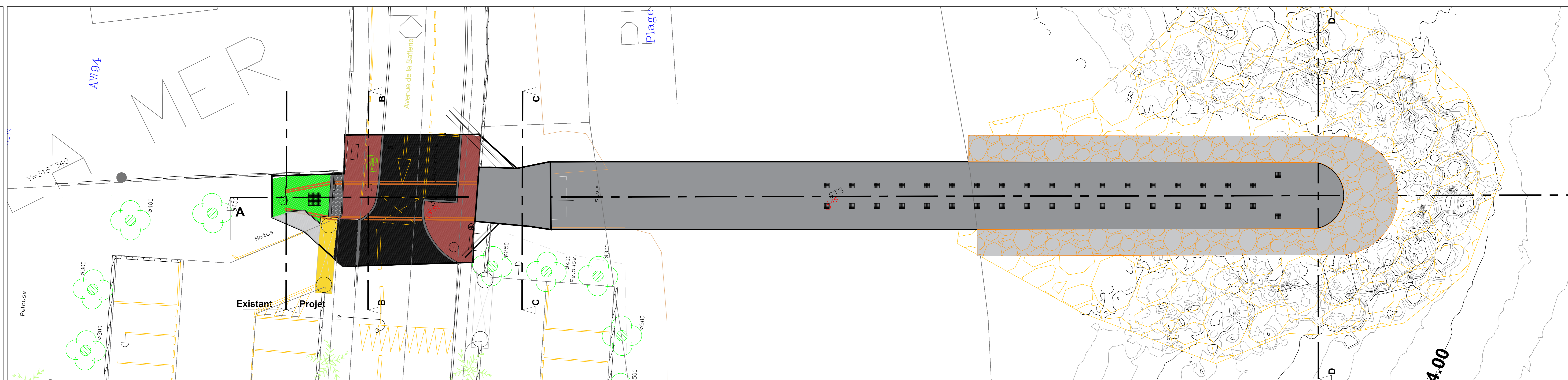
Indice	Modifications apportées	Date
A	Première émission	28 juillet 2023

Phase :	AVP
Numéro du PLAN :	CP 012
Echelle :	Diverses
Indice :	A


  

Numéro d'Affaire :	2 0 3 9	Référence du PLAN :	A V P C P 0 1 2 A
--------------------	---------	---------------------	-------------------



Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis

**Maître d'Ouvrage :**

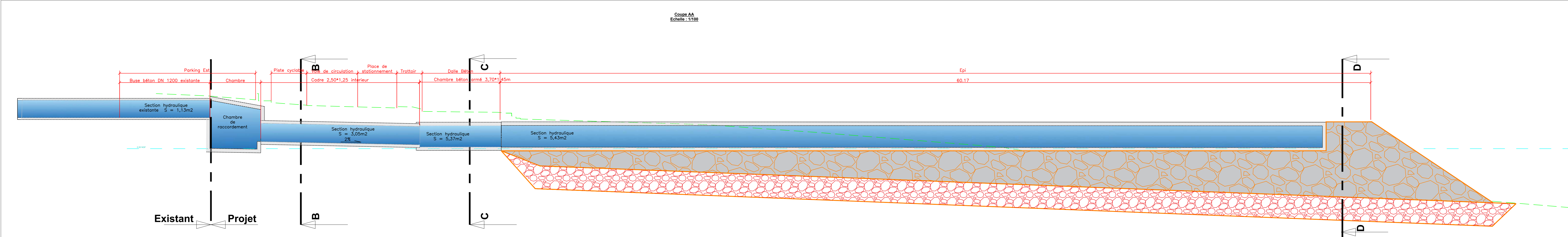
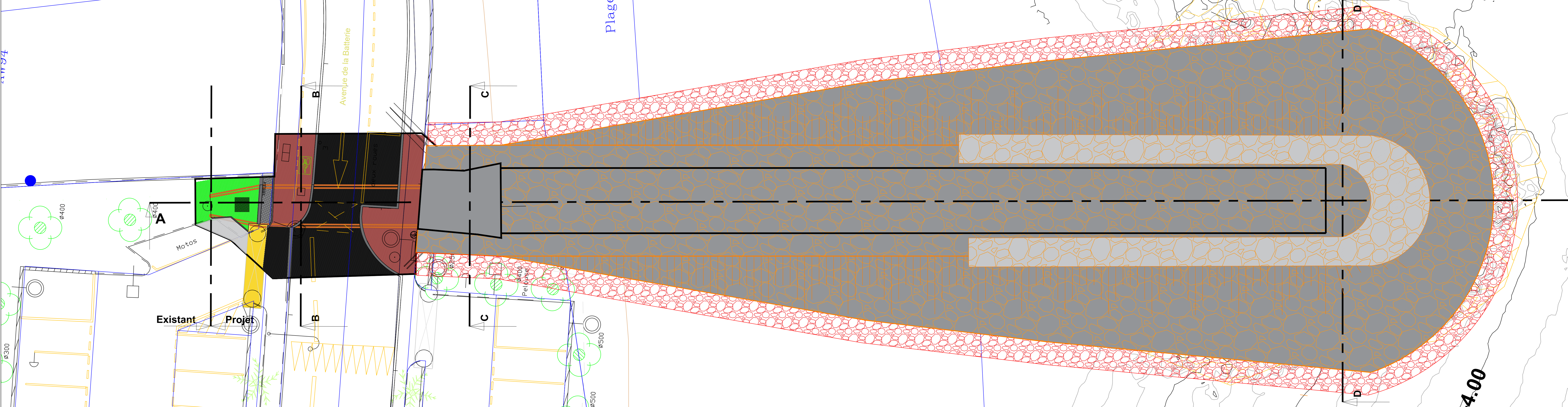
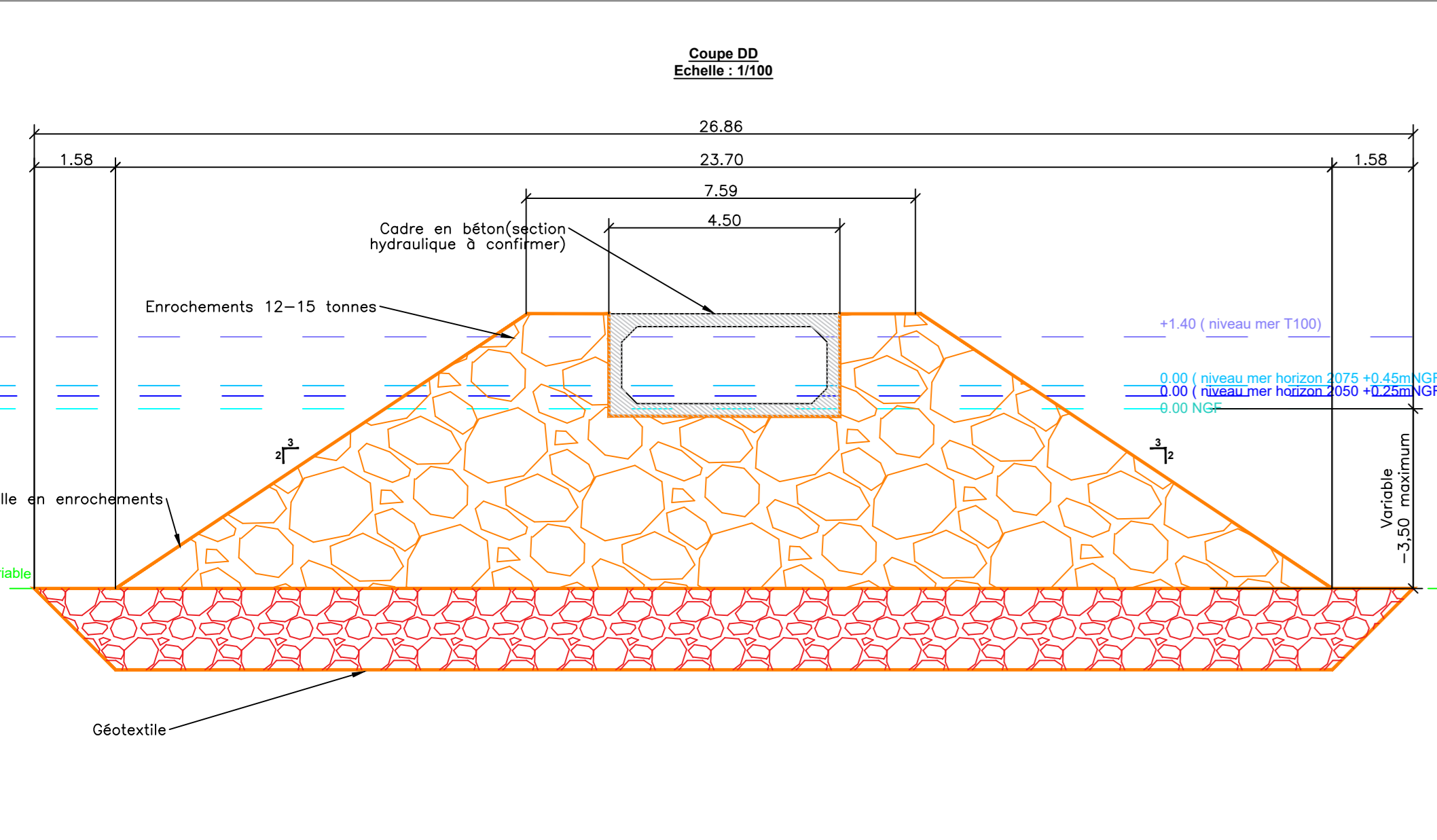
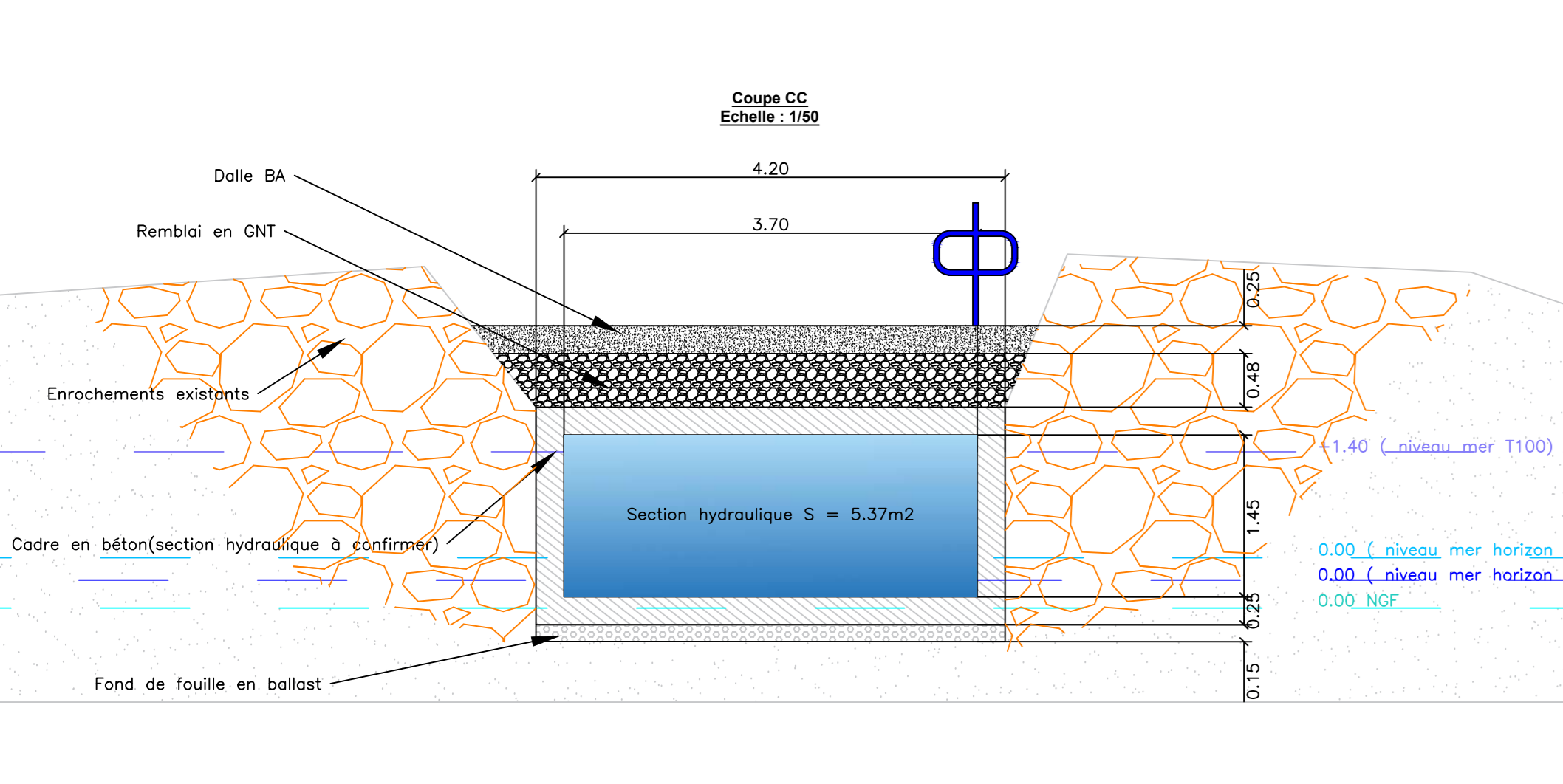
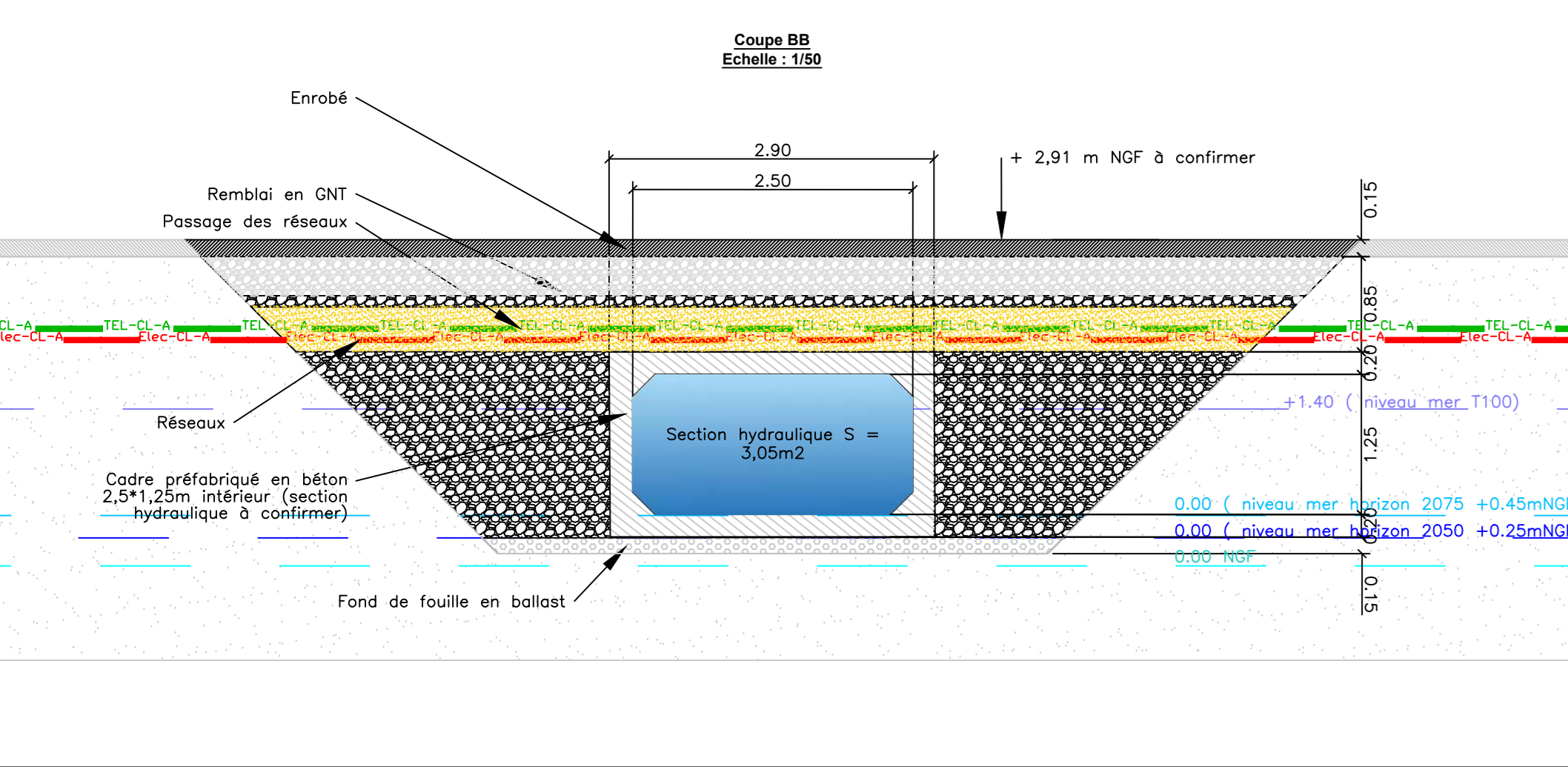
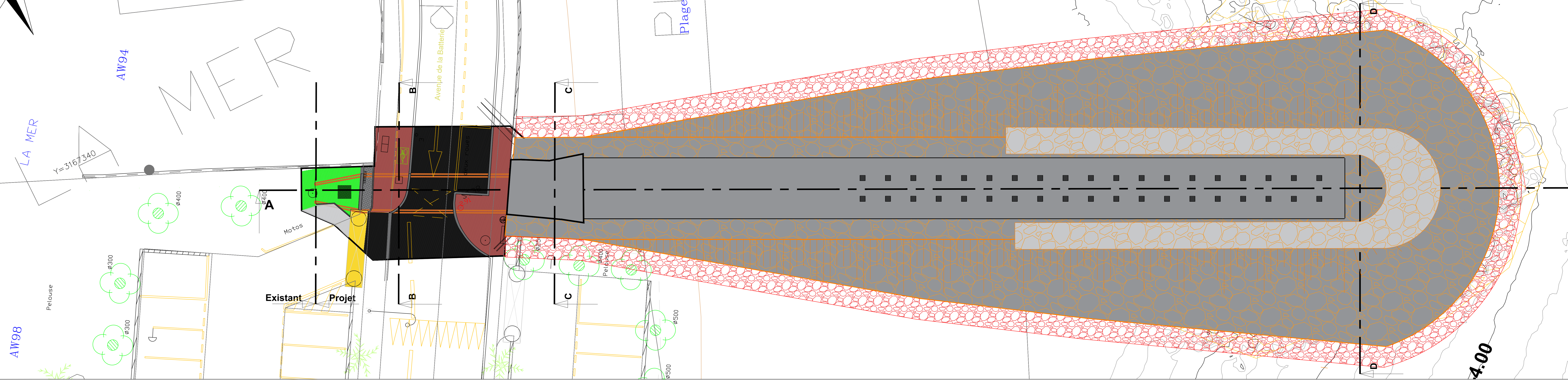


**Mission :**  
Accord cadre de maîtrise d'oeuvre sur les ouvrages et réseaux pluviaux, ouvrages littoraux et ouvrages Gemapi


**Carnet de coupes de principe de reprises de l'extutoire du vallon des Maurettes sur la commune de Villeneuve-Loubet**  
Solution 2 : Epi en enrochements

Indice	Modifications apportées	Phase	Date
A	Première émission	AVP	28 juillet 2023
Numéro du PLAN : CP 022		Echelle : Indice : A	
Diverses			

Numéro d'Affaire : 2 0 3 9    Référence du PLAN : A V P C P 0 2 2 A




**Maître d'Ouvre :**



C.A.S.A.  
Communauté d'Agglomération Sophia Antipolis  
Site Centre  
449 Route des crêtes - BP 43  
Sophia Antipolis Cedex

**Maître d'Ouvre :**



Egis EAU (Mansourine)  
200 Rue du Général de Gaulle  
92000 Nanterre Cedex

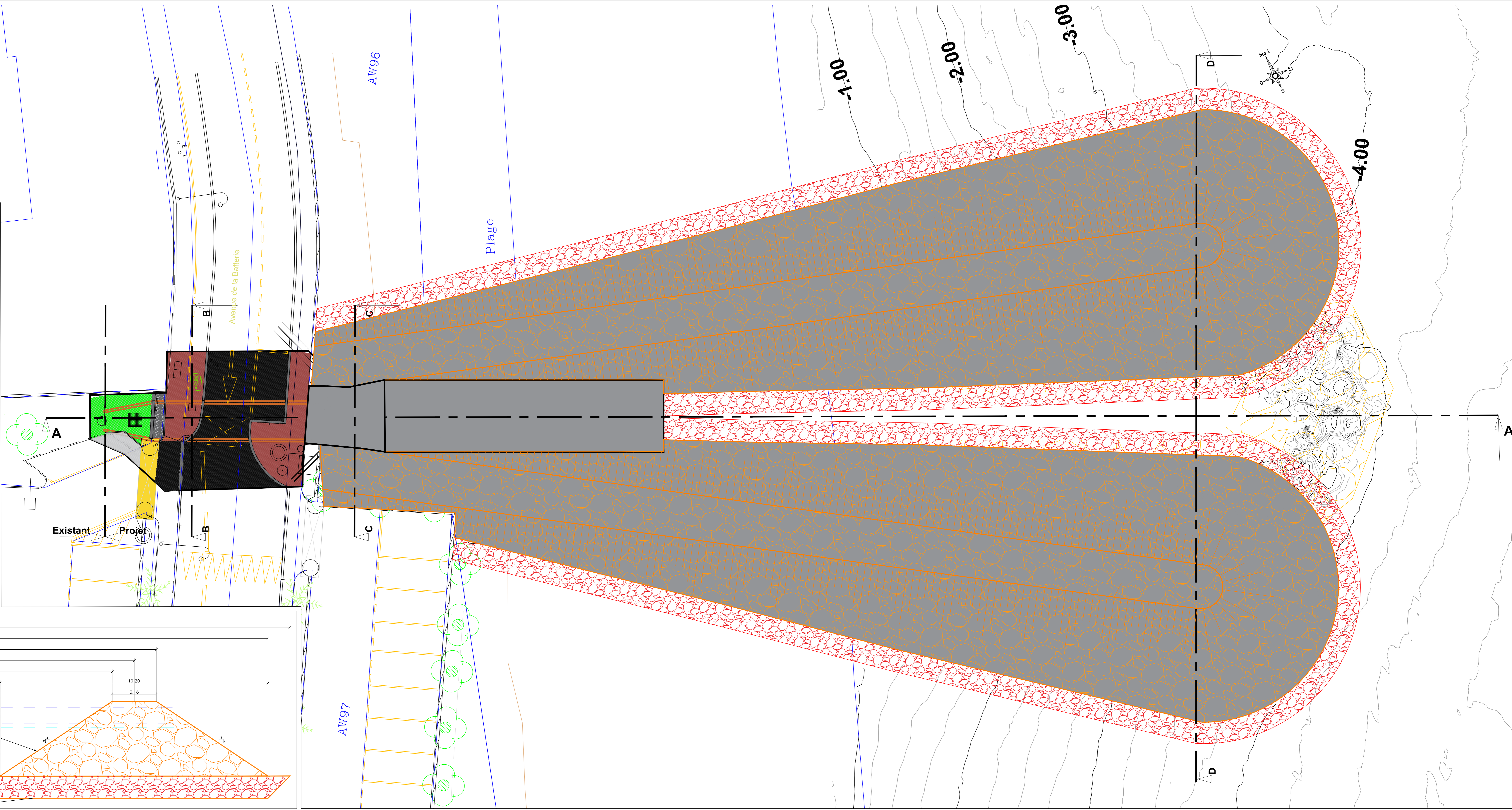
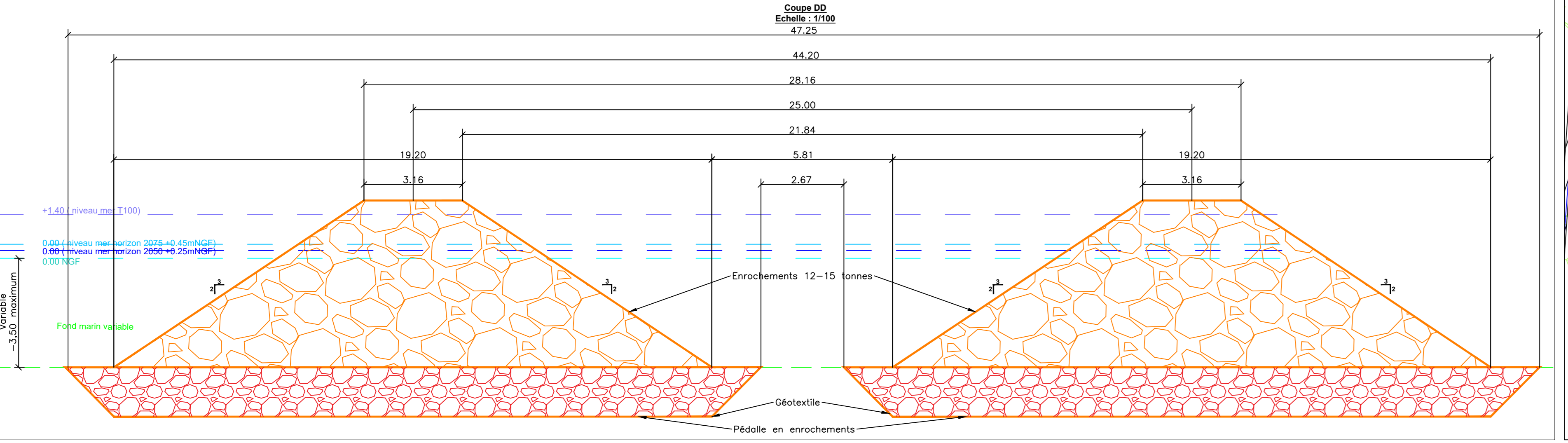
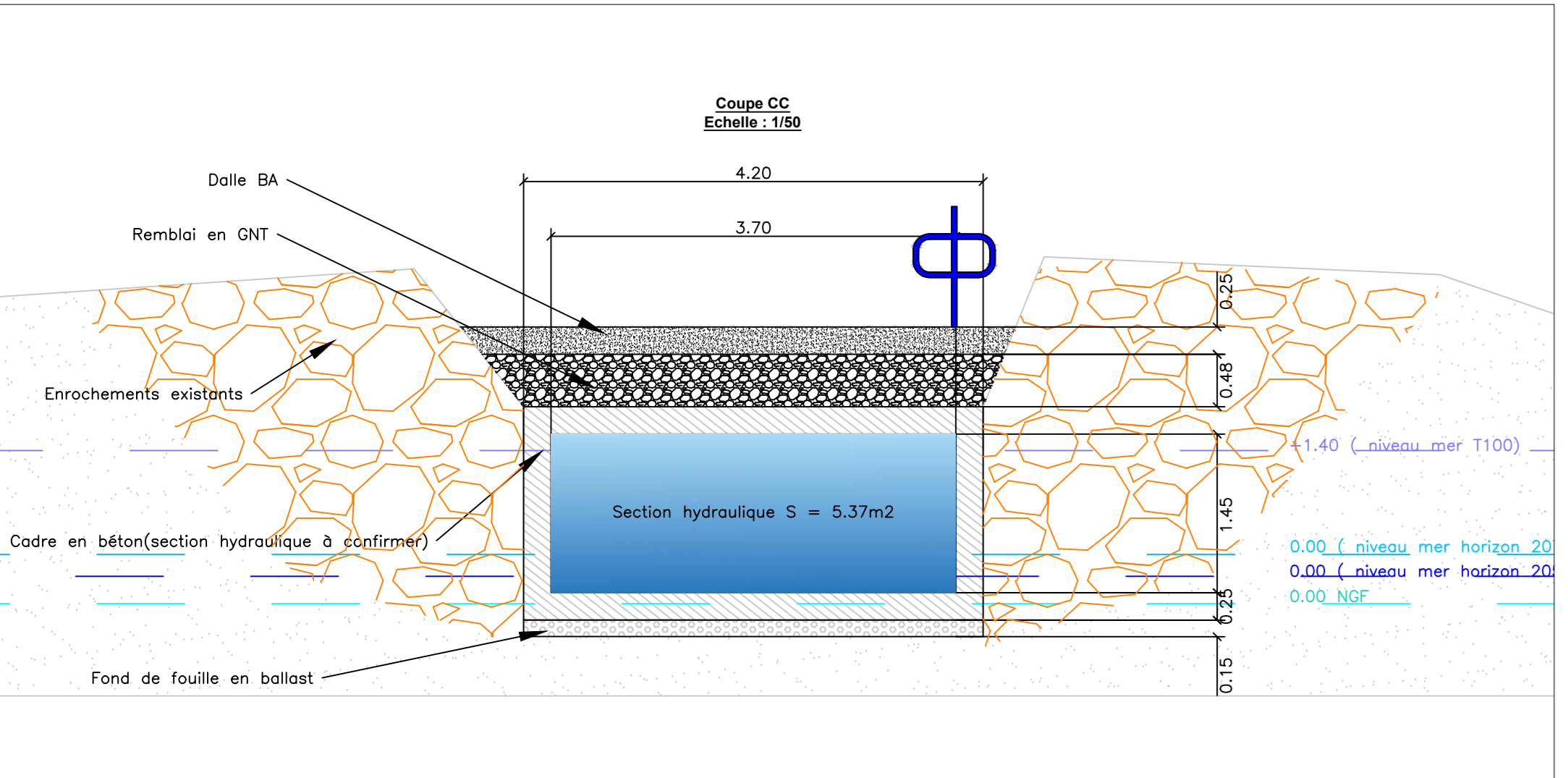
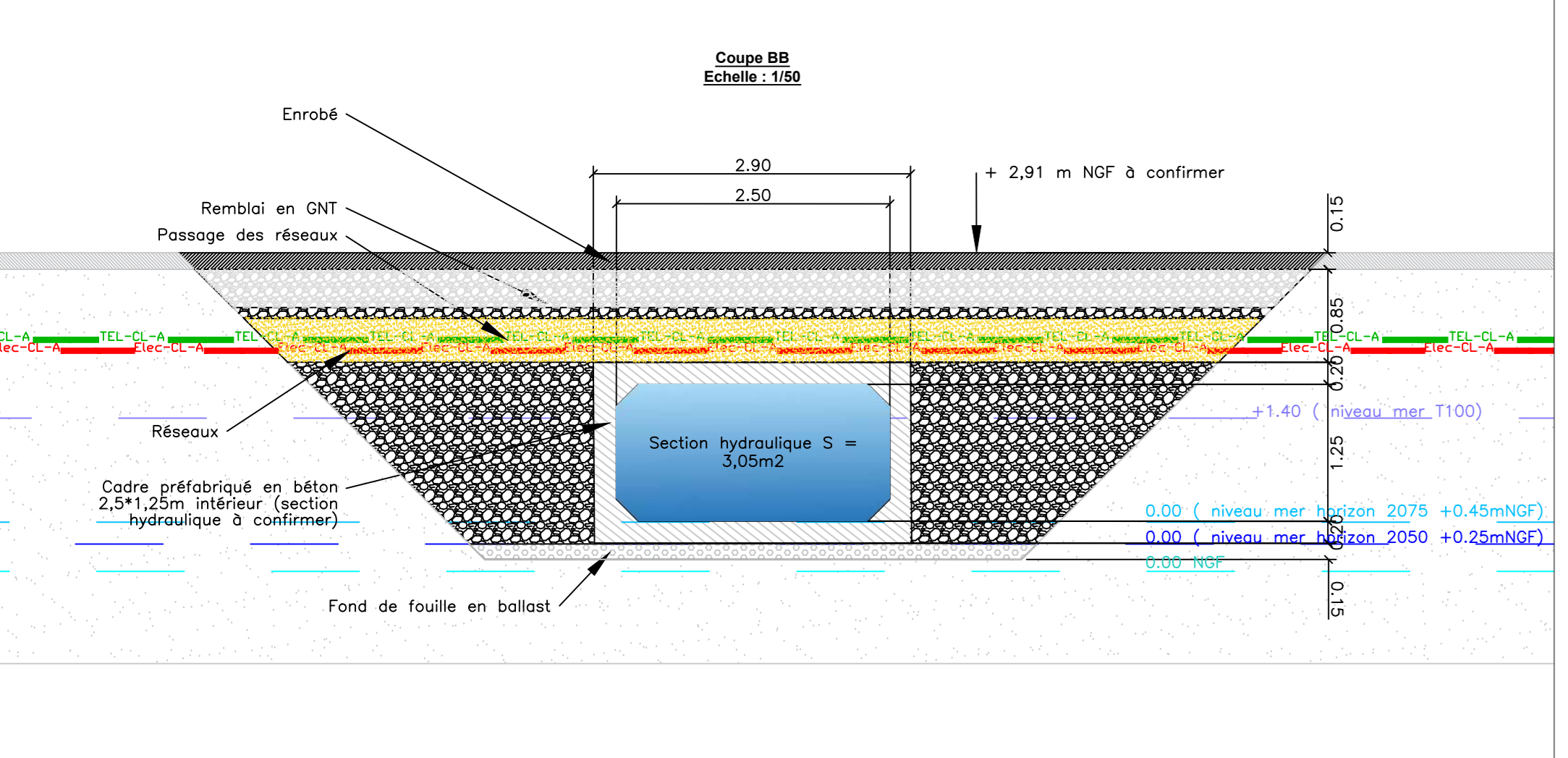
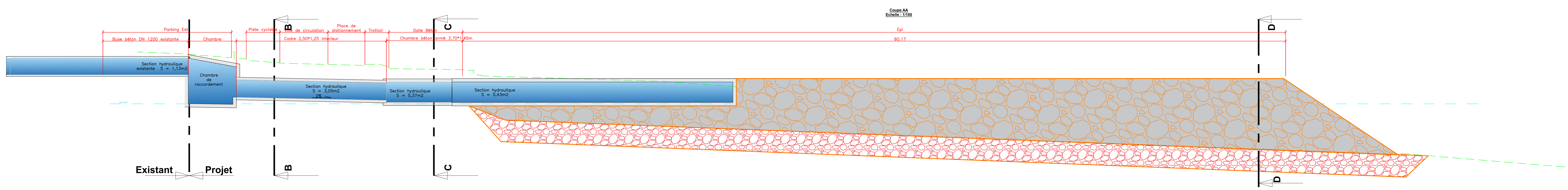
ICTP  
Ingénierie Consultants Travaux Publics  
200 Centre d'Innovation  
92000 Nanterre Cedex

**Mission :**  
Accord cadre de maîtrise d'oeuvre sur les ouvrages et réseaux pluviaux, ouvrages littoraux et ouvrages Gemapi

Carnet de coupes de principe de reprises de l'exutoire du vallon des Maurettes sur la commune de Villeneuve-Loubet+  
Solution 3 : Double épi en enrochements

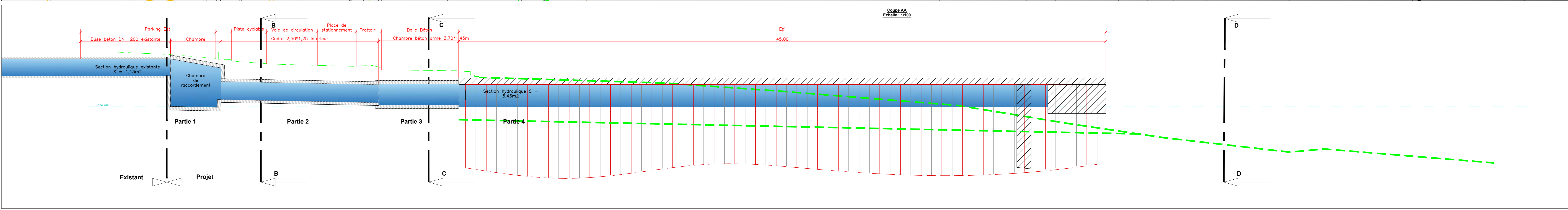
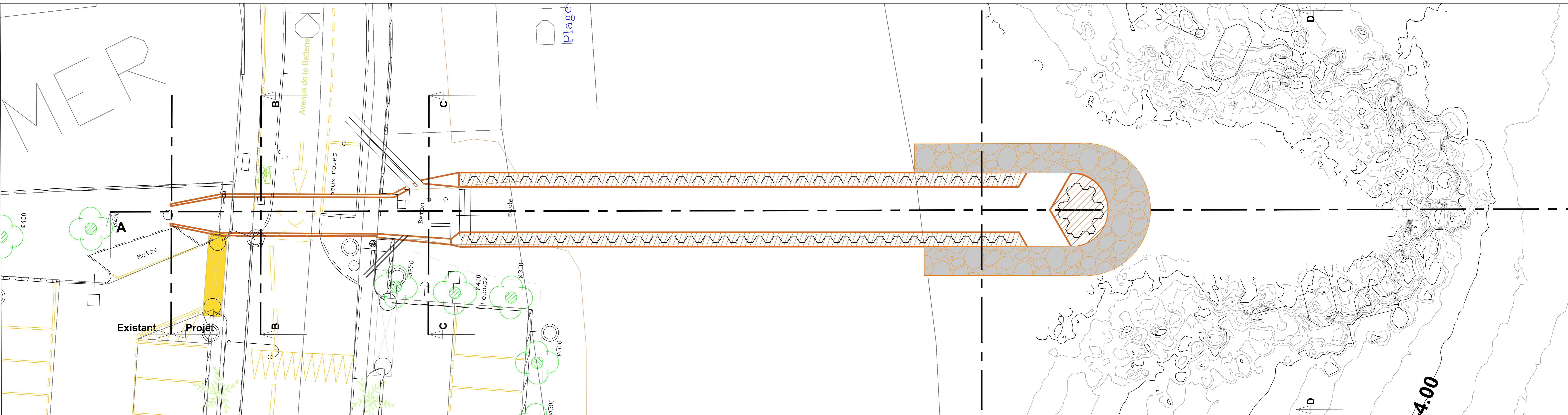
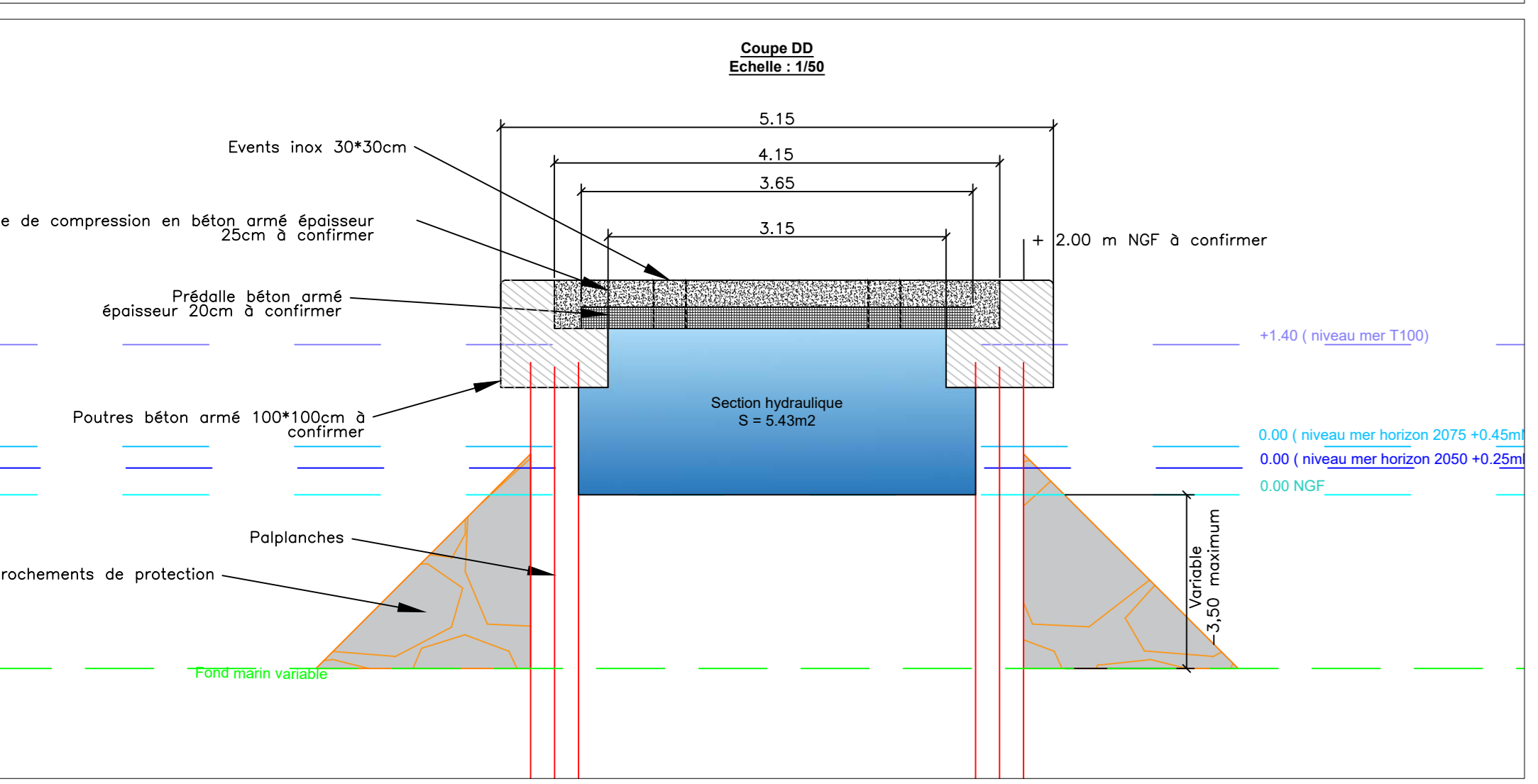
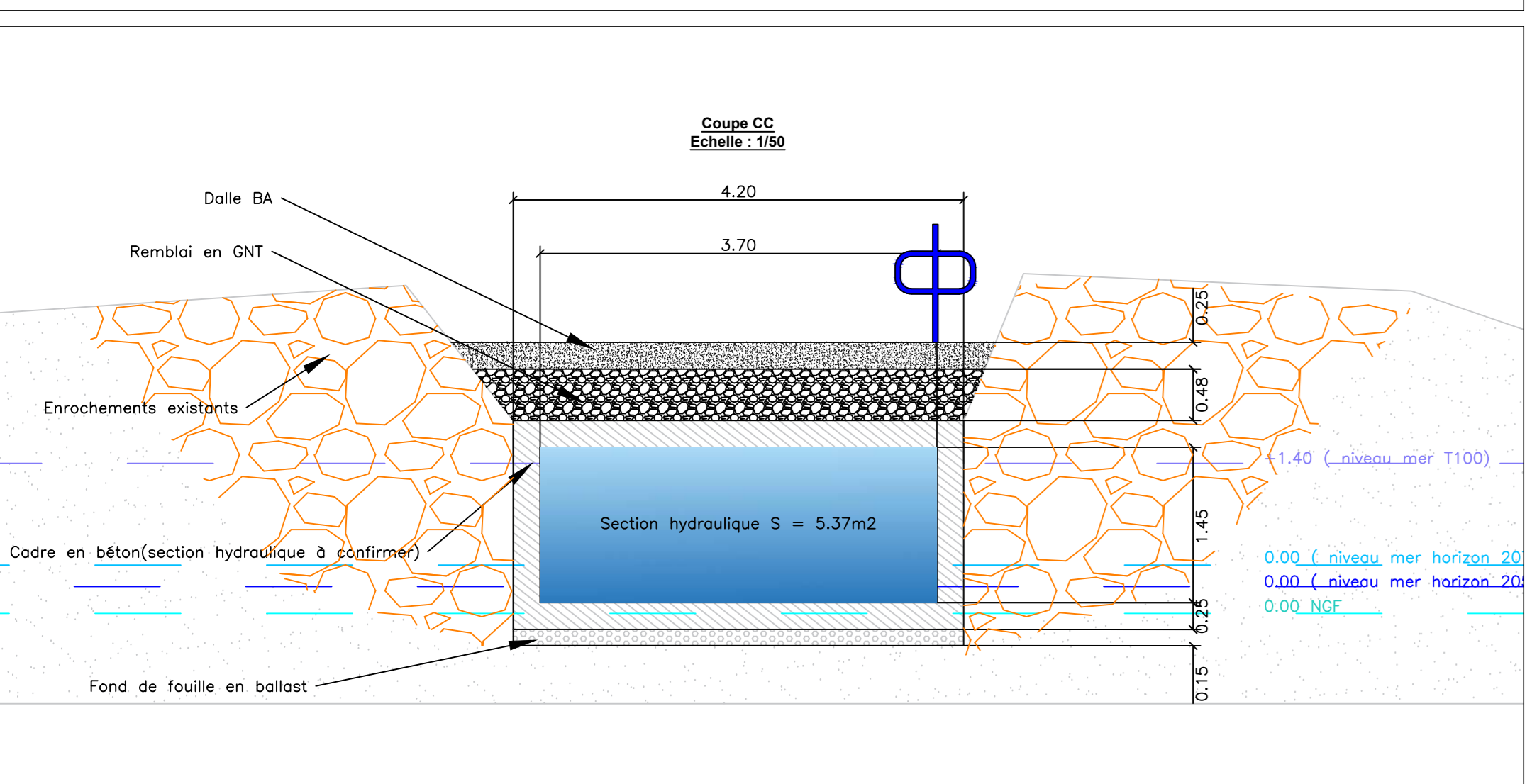
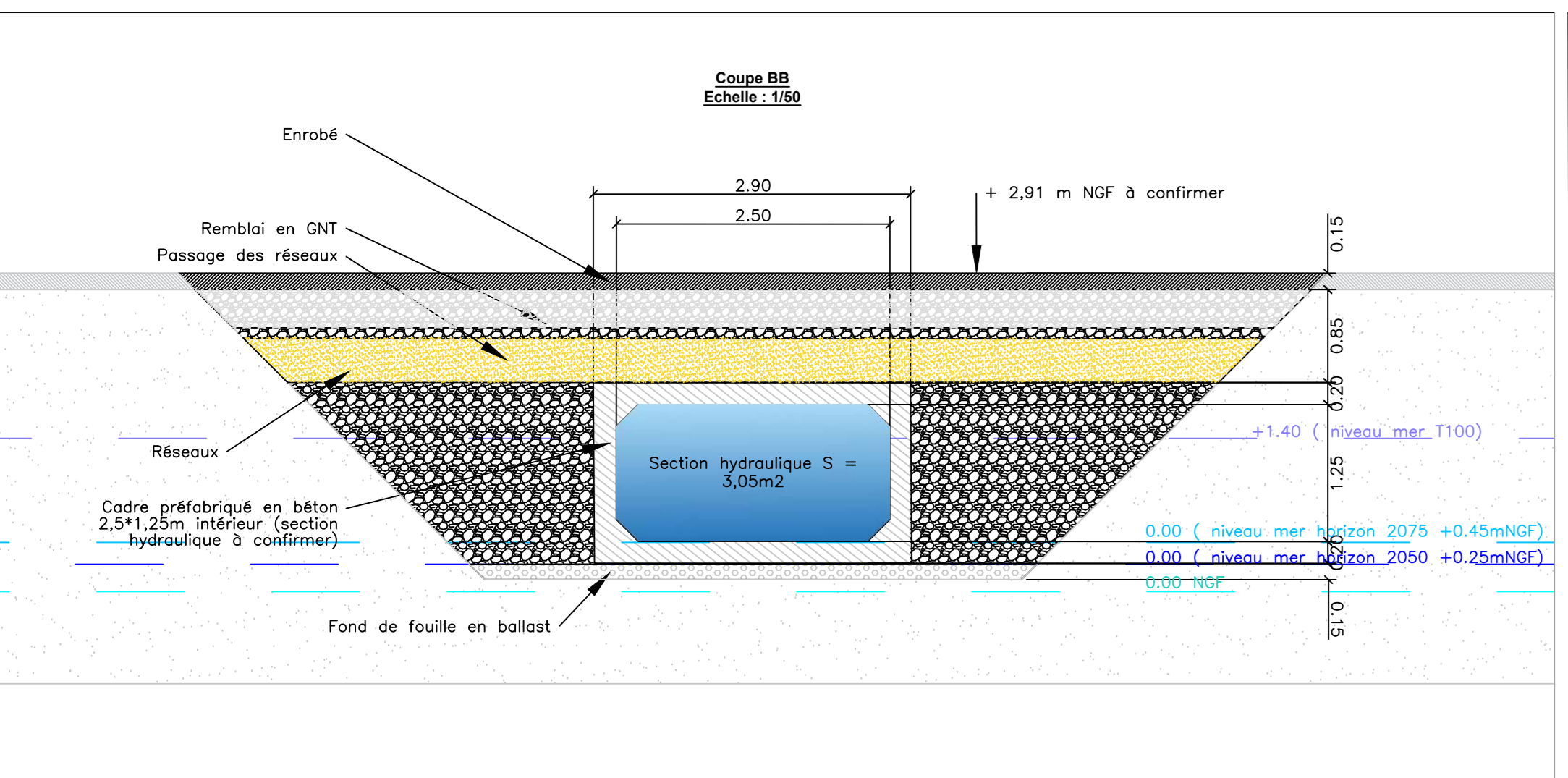
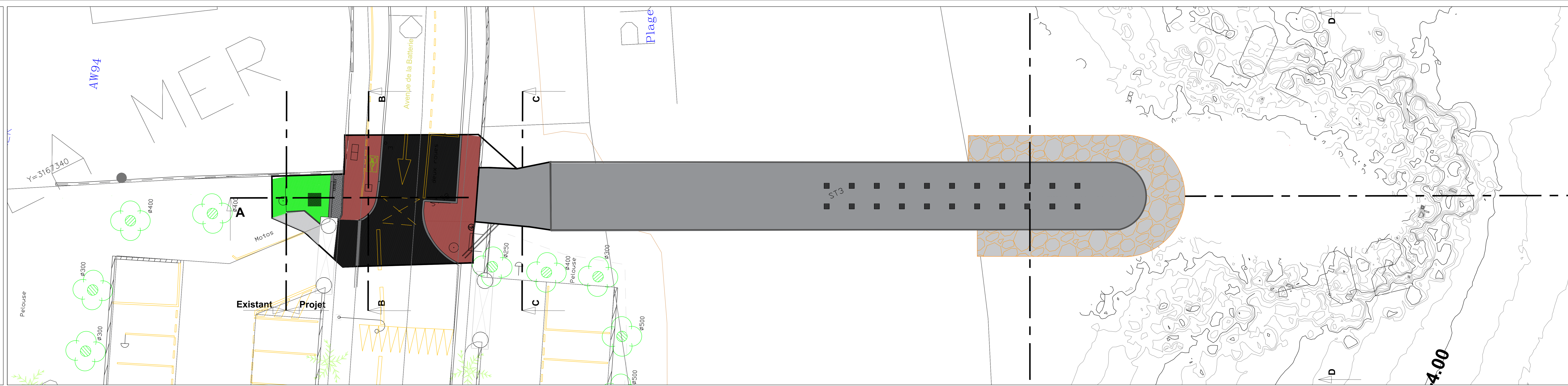
Indice	Modifications apportées	Date
A	Première émission	28 juillet 2023

Numéro d'affaire : 2 0 3 9 Référence du PLAN : A V P C P 0 3 2 A



Indice	Modifications apportées	Date
A	Première émission	28 novembre 2023
B	Mise à jour	14 décembre 2023

Numéro d'Affaire :	2 0 3 9	Référence du PLAN :	A V P C P 0 4 2 B
--------------------	---------	---------------------	-------------------





# ACCORD CADRE – MAITRISE D'ŒUVRE OUVRAGES GEMAPI

**OP3 / RENOVATION ET REHABILITATION DES OUVRAGES EN  
MER, EXUTOIRES PLUVIAUX « PIED DE DIGUE » - « PIERRE A  
TAMBOUR » - « MAURETTES » - VILLENEUVE-LOUBET »  
VALLON DES MAURETTES**

**Estimation du montant des travaux**

**Solution 4 : Epi sur palplanches raccourci**

**Indice A**

*18 décembre 2023*





**COMMUNAUTE DE COMMUNES DE SOPHIA ANTIPOLIS**

**Rénovation et réhabilitation des Ouvrages en mer, exutoires pluviaux « Pied de dique », « Pierre à Tambour » et «Maurettes » - Villeneuve-Loubet »**

**Epi des Maurettes : Réfection de l'exutoire pluvial et de l'épi en mer**

**Estimation du montant des travaux  
Solution 4 : Epi sur palplanches raccourci**

Plan : AVP CP042

Date : 18/12/2023

N°	Désignation des prestations	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT en euros	Montant HT en euros
<b>TRAVAUX TERRESTRES</b>					
<b>1</b>	<b>Installation de chantier et travaux préparatoires partie terrestre</b>				
1,1	Installation de chantier	ft	1	9 500,00	9 500,00 €
1,2	Amenée et repli du matériel de chantier terrestre	ft	1	11 000,00	11 000,00 €
1,3	Constat d'huissier, études d'exécution et plan de récolement	ft	1	8 800,00	8 800,00 €
1,4	Repérage et protection de réseaux	ft	1	7 500,00	7 500,00 €
				<b>Sous-total 1</b>	<b>36 800,00 €</b>
<b>2</b>	<b>Démolition et évacuation de l'exutoire en partie terrestre</b>		25ml		
2,1	Dépose, déplacement et remise en place des coffrets électriques	ft	1	1 500,00	1 500,00 €
2,2	Dépose, déplacement et remise en place des compteurs d'eaux	ft	1	1 500,00	1 500,00 €
2,3	Dépose et mise en stock des panneaux de signalisations routière pour repose et évacuation des poteaux en décharge agréée	ens.	3	500,00	1 500,00 €
2,4	Dépose en mise en stock provisoire ou évacuation des équipements (panneaux publicitaires, garde-corps, poubelles, arceaux vélos, affichage, ...)	ft	1	3 000,00	3 000,00 €
2,5	Découpe soigné démolition, fractionnement et évacuation des murets	ml	15	100,00	1 500,00 €
2,6	Dépose et évacuation des enrochements sur plage	m <sup>3</sup>	200	50,00	10 000,00 €
2,7	Dépose, démolition, fractionnement et évacuation du portique béton d'entrée du parking Ouest	m <sup>3</sup>	9	200,00	1 800,00 €
2,8	Découpe soignée, démolition et évacuation de l'enrobé, y compris bordures et trottoirs	m <sup>2</sup>	132	30,00	3 960,00 €
2,9	Réalisation du terrassement, démolition de l'exutoire existant, tri et évacuation des matériaux sur 20ml environ	m <sup>3</sup>	462	60,00	27 720,00 €
2,10	Dépose et évacuation du socle de douche en béton, y compris déconnection du réseau d'alimentation en eaux et pose de bouchon	ens.	1	750,00	750,00 €
2,11	Blindage des terrassements	m <sup>2</sup>	182	150,00	27 300,00 €
2,12	Dévoiemnt provisoire des réseaux existant	ft	1	10 000,00	10 000,00 €
2,13	Continuité du réseau pluvial durant les travaux : mise en place d'une conduite provisoire	ft	1	20 000,00	20 000,00 €
				<b>Sous-total 2</b>	<b>110 530,00 €</b>
<b>3</b>	<b>Réalisation du réseau pluvial en partie terrestre et réfection voirie</b>				
3,1	Réalisation d'une couche fond de fouille en ballast	m <sup>3</sup>	27	50,00	1 350,00 €
3,2	Réalisation d'une chambre de raccordement en béton armé entre la buse DN1200 existante et le cadre béton projet, y compris travaux dans l'eau	m <sup>3</sup>	20	1 500,00	30 000,00 €
3,3	Fourniture et pose de cadre béton préfabriqué de section intérieur 2500*1250mm et d'épaisseur 200mm	m <sup>3</sup>	25	1 400,00	35 000,00 €
3,4	Reprise du réseau annexe SUD en PVC Ø200ml y compris fourniture et mise en place de sable d'enrobage (réalisation de tranchée, fourniture et mise en place de sable, de tuyaux, remblai compactage et revêtement)	ml	7	450,00	3 150,00 €
3,5	Fourniture et pose de regard avaloir avec grille fonte de classe D4000 carré, de dimension 400 x 750 mm	u	1	1 000,00	1 000,00 €
3,6	Réalisation d'une chambre en béton armé de collecte des eaux de HT 145m, y compris raccordement des réseaux à la chambre	m <sup>3</sup>	33	1 500,00	49 500,00 €
3,7	Mise en place de remblai autour des cadres béton et pour couche de forme y compris compactage des matériaux	m <sup>3</sup>	291	45,00	13 095,00 €
3,8	Réalisation de dalles de transition sous la voirie	m <sup>3</sup>	10	1 300,00	13 000,00 €
3,9	Couche de forme en GNT 0/31,5 sous enrobé	m <sup>3</sup>	44	75,00	3 300,00 €
3,10	Remblaiement en terre au niveau du parking	m <sup>3</sup>	26	30,00	780,00 €
3,11	Fourniture et pose de bordures de type T	ml	28	100,00	2 800,00 €
3,12	Fourniture et pose de bordures de type P	ml	11	60,00	660,00 €
3,13	Couche d'imprégnation	m <sup>2</sup>	132	3,00	396,00 €
3,14	Réalisation d'un enrobé BBSG pour voirie épaisseur 15cm	T	29	150,00	4 350,00 €
3,15	Réalisation d'un enrobé teinté sur trottoirs et la piste cyclable	T	17	250,00	4 250,00 €
3,16	Réalisation de murets en aggro sur 1m de haut, y compris enduit coloré	ml	15	250,00	3 750,00 €
3,17	Réalisation d'un portique en béton armé pour entrée du parking	m <sup>3</sup>	9	1 000,00	9 000,00 €
3,18	Couche de forme en GNT 0/31,5 sous dalle BA (partie3)	m <sup>3</sup>	14	75,00	1 050,00 €
3,19	Réalisation d'une dalle en béton armé au dessus de la chambre y compris escaliers de conduite entre la routé et l'épi	m <sup>3</sup>	8	1 300,00	10 400,00 €
3,20	Réalisation de la signalisation horizontale (passage piéton, places de stationnement, piste cyclable...)	ens.	1	2 500,00	2 500,00 €
3,21	Repose des équipements (barrières, panneaux, arceau vélo), y compris fourniture de nouveaux poteaux pour panneaux de signalisation	ft	1	4 000,00	4 000,00 €
3,22	Repose des enrochements	m <sup>3</sup>	200	50,00	10 000,00 €
3,23	Réalisation d'un socle pour douche de plage en béton armé, y compris raccordement au réseau AEP	m <sup>3</sup>	1	1 200,00	1 200,00 €
				<b>Sous-total 3</b>	<b>204 531,00 €</b>

**COMMUNAUTE DE COMMUNES DE SOPHIA ANTIPOLIS**

**Rénovation et réhabilitation des Ouvrages en mer, exutoires pluviaux « Pied de dique », « Pierre à Tambour » et «Maurettes » - Villeneuve-Loubet »**

**Epi des Maurettes : Réfection de l'exutoire pluvial et de l'épi en mer**

**Estimation du montant des travaux**  
**Solution 4 : Epi sur palplanches raccourci**

Plan : AVP CP042

Date : 18/12/2023

N°	Désignation des prestations	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT en euros	Montant HT en euros
<b><u>TRAVAUX TERRESTRES</u></b>		<b>TOTAL HT</b>			<b>351 861,00 €</b>
		<b>ALEAS TECHNIQU</b>	<b>10%</b>		<b>35 186,10 €</b>
		<b>TOTAL y compris ALEAS HT</b>			<b>387 047,10 €</b>
		<b>TVA 20%</b>			<b>77 409,42 €</b>
		<b>TOTAL TTC</b>			<b>464 456,52 €</b>

**COMMUNAUTE DE COMMUNES DE SOPHIA ANTIPOLIS**

**Rénovation et réhabilitation des Ouvrages en mer, exutoires pluviaux « Pied de dique », « Pierre à Tambour » et «Maurettes » - Villeneuve-Loubet »**

**Epi des Maurettes : Réfection de l'exutoire pluvial et de l'épi en mer**

**Estimation du montant des travaux  
Solution 4 : Epi sur palplanches raccourci**

Plan : AVP CP042

Date : 18/12/2023

N°	Désignation des prestations	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT en euros	Montant HT en euros
<b>TRAVAUX MARITIMES</b>					
<b>4</b>	<b>Installation de chantier et travaux préparatoires partie maritime</b>				
4,1	Installation de chantier	ft	1	31 400,00	31 400,00 €
4,2	Amenée et repli du matériel de chantier terrestre et maritime	ft	1	36 600,00	36 600,00 €
4,3	Constat d'huissier, études d'exécution et plan de récolement	ft	1	29 300,00	29 300,00 €
4,4	Mesures de protection de l'environnement (filet anti-MES, double rideau à bulle, mesures de turbidité, kits anti-pollution, récupération des produits de démolition éventuellement tombés à l'eau)	ft	1	30 000,00	30 000,00 €
				<b>Sous-total 4</b>	<b>127 300,00 €</b>
<b>5</b>	<b>Démolition et évacuation de l'exutoire en partie maritime</b>		60ml		
5,1	Dépose en mise en stock provisoire ou évacuation des équipements (panneaux publicitaires, garde-corps, poubelles, arceaux vélos, affichage, ...)	ft	1	1 000,00	1 000,00 €
5,2	Dépose, mise en stock provisoire ou évacuation des enrochements de protection de l'épi en mer	m <sup>3</sup>	1540	30,00	46 200,00 €
5,3	Terrassement (y compris dans l'eau) pour libérer l'épi en béton jusqu'à la route	m <sup>3</sup>	264	30,00	7 920,00 €
5,4	Dépose, démolition, fractionnement et évacuation des éléments en béton constituant l'épi	m <sup>3</sup>	192	350,00	67 200,00 €
5,5	Extraction ou recépage sous le fond marin et évacuation des rideaux de palplanches	m <sup>2</sup>	1320	75,00	99 000,00 €
				<b>Sous-total 5</b>	<b>221 320,00 €</b>
<b>6</b>	<b>Reconstruction de l'épi</b>				
6,1	Création d'une piste de chantier en parallèle de l'épi pour réalisation des travaux, y compris démontage et évacuation de la piste après travaux	m <sup>3</sup>	233	150,00	34 950,00 €
6,2	Purge de matériaux pour mise en place des palplanches	ml	100	100,00	10 000,00 €
6,3	Fourniture de palplanches	kg	139392	2,20	306 662,40 €
6,4	Mise en place du rideau de palplanches, y compris recépage éventuel des palplanches	m <sup>2</sup>	968	150,00	145 200,00 €
6,5	Réalisation d'un closoir en béton armé en extrémité des palplanches côté mer	m <sup>3</sup>	14	1 500,00	21 000,00 €
6,6	Mise en place de remblai entre les palplanches en about d'épi	m <sup>3</sup>	33	150,00	4 950,00 €
6,7	Reprise des enrochements et repose en pied des palplanches	m <sup>3</sup>	220	25,00	5 500,00 €
6,8	Réalisation d'un couronnement de quai en béton armé coulé sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage	m <sup>3</sup>	121	1 300,00	157 300,00 €
6,9	Réalisation et mise en place de prédalles préfabriquées en béton armé sur toute la largeur coulé sur place y compris fourniture et opérations de coffrage, décoffrage et réservation pour événements et parties amovibles en début d'épi	m <sup>3</sup>	37	1 200,00	44 400,00 €
6,10	Fourniture et mise en place d'évents en inox marin 316L 30°30	u	24	300,00	7 200,00 €
6,11	Réalisation d'une dalle de compression en béton armé épaisseur 25cm y compris clavetage et partie amovible en début d'épi	m <sup>2</sup>	253	250,00	63 250,00 €
6,12	Fourniture et mise en place de modules écologiques	ft	1	25 000,00	25 000,00 €
				<b>Sous-total 6</b>	<b>825 412,40 €</b>
				<b>TOTAL HT</b>	<b>1 174 032,40 €</b>
				<b>ALEAS TECHNIQU</b>	<b>10%</b>
				<b>TOTAL y compris ALEAS HT</b>	<b>1 291 435,64 €</b>
				<b>TVA 20%</b>	<b>258 287,13 €</b>
				<b>TOTAL TTC</b>	<b>1 549 722,77 €</b>

## COMMUNAUTE DE COMMUNES DE SOPHIA ANTIPOLIS

### Rénovation et réhabilitation des Ouvrages en mer, exutoires pluviaux « Pied de dique », « Pierre à Tambour » et « Maurettes » - Villeneuve-Loubet »

#### Epi des Maurettes : Réfection de l'exutoire pluvial et de l'épi en mer

#### Estimation du montant des travaux Solution 4 : Epi sur palplanches raccourci

Plan : AVP CP042

Date : 18/12/2023

N°	Désignation des prestations	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT en euros	Montant HT en euros		
<b>RECAPITULATIF</b>							
N°	Désignation des prestations				Montant HT en euros		
<b>TRAVAUX TERRESTRES</b>							
1	Installation de chantier et travaux préparatoires partie terrestre				36 800,00 €		
2	Démolition et évacuation de l'exutoire en partie terrestre				221 320,00 €		
3	Réalisation du réseau pluvial en partie terrestre et réfection voirie				204 531,00 €		
<b>TOTAL HT TRAVAUX TERRESTRES HORS ALEAS</b>					<b>351 861,00 €</b>		
<b>TRAVAUX MARITIMES</b>							
4	Installation de chantier et travaux préparatoires partie maritime				127 300,00 €		
5	Démolition et évacuation de l'exutoire en partie maritime				221 320,00 €		
6	Reconstruction de l'épi				825 412,40 €		
<b>TOTAL HT TRAVAUX MARITIMES HORS ALEAS</b>					<b>1 174 032,40 €</b>		
<b>Nota sur les prix :</b> La conjoncture actuelle incite certaines entreprises, en recherche d'activité, à répondre à des prix très bas avec des rabais pouvant aller jusqu'à 20 % a priori difficilement justifiables. Ne pouvant préjuger des rabais ou des efforts que les entreprises pourront consentir, il nous paraît raisonnable de ne pas intégrer cette variable dans l'établissement de nos estimations. Ces dernières sont établies sur la base de moyennes de prix unitaires, issues de consultations similaires récentes, pour des appels d'offres lancés dans la même région et de notre expertise dans le domaine maritime					<b>TOTAL HT</b>	<b>1 525 893,40 €</b>	
<b>Nota sur le contexte de flambée des prix :</b> La conjoncture actuelle de flambée des prix des matières premières et des carburants fait que certains prix (principalement de fourniture) sont en constantes évolutions (hausses et baisses d'un mois sur l'autre).					<b>ALEAS TECHNIQU</b>	<b>10%</b>	<b>152 589,34 €</b>
					<b>TOTAL y compris ALEAS HT</b>	<b>1 678 482,74 €</b>	
					<b>TVA 20%</b>	<b>335 696,55 €</b>	
					<b>TOTAL TTC</b>	<b>2 014 179,29 €</b>	

# RAPPORT TECHNIQUE

## ETUDES DES CONDITIONS METEO-OCEANIQUES ET DE MODELISATION NUMERIQUES POUR LA RECONSTRUCTION DE L'EPI DU VALLON DES MAURETTES

14 avril 2022



## Informations relatives au document

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

**Auteurs** PLOUVIER Tristan, SAULNIER Jean-Baptiste  
**Fonction** Ingénieur études, Ingénieur chef de projet  
**Volume du document** MED0130 (WAPI12301)  
**Version** V1  
**Date** 14/04/2022

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Vérfié par	Fonction
V1	14-Avr-2022	BRIERE Christophe	Chef de pôle

Version	Date	Approuvé par	Fonction
V1	14-Avr-2022	BLANCHET Valérie	Directrice Pôle Technique

### DESTINATAIRES

Nom	Entité
-----	--------

# SOMMAIRE

---

<b>1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>7</b>
<b>2 - ANALYSE METEO-OCEANIQUE.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 - Etats de mer .....</b>	<b>8</b>
2.1.1 - Généralités.....	8
2.1.2 - Evénements dimensionnants .....	10
<b>2.2 - Vents .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 - Courants .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 - Niveaux d'eau .....</b>	<b>14</b>
2.4.1 - Marée astronomique.....	14
2.4.2 - Niveaux d'eau de tempête .....	14
2.4.3 - Surcote de déferlement .....	15
2.4.4 - Surélévation liée au changement climatique (SLCC) .....	15
2.4.5 - Niveaux extrêmes simulés .....	15
<b>3 - MODELISATION DE LA PROPAGATION DE LA HOULE DU LARGE A LA COTE.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 - Méthodologie et suite logicielle utilisée.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 - Emprise du modèle et maillage.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 - Modèle Numérique Terrestre .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 - Paramétrisation du modèle .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 - Conditions aux limites.....</b>	<b>20</b>
3.5.1 - Hauteurs d'eau.....	20
3.5.2 - Etats de mer.....	20
3.5.3 - Vent.....	20
<b>3.6 - Cas de calcul simulés .....</b>	<b>20</b>
<b>3.7 - Résultats de modélisation .....</b>	<b>22</b>
3.7.1 - Epi du Vallon Pied de Digue .....	23
3.7.2 - Epi de la Pierre à Tambour .....	24
3.7.3 - Epi des Maurettes .....	25
3.7.4 - Observations générales .....	26
3.7.5 - Dérive littorale .....	26
<b>REFERENCES .....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXE I: STATISTIQUES D'ETATS DE MER .....</b>	<b>29</b>
<b>Tables d'occurrences jointes .....</b>	<b>29</b>
Point 6672.....	30
Point 6766.....	33
Point 6786.....	36
<b>Extrapolations des valeurs de retour de Hm0 .....</b>	<b>39</b>
Point 6672.....	39

<b>Point 6766</b> .....	<b>39</b>
<b>Point 6786</b> .....	<b>39</b>
<b>ANNEXE II : STATISTIQUES DE VENT</b> .....	<b>40</b>
<b>Annuelles</b> .....	<b>40</b>
<b>Hiver</b> .....	<b>41</b>
<b>Eté</b> .....	<b>42</b>
<b>Extrêmes</b> .....	<b>43</b>
<b>ANNEXE III : PLANS DE VAGUES TOMAWAC</b> .....	<b>44</b>
<b>Bathymétrie sur les zones d'intérêt</b> .....	<b>44</b>
<b>Plans de vagues</b> .....	<b>45</b>
<b>Extraction des conditions marines en pied d'ouvrages</b> .....	<b>69</b>
<b>ANNEXE IV : RESULTATS COURANTOLOGIQUES</b> .....	<b>118</b>
<b>Simulation 0 (T1 an, 80°N)</b> .....	<b>118</b>
<b>Simulation 5 (T100 ans, 80°N)</b> .....	<b>119</b>
<b>Simulation 6 (T1 an, 200°N)</b> .....	<b>120</b>
<b>Simulation 11 (T100 ans, 200°N)</b> .....	<b>121</b>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Localisation de la zone de projet ; épis à dimensionner .....	7
Figure 2 – Localisation des points de la réanalyse ANEMOC-2 Méditerranée au large de la Baie des ANges (EDF R&D, CEREMA) .....	8
Figure 3 – Roses des houles au large de Villeneuve-Loubet (données ANEMOC-2 Med.) .....	9
Figure 4 – Origine des systèmes de vagues observés au large de la Côte d'Azur et vents régionaux méditerranéens [source : Météo France] .....	9
Figure 5 – Répartition des données de Tp en fonction de Hm0 sur les deux secteurs d'analyse ; ajustement de la forme $Tp = a * Hm0^{0.5}$ (cambrure constante). .....	10
Figure 6 – Histogramme des directions moyennes du jeu de données au point 6672 (gauche) et répartition Dirm en fonction de Hm0 associée (droite) .....	11
Figure 7 – Répartition sigma en fonction de Hm0 sur les secteurs E (gauche) et SSO (droite) .....	11
Figure 8 – Localisation des mesures atmosphériques à l'aéroport de Nice-Côte d'Azur (gauche) et rose des vents annuelle pour la période 2010-2021 (droite).....	12
Figure 9 – Schéma de circulation du courant Liguro-Provençal en Mer Méditerranée nord-occidentale [source : LEGOS].....	14
Figure 10 – Niveaux marins extrêmes extrapolés par le CEREMA ; ajustement par loi exponentielle retenu [source : CEREMA, 2018] .....	15
Figure 11 – Densité du maillage (m) construit pour la modélisation numérique .....	18
Figure 12 – MNT (en mNGF) sur le domaine de calcul : vue d'ensemble sur la baie (gauche) et vues spécifiques autour de l'épi du Vallon Pied de Digue (dr., haut) et des épis de la Pierre à Tambour et des Maurettes (dr., bas).....	19
Figure 13 – Lignes d'extraction autour des ouvrages pour les entrants de conception : épis des Maurettes et Pierre à Tambour (haut) et épis du Vallon Pied de Digue (bas) .....	22



# GLOSSAIRE ET DEFINITIONS

## Sigles et abréviations

BMVE	: Basse Mer de Vive-Eau
CM	: Cote Marine (référence identique à ZH)
GIEC	: Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC en anglais)
IGN	: Institut national de l'information géographique et forestière
METAR	: <i>METerological Aerodrome Report</i>
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
N, O, S, E	: Nord, Ouest, Sud, Est (NO = Nord-Ouest, etc.)
NGF	: Nivellement Général de la France (métropole)
PHMA	: Plus Haute Mer Astronomique
POT	: <i>Peak-Over-Threshold</i> (méthode de seuil pour l'extrapolation de valeurs extrêmes),
RAM	: Références Altimétriques Maritimes
SHOM	: Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
(SL)CC	: (Surélévation Liée au) Changement Climatique
SSP	: <i>Shared Socioeconomic Pathways</i> (scénarios socio-économiques des prévisions du GIEC)
ZH	: Zéro Hydrographique (proche du niveau des plus basses mers)

## Symboles mathématiques

$\bar{\eta}_s$	: Surcote de déferlement ( <i>wave setup</i> ) [m]
$\gamma$	: Coefficient d'acuité du spectre JONSWAP [-]
$\sigma$	: Dispersion angulaire (écart-type) moyen de l'état de mer [°]
Hs, Hm0	: Hauteur significative de la houle, déterministe et spectrale resp. [m], confondues ici.
K	: coefficient de frottement de Strickler [m <sup>1/3</sup> /s],
Tp	: Période de pic spectrale de la houle [s]
Dirm	: Direction de la houle, moyenne et de pic resp. [°]
Dirw	: Direction du vent [°] (provenance)
s	: Coefficient de dispersion angulaire de la distribution de Mitsuyasu [-]
Uw	: Vitesse du vent [m/s]
Zw	: Niveau d'eau [mNGF]

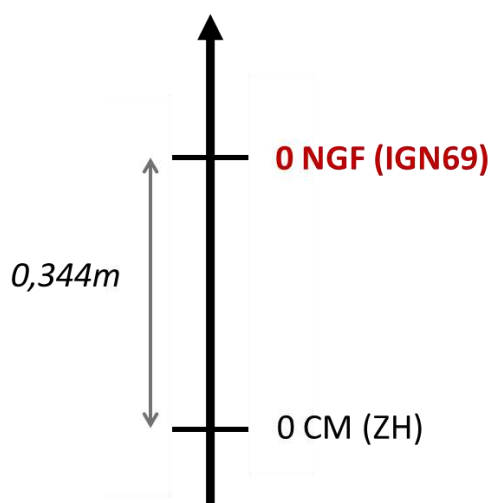
## Conventions pour les directions

Convention nautique pour les houles et le vent, la direction indiquant leur provenance.

Exemple :  $270^\circ$  = houles d'est,  $180^\circ$  = houles de sud, etc.

## Références plani- et altimétriques

Dans cette étude la référence planimétrique est le système géodésique RGF93 (projection Lambert 93). La référence altimétrique est le zéro du système d'altitude IGN 69 (0 NGF) au port de Nice, où le 0 NGF est situé à 0.344m au-dessus du zéro des cartes marines (ou zéro hydrographique, ZH)



Nom	Repère fondamental	Organisme	Date	RF/ZH	RF/Ref	ZH/Ref	ZH/Elli	Ref
Nice <sup>1</sup>	M.A.I3K3-1BIS	IGN	2008	3.034	2.690	-0.344	48.37	IGN69

(RAM, SHOM, 2020)

# 1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la **Tranche Ferme** du projet de reconstruction des épis sur le littoral de Villeneuve-Loubet (Alpes Maritimes), entre Nice et Antibes, en particulier (cf. Figure 1) :

- **L'épi des Maquettes**, situé à 170m au Sud de la marina Baie des Anges et protégeant un émissaire,
- **L'épi de la Pierre à Tambour**, correspondant à la contre-digue Sud de la marina et protégeant un émissaire,
- **Les épis du Vallon – Pied de Digue**, canalisant l'exutoire situé à 600m au Nord de la marina et à 200m au Sud de l'embouchure du Loup.



FIGURE 1 – LOCALISATION DE LA ZONE DE PROJET ; EPIS A DIMENSIONNER

La présente étude vise à fournir au partenaire ICTP les entrants nécessaires au dimensionnement des nouveaux ouvrages. Elle comporte notamment :

- Une **étude météo-océanique** comprenant une analyse statistique en vue de la définition des conditions marines du large,
- Une **étude de modélisation numérique de la propagation des états de mer** depuis le large jusqu'à la côte,
- Une **extraction des caractéristiques d'état de mer** (hauteur significative, direction moyenne, période, niveau d'eau) **en pied d'ouvrages**,

détaillées ci-après.

## 2 - ANALYSE METEO-OCEANIQUE

### 2.1 - Etats de mer

#### 2.1.1 - Généralités

Les données de la réanalyse d'état de mer ANEMOC-2 Méditerranée (EDFR&D / CEREMA), couvrant la période 1979-2010 à pas de temps horaire, sont utilisées pour l'analyse. Les paramètres extraits sont la hauteur significative  $H_m0$  (m), la période de pic  $T_p$  (s) et la direction moyenne  $D_{irm}$  (°N). Initialement, trois points sont considérés au large de la Baie des Anges en particulier (Figure 2), dont les coordonnées sont détaillées dans le Tableau 1.

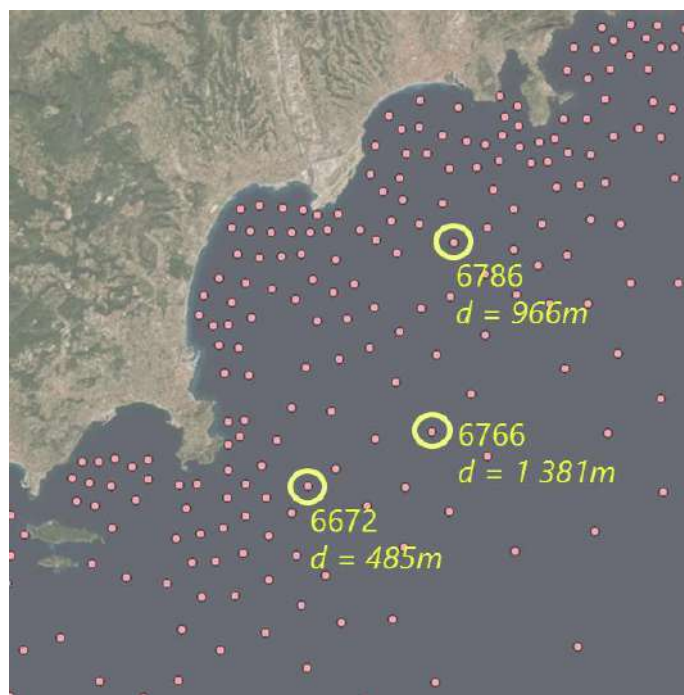


FIGURE 2 – LOCALISATION DES POINTS DE LA REANALYSE ANEMOC-2 MEDITERRANEE AU LARGE DE LA BAIE DES ANGES (EDF R&D, CEREMA)

TABLEAU 1 – COORDONNEES DE POINTS ANEMOC-2

<i>ANEMOC-2 Med.</i>	Longitude [°E]	Latitude [°N]
<b>6672</b>	7.1894	43.5334
<b>6766</b>	7.2595	43.5525
<b>6786</b>	7.2776	43.6292

Les données d'état de mer (hauteur significative et direction) sont relativement homogènes, comme l'illustrent les roses de la Figure 3.

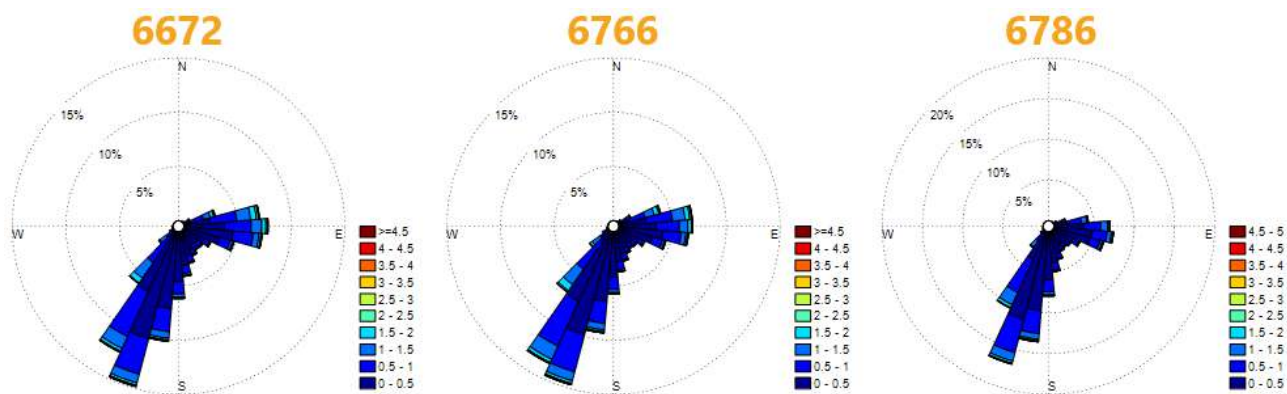


FIGURE 3 – ROSES DES HOULES AU LARGE DE VILLENEUVE-LOUBET (DONNEES ANEMOC-2 MED.)

Deux secteurs directionnels se distinguent :

- Un large secteur **Est** [45;135°N]
- Un large secteur **Sud-Sud-Ouest** [135°N; 270°N]

Ces systèmes de vagues ont différentes origines, et sont générés, respectivement :

- en Mer de Ligurie, sur une longueur de *fetch* moyenne (< 200km) par un vent d'Est (*Grec*),
- entre la Sardaigne et les Baléares, sur une longueur de *fetch* importante depuis les côtes marocaines (800km), par un vent de Sud-Ouest (*Libeccio*), avec un renforcement possible par les systèmes d'Ouest formés dans le Golfe du Lion par le Mistral et la Tramontane.

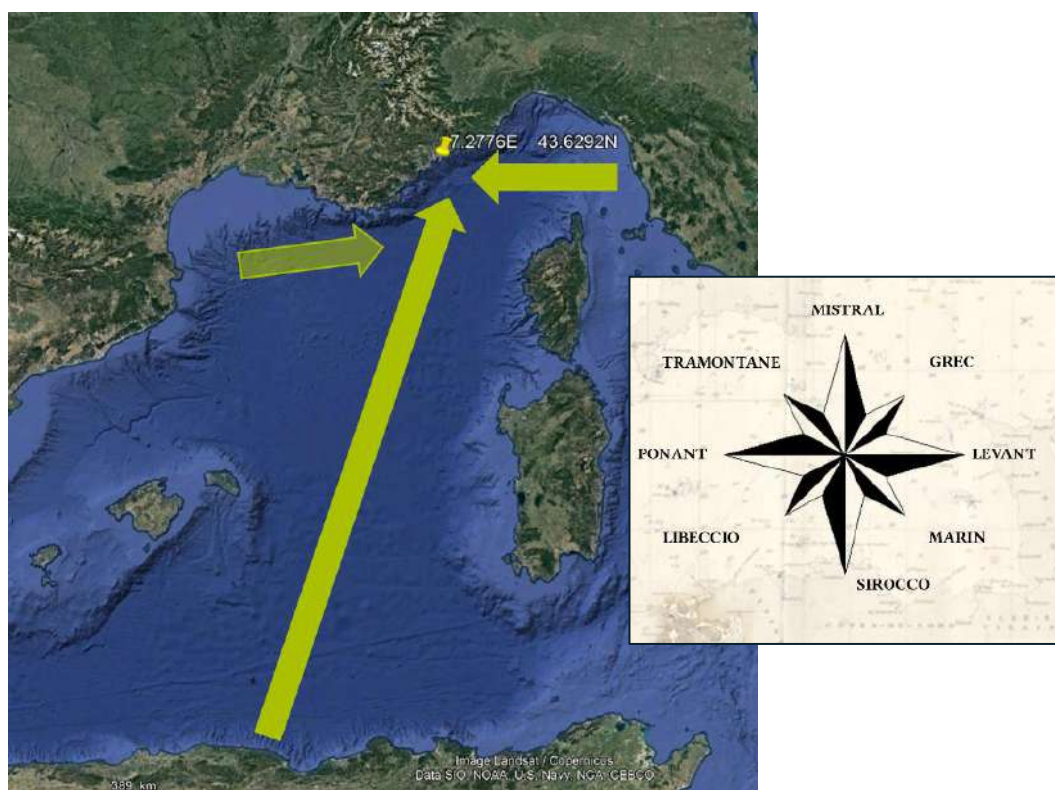


FIGURE 4 – ORIGINE DES SYSTEMES DE VAGUES OBSERVES AU LARGE DE LA COTE D'AZUR ET VENTS REGIONAUX MEDITERRANEENS [SOURCE : METEO FRANCE]

Les tables d'occurrences jointes Hm0/Tp, Hm0/Dirn et Tp/Dirn pour ces jeux de données sont illustrées en Annexe I. Celles-ci précisent les deux secteurs de provenance et leur relatif équilibre en termes d'énergie, le Hm0 maximal avoisinant les 5m dans les deux cas. Le secteur SSO est légèrement plus intense et plus fréquent (~65% contre ~35% pour le secteur Est). Les périodes de pic sur le secteur SSO sont plus élevées que sur le secteur E (jusqu'à 14-15s), en cohérence avec la nature des systèmes observés.

### 2.1.2 - Evénements dimensionnants

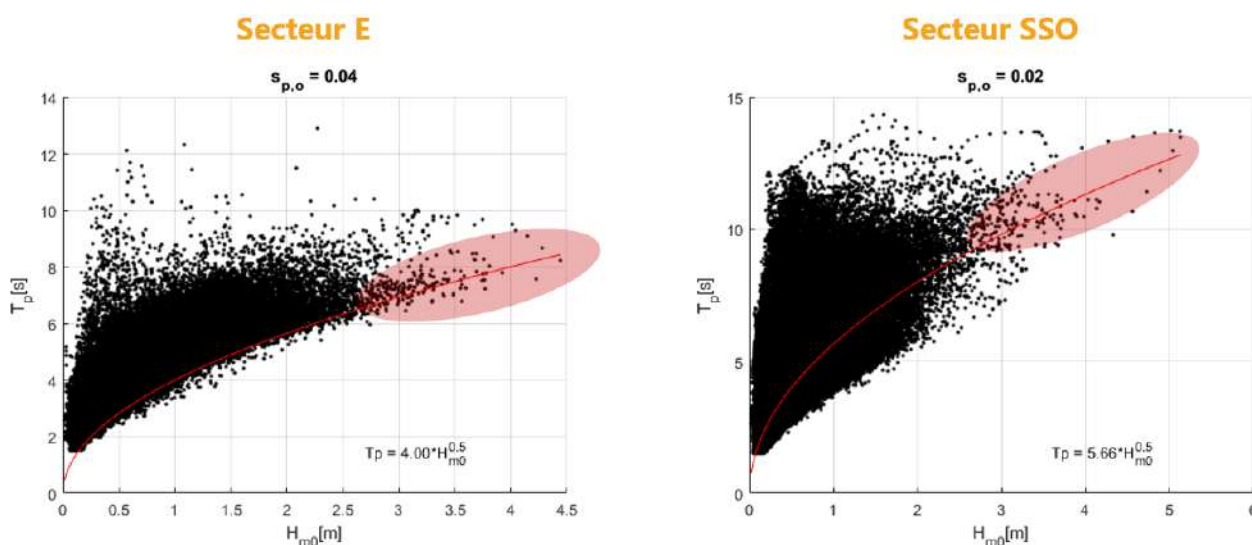
Une analyse aux valeurs extrêmes est réalisée sur chaque jeu de données pour le paramètre Hm0, afin d'en extrapoler les valeurs de période de retour : 1, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, sur chacun des deux secteurs. Les extrapolations sont réalisées avec la méthode de seuil (*Peak-Over-Threshold*, POT) et un ajustement de type Pareto généralisé (voir Annexe I). Les valeurs sont récapitulées dans le Tableau 2.

**TABEAU 2 – EXTRAPOLATIONS DES VALEURS DE RETOUR DE HM0 SUR CHAQUE SECTEUR (E, SSO) EN CHAQUE POINT DE REANALYSE ANEMOC-2**

Hm0[m]	6672		6766		6786	
Tr[ans]	E	SSO	E	SSO	E	SSO
1	2.91	2.75	2.85	2.85	2.31	2.58
5	3.73	3.64	3.64	3.76	2.90	3.49
10	4.09	4.06	3.96	4.15	3.15	3.89
20	4.44	4.50	4.27	4.55	3.39	4.30
50	4.90	5.12	4.66	5.09	3.71	4.84
100	5.26	5.62	4.94	5.49	3.94	5.26

Sur le secteur SSO, les valeurs de Hm0 du jeu de données 6672, situé le plus au Sud-Ouest, sont les plus pertinentes – et les plus conservatives. Sur le secteur E, les valeurs de Hm0 du jeu de données 6766, intermédiaires, sont retenues.

La période de pic associée à chacun de ces états de mer est déterminée d'après la répartition des valeurs de Tp et Hm0, illustrée sur la Figure 5.



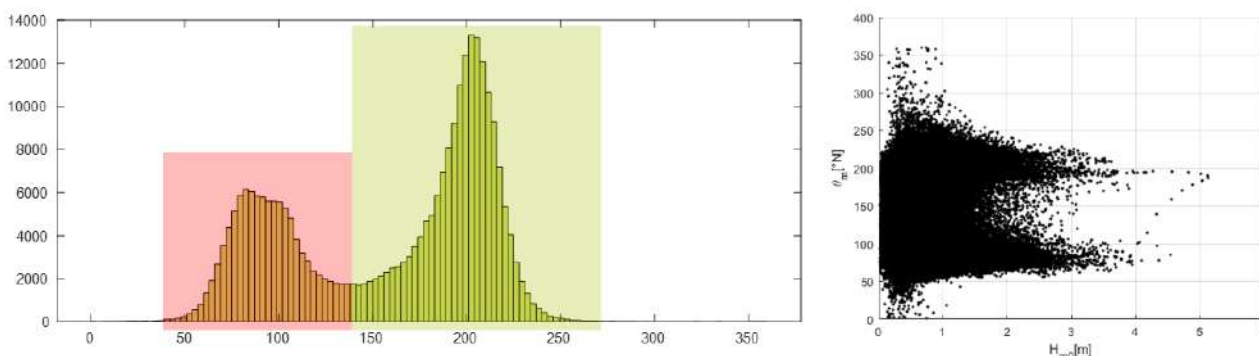
**FIGURE 5 – REPARTITION DES DONNEES DE TP EN FONCTION DE HM0 SUR LES DEUX SECTEURS D'ANALYSE ; AJUSTEMENT DE LA FORME  $Tp = A * HM0^{0.5}$  (CAMBRURE CONSTATANTE).**

Les courbes obtenues sont :

- $T_p = 4.00\sqrt{H_{m0}}$  sur le secteur E,
- $T_p = 5.66\sqrt{H_{m0}}$  sur le secteur SSO.

La direction associée est définie de la même façon, d'après la répartition des données sur chacun des deux secteurs (ex. sur la ). Au final, on retient :

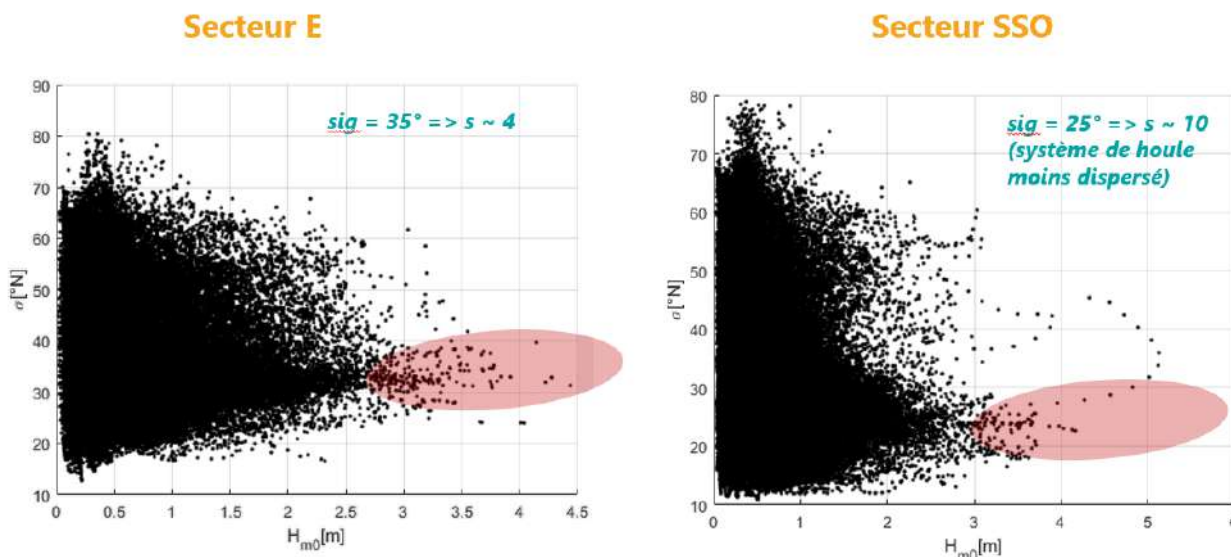
- Une direction moyenne de **80°N** pour le secteur E,
- Une direction moyenne de **200°N** pour le secteur SSO.



**FIGURE 6 – HISTOGRAMME DES DIRECTIONS MOYENNES DU JEU DE DONNEES AU POINT 6672 (GAUCHE) ET REPARTITION DIRM EN FONCTION DE  $H_{m0}$  ASSOCIEE (DROITE)**

La dispersion angulaire (écart-type  $\sigma$ , °) associée est déterminée d'après les répartitions de la Figure 7. Au final, on retient :

- $\sigma = 35^\circ$  sur le secteur E, soit un coefficient s de Mitsuyasu de **s = 4**,
- $\sigma = 25^\circ$  sur le secteur SSO, soit un coefficient s de Mitsuyasu de **s = 10**.



**FIGURE 7 – REPARTITION SIGMA EN FONCTION DE  $H_{m0}$  SUR LES SECTEURS E (GAUCHE) ET SSO (DROITE)**

Faute d'information sur la largeur de bande spectral des systèmes de vagues, une valeur moyenne du coefficient de pic de JONSWAP  $\gamma = 2$  est supposée pour tous les cas.

## 2.2 - Vents

Comme illustré sur la Figure 4, différents types de vent coexistent sur la Côte d'Azur (Mistral, Tramontane, Marin, Grec...). Afin d'établir des statistiques de vent précises sur la région de Villeneuve-Loubet, les données atmosphériques mesurées à l'aéroport de Nice - Côte d'Azur (METAR LFMN) sur la période 2010-2021 (12 ans, toutes les 30min) sont exploitées. La rose annuelle résultante, présentée sur la Figure 8, montre une prédominance du secteur NO (Mistral, ~50%). En moindre mesure, le secteur E (Grec, ~20%) est à l'origine d'événements un peu plus intenses.



**FIGURE 8 – LOCALISATION DES MESURES ATMOSPHERIQUES A L'AEROPORT DE NICE-COTE D'AZUR (GAUCHE) ET ROSE DES VENTS ANNUELLE POUR LA PERIODE 2010-2021 (DROITE)**

Les statistiques annuelles et saisonnières (occurrences jointes vitesse-direction...) sont présentées en **Annexe II**. Les vitesses du vent sont plus élevées en période hivernale qu'estivale, sans modification notable des directions.

Pour la détermination des événements dimensionnants, on accompagnera les conditions de houle d'un vent de même période de retour et d'origine proche renforçant les trains d'ondes, à savoir :

- Autour de 100°N pour les houles de provenance 80°N +/-45°,
- Autour de 200°N pour les houles de provenance 200°N +/-45°.

Les valeurs de retour de 1 à 100 ans de la vitesse du vent ont été calculées par secteur directionnel à l'aide de la méthode POT avec ajustement de type Pareto généralisé sur un jeu de données obtenu comme la concaténation des jeux 1973-1999 et 2001-2021 (pas de données METAR disponibles en 2000) et rééchantillonnées à 30min. Ces valeurs sont résumées dans le Tableau 3.

**TABLEAU 3 – VALEURS DE RETOUR DE LA VITESSE DU VENT ET DIRECTION SCHEMATIQUE ASSOCIEE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES (DONNEES METAR LFMN, 1973-1999 / 2001-2021)**

Tr[ans]	Secteur E		Secteur SSO	
	Uw[m/s]	Dirw[°N]	Uw[m/s]	Dirw[°N]
1	16.5	100	15.1	200
5	19.7	100	17.9	200
10	21.0	100	19.3	200
20	22.7	100	20.6	200
50	24.8	100	22.6	200
100	26.4	100	24.0	200



## 2.3 - Courants

Les courants sur la zone résultent d'une combinaison de phénomènes physiques, notamment :

### ■ La marée astronomique

La marée locale, associée à des oscillations de faible amplitude (< 0.50m), induit des courants peu significatifs au regard des autres composantes (dérive induite par le vent, notamment) sur le littoral de Nice à Antibes.

### ■ L'entraînement dû au vent, *up-* et *downwellings*

Le vent produit des courants de surface notables : on estime généralement que la vitesse maximale de ces courants superficiels est de l'ordre de 1 à 3% de la vitesse du vent à 10m. D'après les statistiques de vent présentées dans cette étude, les vitesses de courant de surface attendues sont de l'ordre de 0.2–0.6m/s.

Dans l'hémisphère Nord, ces courants portent à environ 45° à droite de la direction vers laquelle souffle le vent ; ils sont importants en surface et décroissent rapidement avec la profondeur (spirale d'Ekman).

Dans les zones semi-fermées (marinas), en cas de croissance de vent suite à une longue période chaude (printemps-été), la colonne d'eau est stratifiée (gradients de température et salinité importants sur la verticale) et des phénomènes d'*up-/downwelling* (remontée des eaux du fond ou plongée des eaux de surface resp.) peuvent apparaître, ainsi que des inversions de courants surface/fond dans les chenaux, passes d'accès, etc. Ici, le site d'étude étant une zone de plage ouverte sur la Méditerranée, ces phénomènes sont négligeables.

### ■ Les vagues et la dérive littorale

L'incidence oblique d'un train de vagues sur une côte génère, suite à son déferlement, un courant longitudinal appelé courant (ou dérive) littorale associé à une surcote locale dite de déferlement, ou *wave setup*. Les courants de retour (courant sagittaux), sensiblement perpendiculaires à la côte, renvoient quant à eux les eaux vers le large et sont concentrés dans des zones étroites et régulièrement espacées. Par ailleurs, au cours de sa propagation, la houle génère des courants orbitaux sur le fond, dont l'intensité dépend de la hauteur d'eau, de la hauteur de la houle et de sa période ; ces courants oscillants participent à la remobilisation des sédiments sur le fond qui sont ensuite transportés par le courant ambiant.

Bien que l'influence des houles reste limitée aux fonds inférieurs à environ 2.5 fois la hauteur significative de la houle du large, soit environ 7m ici (houle annuelle), les courants de houle peuvent être significatifs selon la climatologie et la géométrie côtière, et sont généralement le principal moteur du transport sédimentaire littoral.

### ■ La circulation régionale

Au large, une circulation régionale d'E > O – courant Nord Méditerranéen, ou Liguro-Provençal – existe (Figure 9), dont l'influence peut varier selon la saison et la distance à la côte. De façon générale, ce courant est essentiellement présent au large et en profondeur, et affecte a priori faiblement les secteurs côtiers.

Dans cette étude, seuls les courants de déferlement côtiers (en lien avec le *wave setup*) seront pris en compte dans le cadre des études de dimensionnement.

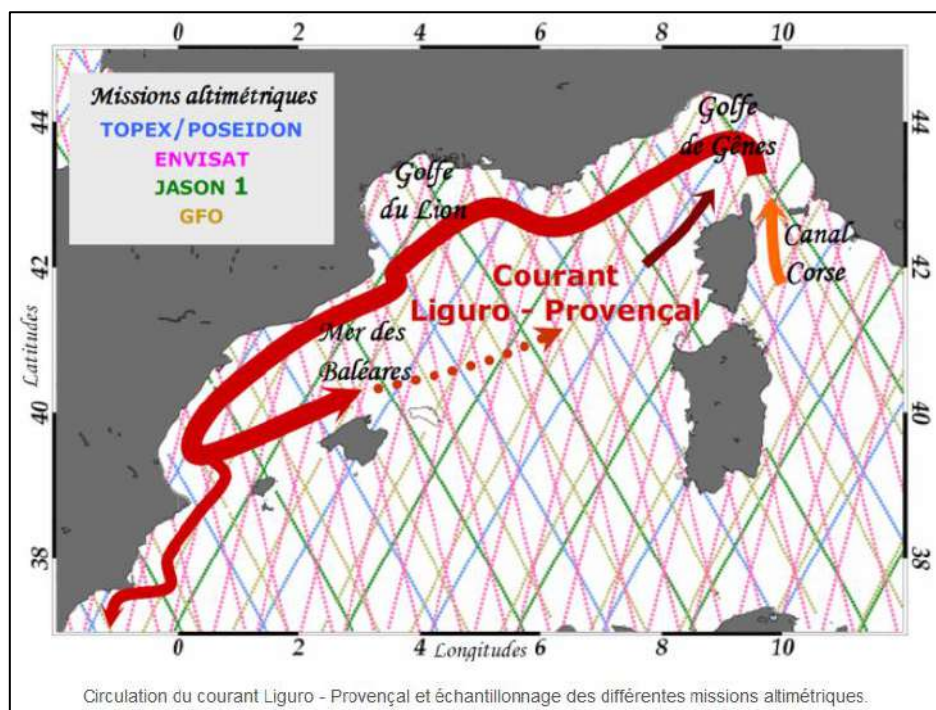


FIGURE 9 – SCHEMA DE CIRCULATION DU COURANT LIGURO-PROVENÇAL EN MER MEDITERRANEE NORD- OCCIDENTALE [SOURCE : LEGOS]

## 2.4 - Niveaux d'eau

Les niveaux d'eau sur le site d'étude résultent de la superposition de différents phénomènes :

- La marée astronomique,
- La surcote de tempête (barométrique et due au vent),
- La surcote de déferlement (*wave setup*) sur la zone côtière,
- La surélévation liée au changement climatique.

D'autres phénomènes locaux, comme les seiches en fond de baie ou de port, ou le battement de déferlement (*surf beat*), peuvent entraîner des surélévations périodiques du niveau d'eau, qui ne sont pas prises en compte dans cette étude en vue du dimensionnement des ouvrages.

### 2.4.1 - Marée astronomique

La marée astronomique, de type semi-diurne à inégalité diurne en Méditerranée, est de faible amplitude dans la zone de Nice (40 à 50cm max.). Les Références Altimétriques Maritimes 2020 du SHOM au port sont données dans le Tableau 4. Le niveau de PHMA est de +0.75mCM soit +0.406mNGF.

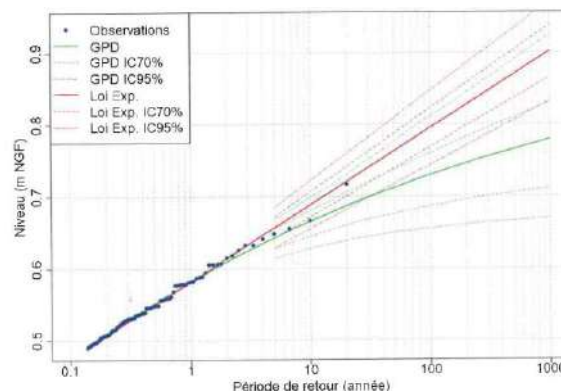
TABLEAU 4 – REFERENCES ALTIMETRIQUES MARITIMES DU SHOM (2020) AU PORT DE NICE

Nom	Type	Lat.	Long.	Et.	Année CH	PHMA			NM		PBMA
Méditerranée											
Nice <sup>1</sup>	S	43 42 N	07 17 E		2017	00.75			00.54		00.29

### 2.4.2 - Niveaux d'eau de tempête

Le CEREMA (2018) a établi des extrapolations des niveaux marins extrêmes attendus sur les côtes de métropole. Les niveaux obtenus d'après les relevés du marégraphe de Nice sont présentés sur la Figure 10, dans laquelle l'ajustement par loi exponentielle, mieux adaptée et légèrement plus conservatrice, est retenu.

Période de retour	Loi Exp.		
		Int. Conf. 70%	Int. Conf. 95%
5 ans	0,66 m	0,64 m à 0,67 m	0,63 m à 0,68 m
10 ans	0,69 m	0,67 m à 0,70 m	0,66 m à 0,72 m
20 ans	0,72 m	0,70 m à 0,74 m	0,68 m à 0,76 m
50 ans	0,76 m	0,74 m à 0,78 m	0,72 m à 0,81 m
100 ans	0,80 m	0,77 m à 0,82 m	0,75 m à 0,84 m
200 ans	0,83 m	0,80 m à 0,85 m	0,77 m à 0,88 m
500 ans	0,87 m	0,84 m à 0,90 m	0,81 m à 0,93 m
1 000 ans	0,90 m	0,87 m à 0,93 m	0,84 m à 0,97 m



**FIGURE 10 – NIVEAUX MARINS EXTREMES EXTRAPOLÉS PAR LE CEREMA ; AJUSTEMENT PAR LOI EXPONENTIELLE RETENU [SOURCE : CEREMA, 2018]**

### 2.4.3 - Surcote de déferlement

La surcote induite par le déferlement des vagues en faible profondeur d'eau est, en première approche, de l'ordre de 20% de la hauteur significative au large, sous hypothèse d'une pente régulière du large à la côte. L'estimation précise de cette valeur reste complexe, au demeurant, et nécessite le recours à la modélisation numérique. Celle-ci ne fait donc pas l'objet d'une estimation en amont, ici.

### 2.4.4 - Surélévation liée au changement climatique (SLCC)

Le changement climatique se traduit, au niveau mondial, par une hausse chronique du niveau de la mer. Les estimations de cette tendance évoluent au fil des estimations du GIEC. Les dernières projections réalisées (AR6) prévoient, dans le cadre du scénario SSP5-8.5 (le plus pessimiste, sans modification des politiques en matière de climat), une hausse de :

- +0.24m en 2050,
- +0.45m en 2075,
- +0.74m en 2100

par rapport au niveau de référence (période 1995-2014).

Une rehausse de **+0.45m** au niveau actuel à l'horizon **2075** est retenue dans le cadre de ces études.

### 2.4.5 - Niveaux extrêmes simulés

*In fine*, l'addition des niveaux extrêmes du CEREMA et de la surélévation à long terme du niveau moyen permet de définir les niveaux à simuler au large dans le cadre des modélisations numériques. La synthèse de ces niveaux est donnée dans le Tableau 5 pour toutes les périodes de retour considérées. Le niveau centennal à l'horizon 2075 est ainsi estimé à +1.25mNGF. Le niveau extrême à 1 an (+0.58mNGF sans SLCC) a été extrapolé par un ajustement logarithmique.

**TABLEAU 5 – SYNTHÈSE DES NIVEAUX EXTREMES (INCLUANT LA SURELEVATION LIÉE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE) UTILISÉS POUR LES SIMULATIONS NUMÉRIQUES**

<b>Tr[ans]</b>	<b>Niveau extrême (marée+surcote) [mNGF]</b>	<b>SLCC 2075[m] (AR6, SSP5-8.5)</b>	<b>Niveau total avec SLCC [mNGF]</b>
<b>1</b>	<b>0.58</b>	0.45	<b>1.03</b>
<b>5</b>	0.66	0.45	<b>1.11</b>
<b>10</b>	0.69	0.45	<b>1.14</b>
<b>20</b>	0.72	0.45	<b>1.17</b>
<b>50</b>	0.76	0.45	<b>1.21</b>
<b>100</b>	0.8	0.45	<b>1.25</b>

## 3 - MODELISATION DE LA PROPAGATION DE LA HOULE DU LARGE A LA COTE

### 3.1 - Méthodologie et suite logicielle utilisée

Le modèle de propagation est construit à l'aide du code **TOMAWAC** de la suite logicielle **open TELEMAC-MASCARET**, développée et maintenue par EDF R&D ([opentelemac.org](http://opentelemac.org)). Le code TOMAWAC permet le calcul, par la méthode des éléments finis (maillage avec éléments triangulaires), de la propagation des états de mer du large à la côte, en prenant en compte les phénomènes suivants :

- réfraction (bathymétrie, courants),
- levée (*shoaling*),
- interactions non linéaires entre fréquences (quadruplets),
- dissipation par déferlement bathymétrie
- génération par le vent,
- dissipation par moutonnement,
- dissipation par frottement sur le fond.

Le code TOMAWAC calcule les spectres d'état de mer en tout point du domaine et en déduit les paramètres synthétiques de hauteur significative ( $H_m0$ ), période de pic ( $T_p$ ), direction moyenne ( $Dir_m$ ), etc.

Pour le calcul de la surélévation liée au déferlement de la houle à la côte (*wave setup*), un couplage direct avec le code d'hydraulique à surface libre bidimensionnel **TELEMAC2D** – de la même suite logicielle – est réalisé. Ce logiciel travaille sur le même maillage que TOMAWAC et intègre directement les efforts de houle dans l'équation de Saint-Venant.

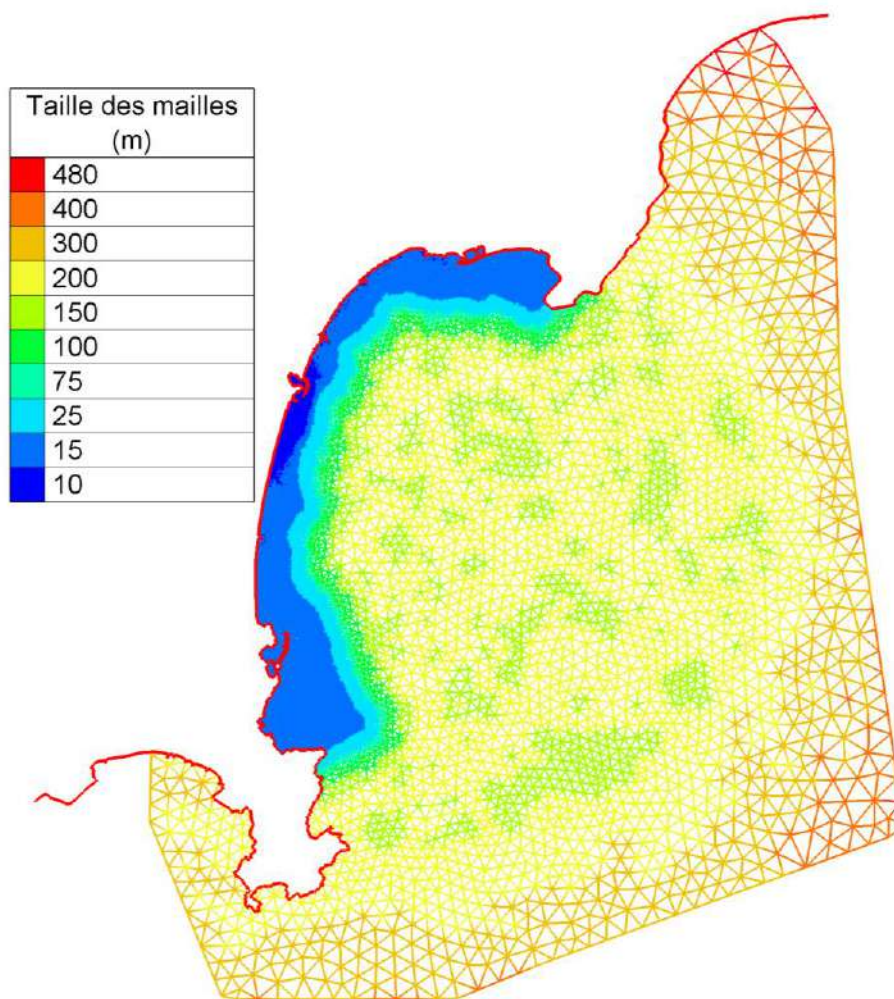
### 3.2 - Emprise du modèle et maillage

L'emprise du domaine couvre l'intégralité de la Baie des Anges, du Cap d'Antibes jusqu'à Nice (Figure 11).

La frontière terrestre est définie par le trait de côte de la base de données HISTOLITT. Aux frontières maritimes du modèle (qui coïncide avec la position des points ANEMOC-2 de l'étude météo-océanique, cf. Figure 2), la taille des mailles est inférieure ou égale à 500m. Pour bien représenter la propagation de la houle, le maillage est progressivement raffiné jusqu'à la cote :

- à 200m dans la Baie des Anges,
- inférieure à 20m à partir de l'isobathe -50m NGF,
- entre 10 et 15m au niveau des zones d'intérêt.

Le maillage final est constitué de 40 200 nœuds.



**FIGURE 11 – DENSITE DU MAILLAGE (M) CONSTRUIT POUR LA MODELISATION NUMERIQUE**

### 3.3 - Modèle Numérique Terrestre

Les données topo-bathymétriques les plus récentes et les plus précises sont exploitées, à savoir :

- SHOM BDD LIDAR : Partie maritime Litto3D® - PACA 2014 d'une résolution de 1m,
- Navionics pour les isobathes -50, -100 et -200mCM,
- SHOM BDD HOMONIM : MNT 2015 bathymétrie de façade Golfe du Lion – Côte d'Azur d'une résolution de 0.001° (~ 111m).

Ces sources de données ont été concaténées et interpolées sur le maillage. La bathymétrie du modèle de propagation est illustrée sur la Figure 12. Au large la profondeur d'eau est supérieure à 1 000m (Canyon du Var).

Des écarts ayant été constatés entre les données HOMONIM et LITTO3D, cette dernière a été privilégiée sur les zones concernées. La bathymétrie Navionics, cohérente avec LITTO3D, a été utilisée pour lisser la cote des fonds là où LITTO3D et HOMONIM diffèrent.

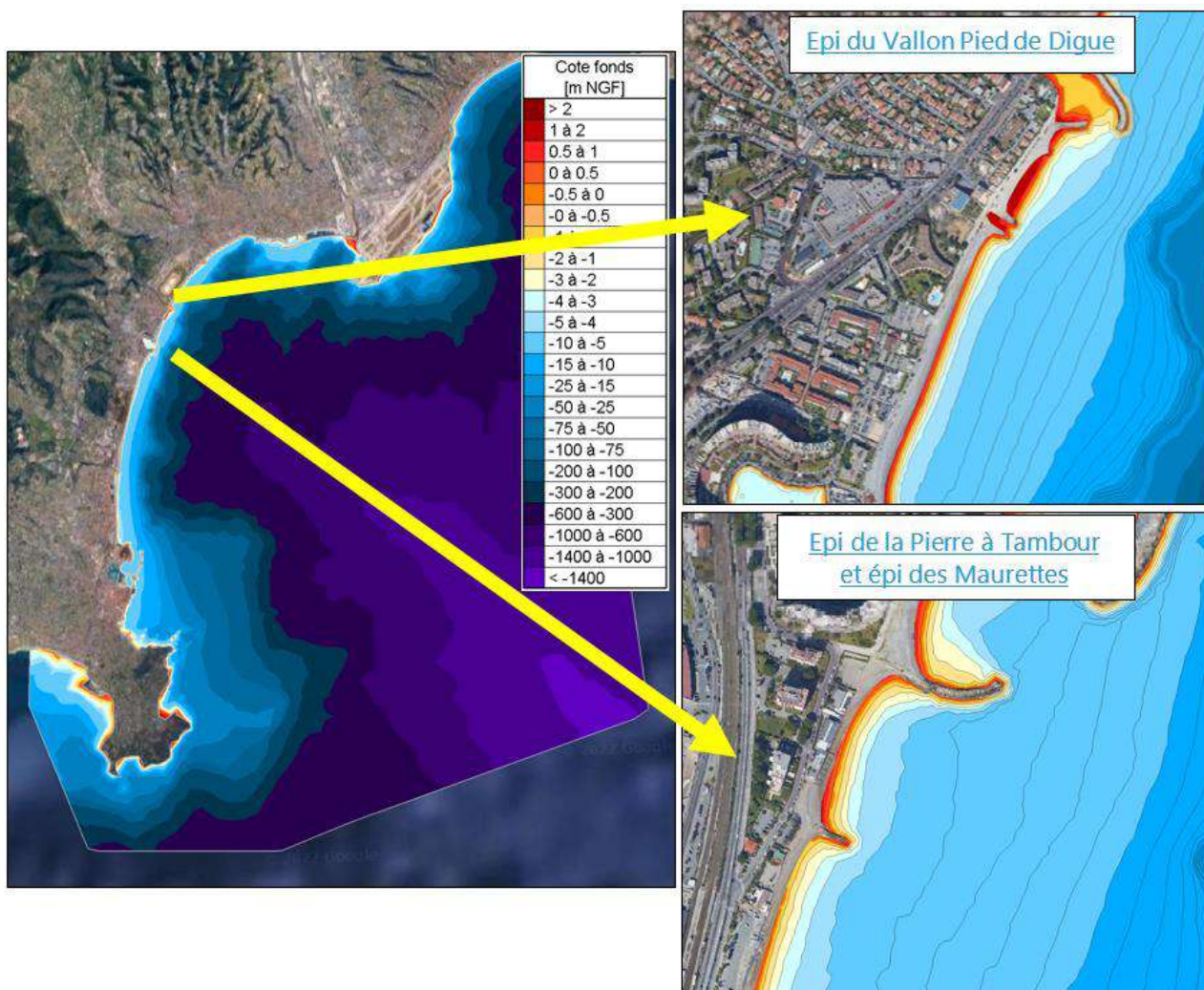


FIGURE 12 – MNT (EN mNGF) SUR LE DOMAINE DE CALCUL : VUE D'ENSEMBLE SUR LA BAIE (GAUCHE) ET VUES SPECIFIQUES AUTOUR DE L'EPI DU VALLON PIED DE DIGUE (DR., HAUT) ET DES EPIS DE LA PIERRE A TAMBOUR ET DES MAURETTES (DR., BAS)

### 3.4 - Paramétrisation du modèle

Le modèle TOMAWAC a été exploité en activant les phénomènes suivants :

- réfraction,
- shoaling,
- frottement au fond,
- déferlement bathymétrique (coefficient de déferlement par défaut de 0.8),
- moutonnement,
- interactions inter-fréquences (quadruplets et triplets),
- interactions houle-courant,
- génération par le vent.

La résolution de l'équation de conservation de l'action spectrale est effectuée à l'aide d'une discrétisation spectro-angulaire de 24 directions et 27 fréquences (0.05 à 0.60Hz).

Dans TELEMAC2D, un frottement suivant une formulation de type Strickler avec  $K = 60\text{m}^{1/3}/\text{s}$  a été appliqué par défaut sur l'intégralité du domaine. Pour la modélisation de la turbulence, la formulation de Smagorinsky a été retenue. L'entraînement par le vent a été inclus à l'aide de la formulation de Flather.

Le couplage entre les deux codes est réalisé avec une période de couplage de 10 minutes, offrant un compromis raisonnable entre précision des résultats et réduction des temps de calcul.

### 3.5 - Conditions aux limites

#### 3.5.1 - Hauteurs d'eau

Le forçage des hauteurs d'eau aux frontières est modélisé par une hauteur de consigne homogène et stationnaire, correspondant au niveau d'eau au large cible, et des vitesses nulles (intérêt uniquement porté sur la surcote de déferlement à la côte et les courants côtiers induits).

#### 3.5.2 - Etats de mer

Les états de mer du large (spectres directionnels) sont modélisés à l'aide de formes spectrales de type JONSWAP ( $\gamma$ ) et distribution angulaire de Mitsuyasu ( $\cos^2s$ ), pour un jeu de paramètres synthétique  $Hm0$ ,  $Tp$  et  $Dirp$ .

#### 3.5.3 - Vent

Pour la formation du clapot et de l'entraînement des masses d'eau dans la baie, un même champ de vent homogène et stationnaire est appliqué sur le domaine de calcul.

### 3.6 - Cas de calcul simulés

Conformément aux résultats de l'étude océano-météorologique précédente, un total de 24 cas de calculs – listés dans le Tableau 6 – ont été simulés. Six périodes de retour (1 an à 100 ans), deux secteurs directionnels (E et SSO) et deux types de niveaux d'eau (même période de retour que la houle pour les niveaux hauts et BMVE pour le niveau bas) sont ainsi reproduits.



**TABLEAU 6 – CAS DE CALCUL SIMULES AVEC TOMAWAC-TELEMAC2D**

Période de retour (ans)	Direction (°N)	Hauteur Significative (m)	Période Pic (s)	Etalement Directionnel	Niveau (m NGF)	Vitesse du vent (m/s)	Origine du vent (°N)	Numéro de simulation
1	80	2,85	6,8	4	1,03	16,5	100	0
5	80	3,64	7,6	4	1,11	19,7	100	1
10	80	3,96	8	4	1,14	21	100	2
20	80	4,27	8,3	4	1,17	22,7	100	3
50	80	4,66	8,6	4	1,21	24,8	100	4
100	80	4,94	8,9	4	1,25	26,4	100	5
1	200	2,75	9,4	10	1,03	15,1	200	6
5	200	3,64	10,8	10	1,11	17,9	200	7
10	200	4,06	11,4	10	1,14	19,3	200	8
20	200	4,5	12	10	1,17	20,6	200	9
50	200	5,12	12,8	10	1,21	22,6	200	10
100	200	5,62	13,4	10	1,25	24	200	11
<b>Niveau de BMVE</b>								
Période de retour (ans)	Direction (°N)	Hauteur Significative (m)	Période Pic (s)	Etalement Directionnel	Niveau (m NGF)	Vitesse du vent (m/s)	Origine du vent (°N)	Numéro de simulation
1	80	2,85	6,8	4	0,07	0	0	12
5	80	3,64	7,6	4	0,07	0	0	13
10	80	3,96	8	4	0,07	0	0	14
20	80	4,27	8,3	4	0,07	0	0	15
50	80	4,66	8,6	4	0,07	0	0	16
100	80	4,94	8,9	4	0,07	0	0	17
1	200	2,75	9,4	10	0,07	0	0	18
5	200	3,64	10,8	10	0,07	0	0	19
10	200	4,06	11,4	10	0,07	0	0	20
20	200	4,5	12	10	0,07	0	0	21
50	200	5,12	12,8	10	0,07	0	0	22
100	200	5,62	13,4	10	0,07	0	0	23

### 3.7 - Résultats de modélisation

Pour chaque simulation, les conditions de :

- $Hm_0$  [m],
- $Dir_m$  [°N],
- $T_p$  [s],
- $Z_w$  [mNGF], niveau total intégrant la composante côtière liée au déferlement (*setup*),

sont extraites au pied des différents épis étudiés (Figure 13) :

- épi des Maurettes,
- épi de la Pierre à Tambour,
- épis du Vallon Pied de Digue.

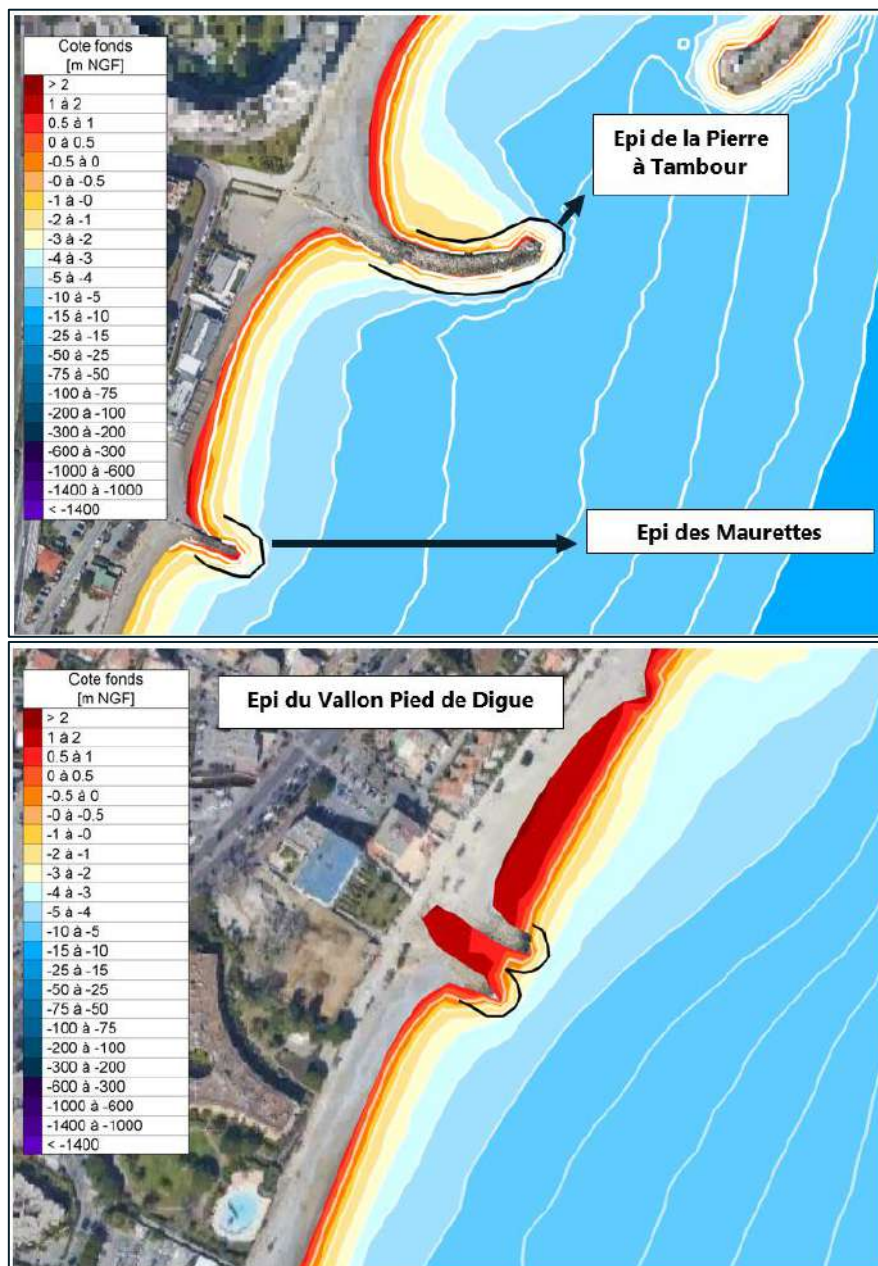
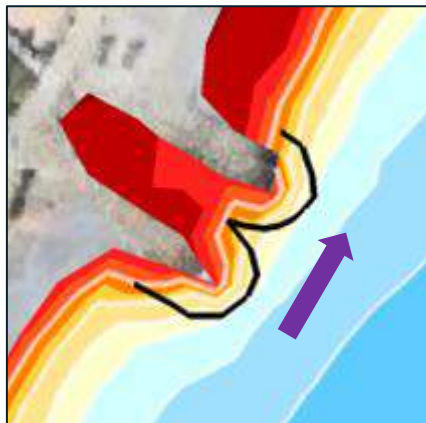


FIGURE 13 – LIGNES D'EXTRACTION AUTOUR DES OUVRAGES POUR LES ENTRANTS DE CONCEPTION : EPIS DES MAURETTES ET PIERRE A TAMBOUR (HAUT) ET EPIS DU VALLON PIED DE DIGUE (BAS)

Les résultats sont fournis sous forme de courbes illustrant la variation de chaque paramètre le long de la ligne d'extraction propre à chaque ouvrage. Les résultats de Hm0 en conditions 50 et 100 ans sont illustrés ci-dessous à titre d'exemple. L'intégralité des résultats (courbes et plans de vagues) est fournie en [Annexe III](#).

### 3.7.1 - Epi du Vallon Pied de Digue



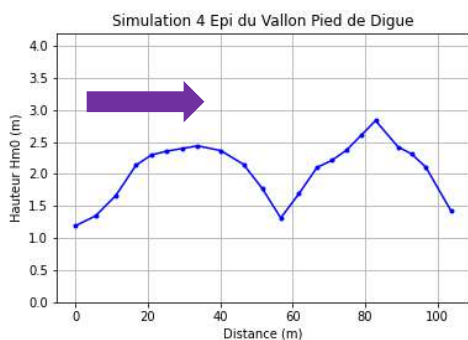
**NB : la flèche indique le sens de lecture des résultats (x croissants sur les courbes ci-dessous)**

**Période de retour**

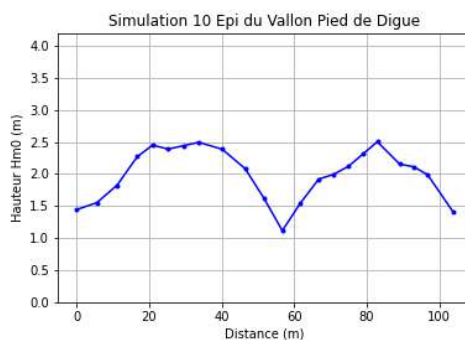
**Secteur 80°N**

**Secteur 200°N**

**50 ans**

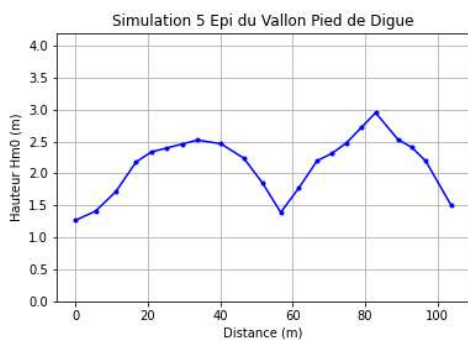


Maximum Hm0 = 2.83 m  
Moyenne Hm0 = 2.07 m

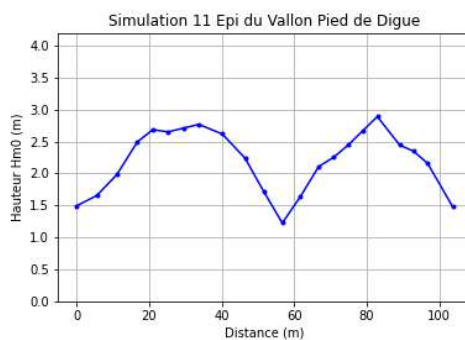


Maximum Hm0 = 2.50 m  
Moyenne Hm0 = 2.00 m

**100 ans**

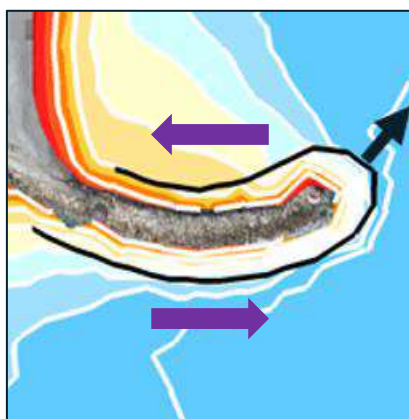


Maximum Hm0 = 2.95 m  
Moyenne Hm0 = 2.15 m



Maximum Hm0 = 2.89 m  
Moyenne Hm0 = 2.21 m

### 3.7.2 - Epi de la Pierre à Tambour



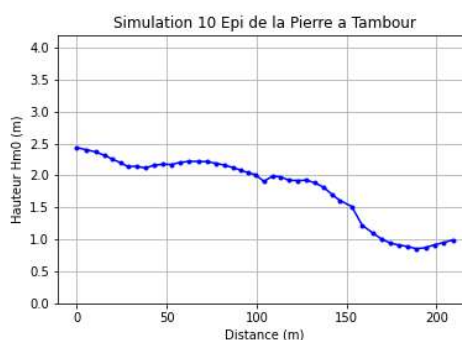
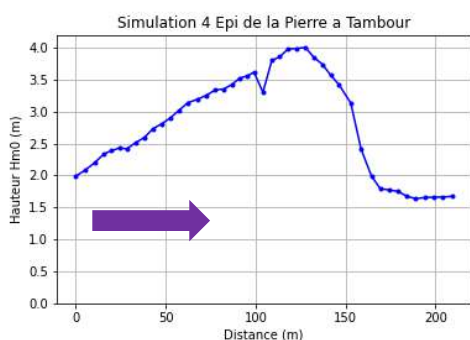
**NB : les flèches indiquent le sens de lecture des résultats (x croissants sur les courbes ci-dessous)**

**Période de retour**

**50 ans**

**Secteur 80°N**

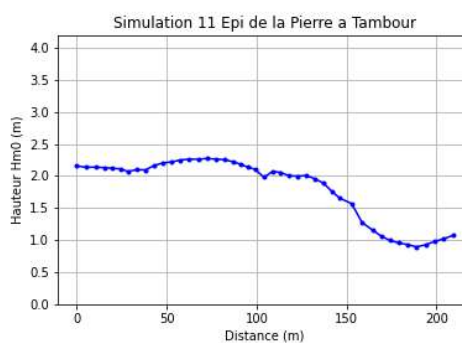
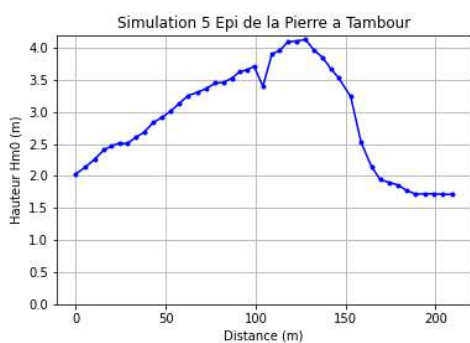
**Secteur 200°N**



Maximum Hm0 = 4.00 m  
Moyenne Hm0 = 2.80 m

Maximum Hm0 = 2.44 m  
Moyenne Hm0 = 1.80 m

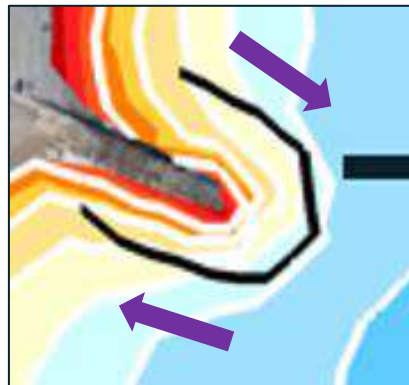
**100 ans**



Maximum Hm0 = 4.13 m  
Moyenne Hm0 = 2.90 m

Maximum Hm0 = 2.27 m  
Moyenne Hm0 = 1.82 m

### 3.7.3 - Epi des Maurettes



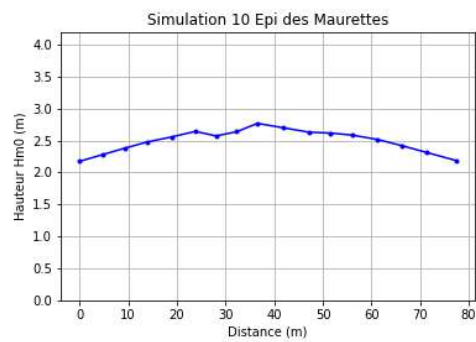
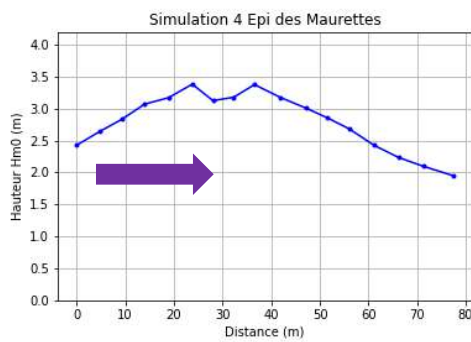
**NB : les flèches indiquent le sens de lecture des résultats (x croissants sur les courbes ci-dessous)**

**Période de retour**

**50 ans**

**Secteur 80°N**

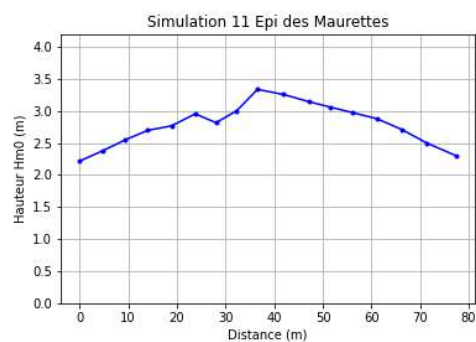
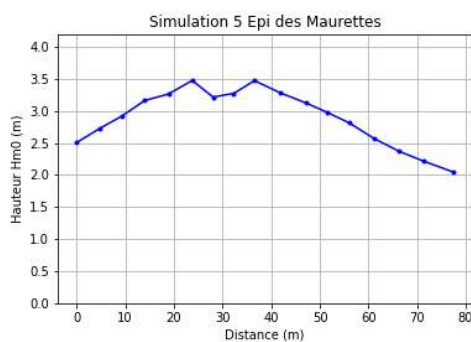
**Secteur 200°N**



Maximum Hm0 = 3.38 m  
Moyenne Hm0 = 2.80 m

Maximum Hm0 = 2.77  
Moyenne Hm0 = 2.50

**100 ans**



Maximum Hm0 = 3.47 m  
Moyenne Hm0 = 2.90 m

Maximum Hm0 = 3.33 m  
Moyenne Hm0 = 2.80 m

### 3.7.4 - Observations générales

Les observations suivantes peuvent être faites au regard des plans de vagues réalisés :

- Au-devant des ouvrages, les trains de vagues proviennent d'E à SE, notamment par effet de réfraction des systèmes de SSO,
- On observe peu de différences en termes de  $Hm_0$  entre les événements 50 ans et 100 ans (effet d'écrêtement de la houle avec la remontée des fonds),
- Les conditions de houle d'E sont généralement plus pénalisantes que celle de SSO en raison de l'incidence directe sur les ouvrages (réfraction des vagues limitée),
- Les conditions centennales les plus pénalisantes (musoir) sont :
  - pour l'épi des Maurettes :  **$Hm_0 = 3.47m$  (E)**
  - pour l'épi de la Pierre à Tambour :  **$Hm_0 = 4.13m$  (E)**
  - pour les épis du Vallon Pied de Digue :  **$Hm_0 = 2.95m$  (E).**
- L'épi de la Pierre à Tambour subit des sollicitations hydrauliques plus intenses que les autres épis en raison de sa plus grande avancée en mer (pied du musoir situé entre les cotes -5mNGF et -6mNGF).
- En conditions à niveau bas, les hauteurs significatives sont moins élevées en raison de l'écrêtement opéré par les fonds. A titre d'exemple, la hauteur significative au musoir de l'épi de la Pierre à Tambour est réduite de près de 30% par rapport à la condition à niveau haut.
- Le niveau d'eau en conditions centennales est généralement proche de +1.5mNGF (variable selon la direction de la houle du large et l'épi considéré), indiquant une surcote de déferlement de l'ordre de 25cm sur les trois sites. Cette valeur est stable le long des ouvrages ou bien augmente près du trait de côte où un fort déferlement a lieu.

### 3.7.5 - Dérive littorale

Le modèle TELEMAC2D couplé à TOMAWAC permet de calculer la surélévation (*setup*) ainsi que les courants de dérive associés au déferlement des vagues sur la côte. Les résultats de simulation obtenus en conditions annuelles et centennales pour les deux secteurs directionnels d'étude sont illustrés en **Annexe IV** afin de caractériser la circulation autour des ouvrages.

En conditions de houle d'E, la dérive littorale est globalement orientée  $N > S$ . En conditions annuelles, la dérive est peu intense autour de l'épi du Vallon Pied de Digue ( $< 0.4m/s$ ) mais atteint 0.6 à 0.8m/s entre la marina et l'épi des Maurettes. En conditions centennales, une contre-dérive ( $S > N$ ) se forme entre la marina et les épis du Vallon Pied de Digue, de sorte qu'un courant d'arrachement – portant vers le large à une vitesse atteignant 0.8m/s – apparaît ponctuellement à quelques dizaines de mètres au Sud des épis.

Réciproquement, en conditions de houle de SSO, la dérive est orientée  $S > N$ . En conditions annuelles, celle-ci dépasse 0.6m/s devant les musoirs des épis et de la digue de la marina. Au Sud des épis du Vallon Pied de Digue, la dérive est très supérieure à 1m/s, de sorte qu'une accrétion sédimentaire est attendue contre l'épi Sud lors de tels événements. En conditions centennales, ces tendances sont accrues : la vitesse du courant atteint 2m/s devant les musoirs des épis du Vallon Pied de Digue et de l'épi des Maurettes. Le long de la digue principale de la marina et de l'épi de la Pierre à Tambour, le courant reste inférieur à 1.5m/s.

#### NB :

- Les résultats de vitesse sur le trait de côte doivent être considérés avec précaution car soumis à effets de bord.
- Le modèle courantologique n'ayant pas fait l'objet d'un calage (notamment sur la base de mesures *in situ*), les vitesses calculées restent indicatives. Par ailleurs, l'analyse courantologique n'étant pas la

finalité première de cette étude de Tranche Ferme, elle n'est esquissée ici qu'à titre indicatif et nécessitera un approfondissement dans le cadre des études de Tranches Optionnelles.

## REFERENCES

SHOM (2020) : « Références altimétriques maritimes, Ports de France métropolitaine et d’Outre-mer ».

CEREMA (2018) : « Les niveaux marins extrêmes – Ports de métropole », Rapport GEN-38364.

Données ANEMOC-2 Méditerranée:

<https://www.cdata.cerema.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search?sessionId=A9AFE40E46F78DD96A3DD70543FB6835#/metadata/ef16f169-e208-4549-948b-4b01c27d1508>

Outil de prédiction SLCC de la NASA/IPCC (AR6) : <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

Site de la suite TELEMAC-MASCARET : <http://www.opentelemac.org/>



# ANNEXE I: STATISTIQUES D'ETATS DE MER

## Tables d'occurrences jointes

Point 6672

Hm0 \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL	
[0 - 0.25[	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.16%	1.26%	2.64%	2.16%	1.39%	1.27%	1.48%	2.33%	4.20%	5.65%	0.59%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	23.18%
[0.25 - 0.5[	0.00%	0.01%	0.05%	0.15%	0.72%	2.99%	3.97%	2.48%	1.35%	1.30%	1.90%	2.90%	5.42%	8.66%	2.25%	0.16%	0.05%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	34.39%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.00%	0.01%	0.08%	0.79%	2.26%	2.05%	0.94%	0.45%	0.43%	0.58%	0.87%	1.90%	3.78%	3.08%	0.43%	0.07%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	17.76%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.60%	1.51%	1.05%	0.38%	0.18%	0.17%	0.21%	0.37%	0.89%	1.72%	2.24%	0.56%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.04%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.43%	1.10%	0.60%	0.20%	0.09%	0.10%	0.10%	0.22%	0.52%	0.88%	1.51%	0.49%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.32%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	0.74%	0.37%	0.11%	0.07%	0.05%	0.06%	0.10%	0.26%	0.44%	0.96%	0.27%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.76%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%	0.47%	0.22%	0.06%	0.04%	0.04%	0.03%	0.05%	0.14%	0.23%	0.49%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.08%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	0.30%	0.15%	0.04%	0.02%	0.02%	0.01%	0.03%	0.09%	0.12%	0.20%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.14%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.18%	0.08%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.08%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.11%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%	0.04%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5.25 - 5.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.34%</b>	<b>3.51%</b>	<b>11.04%</b>	<b>11.21%</b>	<b>6.41%</b>	<b>3.60%</b>	<b>3.41%</b>	<b>4.39%</b>	<b>6.90%</b>	<b>13.56%</b>	<b>21.65%</b>	<b>11.46%</b>	<b>2.04%</b>	<b>0.26%</b>	<b>0.07%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>	

# Hm0 \ Tp

	[0 - 1[	[1 - 2[	[2 - 3[	[3 - 4[	[4 - 5[	[5 - 6[	[6 - 7[	[7 - 8[	[8 - 9[	[9 - 10[	[10 - 11[	[11 - 12[	[12 - 13[	[13 - 14[	[14 - 15[	[15 - 16[	CUMUL
[0 - 0.25[	0.00%	0.66%	8.61%	10.39%	2.38%	0.65%	0.29%	0.13%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	23.18%
[0.25 - 0.5[	0.00%	0.01%	3.55%	11.29%	12.22%	4.05%	1.59%	0.80%	0.49%	0.24%	0.10%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	34.39%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.00%	0.12%	2.68%	5.74%	5.39%	2.21%	0.85%	0.41%	0.20%	0.10%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	17.76%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.45%	2.65%	3.37%	2.18%	0.85%	0.29%	0.15%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.04%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	1.09%	2.13%	1.74%	0.80%	0.31%	0.13%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	6.32%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%	1.39%	1.06%	0.64%	0.27%	0.12%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.76%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.65%	0.62%	0.42%	0.21%	0.10%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.08%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.42%	0.24%	0.15%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.14%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.24%	0.13%	0.08%	0.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.08%	0.05%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5.25 - 5.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.68%</b>	<b>12.29%</b>	<b>24.83%</b>	<b>24.31%</b>	<b>17.88%</b>	<b>10.54%</b>	<b>5.07%</b>	<b>2.35%</b>	<b>1.20%</b>	<b>0.57%</b>	<b>0.21%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>

# Tp \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL	
[0 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
[1 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.05%	0.08%	0.12%	0.18%	0.12%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.68%
[2 - 3[	0.00%	0.01%	0.04%	0.06%	0.19%	0.54%	1.03%	1.05%	0.85%	0.75%	0.83%	1.45%	2.66%	2.55%	0.24%	0.02%	0.00%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	12.29%
[3 - 4[	0.00%	0.00%	0.01%	0.13%	0.66%	2.33%	3.86%	2.61%	1.30%	1.06%	1.22%	1.82%	3.51%	5.28%	0.80%	0.14%	0.06%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	24.83%
[4 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	1.20%	3.81%	3.64%	1.66%	0.66%	0.60%	0.90%	1.17%	2.68%	5.50%	1.75%	0.51%	0.11%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	24.31%
[5 - 6[	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	1.05%	2.88%	1.72%	0.63%	0.38%	0.43%	0.56%	0.99%	1.87%	3.40%	3.15%	0.77%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	17.88%
[6 - 7[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.35%	1.14%	0.68%	0.29%	0.20%	0.29%	0.40%	0.70%	1.30%	1.98%	2.85%	0.34%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.54%
[7 - 8[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.29%	0.22%	0.11%	0.12%	0.15%	0.23%	0.39%	0.74%	1.17%	1.45%	0.13%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.07%
[8 - 9[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.05%	0.04%	0.04%	0.05%	0.09%	0.15%	0.34%	0.83%	0.66%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.35%
[9 - 10[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%	0.08%	0.17%	0.47%	0.33%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.20%
[10 - 11[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.08%	0.24%	0.15%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.57%
[11 - 12[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.09%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%
[12 - 13[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
[13 - 14[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[14 - 15[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[15 - 16[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.34%</b>	<b>3.51%</b>	<b>11.04%</b>	<b>11.21%</b>	<b>6.41%</b>	<b>3.60%</b>	<b>3.41%</b>	<b>4.39%</b>	<b>6.90%</b>	<b>13.56%</b>	<b>21.65%</b>	<b>11.46%</b>	<b>2.04%</b>	<b>0.26%</b>	<b>0.07%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>	

Point 6766

Hm0 \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL
[0 - 0.25[	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%	0.21%	1.30%	2.36%	2.06%	1.34%	1.13%	1.39%	2.01%	3.67%	5.68%	1.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	22.31%
[0.25 - 0.5[	0.01%	0.03%	0.08%	0.23%	1.01%	2.93%	3.60%	2.34%	1.27%	1.19%	1.70%	2.71%	5.07%	8.69%	2.64%	0.21%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	33.80%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.01%	0.02%	0.20%	1.09%	2.17%	1.83%	0.88%	0.41%	0.43%	0.56%	0.86%	1.81%	3.88%	3.33%	0.46%	0.08%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	18.08%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	0.84%	1.39%	0.91%	0.35%	0.17%	0.17%	0.20%	0.36%	0.83%	1.81%	2.40%	0.58%	0.12%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.31%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.64%	1.00%	0.51%	0.18%	0.09%	0.10%	0.09%	0.20%	0.51%	0.94%	1.53%	0.62%	0.09%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	6.59%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.43%	0.64%	0.28%	0.10%	0.06%	0.05%	0.05%	0.10%	0.25%	0.47%	1.00%	0.45%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.98%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.31%	0.39%	0.17%	0.06%	0.03%	0.04%	0.03%	0.05%	0.14%	0.25%	0.57%	0.21%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.30%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.20%	0.21%	0.13%	0.04%	0.02%	0.01%	0.01%	0.03%	0.08%	0.14%	0.28%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.25%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.15%	0.06%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.09%	0.13%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.65%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%	0.07%	0.04%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.03%	0.04%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5.25 - 5.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.13%</b>	<b>0.75%</b>	<b>4.94%</b>	<b>10.34%</b>	<b>9.92%</b>	<b>6.07%</b>	<b>3.42%</b>	<b>3.15%</b>	<b>4.06%</b>	<b>6.36%</b>	<b>12.49%</b>	<b>22.06%</b>	<b>13.01%</b>	<b>2.64%</b>	<b>0.41%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>100.00%</b>

# Hm0 \ Tp

	[0 - 1[	[1 - 2[	[2 - 3[	[3 - 4[	[4 - 5[	[5 - 6[	[6 - 7[	[7 - 8[	[8 - 9[	[9 - 10[	[10 - 11[	[11 - 12[	[12 - 13[	[13 - 14[	[14 - 15[	[15 - 16[	CUMUL
[0 - 0.25[	0.00%	0.63%	8.17%	9.97%	2.44%	0.65%	0.28%	0.13%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	22.31%
[0.25 - 0.5[	0.00%	0.01%	3.53%	11.40%	11.74%	3.89%	1.56%	0.82%	0.51%	0.24%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	33.80%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.00%	0.15%	2.95%	5.72%	5.19%	2.25%	0.92%	0.48%	0.25%	0.11%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	18.08%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.51%	2.88%	3.16%	2.22%	0.92%	0.35%	0.16%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.31%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	1.27%	2.09%	1.77%	0.85%	0.34%	0.13%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	6.59%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	1.43%	1.10%	0.68%	0.29%	0.12%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.98%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.78%	0.63%	0.47%	0.23%	0.10%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.30%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	0.40%	0.26%	0.17%	0.09%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.25%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.25%	0.14%	0.08%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.65%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.12%	0.07%	0.05%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.34%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5.25 - 5.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.65%</b>	<b>11.84%</b>	<b>24.87%</b>	<b>24.38%</b>	<b>17.54%</b>	<b>10.64%</b>	<b>5.35%</b>	<b>2.60%</b>	<b>1.30%</b>	<b>0.58%</b>	<b>0.20%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>

# Tp \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL
[0 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[1 - 2[	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.04%	0.08%	0.11%	0.14%	0.13%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[2 - 3[	0.01%	0.03%	0.07%	0.11%	0.25%	0.55%	0.96%	0.99%	0.80%	0.62%	0.74%	1.19%	2.35%	2.72%	0.39%	0.04%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[3 - 4[	0.00%	0.01%	0.04%	0.27%	0.98%	2.46%	3.58%	2.48%	1.25%	0.96%	1.09%	1.66%	3.23%	5.48%	1.08%	0.16%	0.06%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4 - 5[	0.00%	0.00%	0.01%	0.28%	1.75%	3.75%	3.21%	1.56%	0.63%	0.59%	0.87%	1.19%	2.49%	5.46%	1.95%	0.45%	0.15%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 6[	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	1.45%	2.46%	1.41%	0.59%	0.34%	0.43%	0.54%	0.93%	1.78%	3.39%	3.12%	0.92%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[6 - 7[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.44%	0.86%	0.53%	0.26%	0.19%	0.28%	0.37%	0.66%	1.21%	2.02%	3.15%	0.61%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[7 - 8[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.21%	0.17%	0.11%	0.11%	0.14%	0.22%	0.37%	0.69%	1.24%	1.76%	0.25%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[8 - 9[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.04%	0.04%	0.04%	0.06%	0.09%	0.14%	0.33%	0.84%	0.86%	0.10%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[9 - 10[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%	0.08%	0.15%	0.48%	0.42%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[10 - 11[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.07%	0.21%	0.18%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[11 - 12[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.07%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[12 - 13[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[13 - 14[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[14 - 15[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[15 - 16[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.13%</b>	<b>0.75%</b>	<b>4.94%</b>	<b>10.34%</b>	<b>9.92%</b>	<b>6.07%</b>	<b>3.42%</b>	<b>3.15%</b>	<b>4.06%</b>	<b>6.36%</b>	<b>12.49%</b>	<b>22.06%</b>	<b>13.01%</b>	<b>2.64%</b>	<b>0.41%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>100.00%</b>

Point 6786

Hm0 \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL	
[0 - 0.25[	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.08%	1.12%	3.05%	3.13%	1.99%	1.59%	1.93%	3.04%	5.82%	5.61%	0.15%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27.58%
[0.25 - 0.5[	0.00%	0.01%	0.04%	0.14%	0.54%	2.25%	3.77%	3.14%	1.53%	1.39%	2.05%	3.52%	7.20%	8.43%	1.06%	0.13%	0.03%	0.02%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	35.28%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.52%	1.71%	1.87%	1.17%	0.48%	0.48%	0.60%	1.01%	2.53%	4.49%	1.84%	0.17%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	16.99%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.36%	1.18%	1.01%	0.49%	0.20%	0.18%	0.21%	0.42%	1.14%	2.31%	1.47%	0.21%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.22%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.19%	0.70%	0.59%	0.24%	0.11%	0.12%	0.11%	0.22%	0.61%	1.29%	1.12%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	5.41%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.40%	0.36%	0.12%	0.07%	0.07%	0.06%	0.11%	0.31%	0.61%	0.62%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.85%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.18%	0.22%	0.08%	0.04%	0.04%	0.03%	0.05%	0.17%	0.30%	0.25%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.38%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.11%	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%	0.03%	0.09%	0.17%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.67%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.05%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.05%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.26%</b>	<b>1.85%</b>	<b>7.66%</b>	<b>11.07%</b>	<b>8.48%</b>	<b>4.46%</b>	<b>3.90%</b>	<b>5.02%</b>	<b>8.42%</b>	<b>18.01%</b>	<b>23.37%</b>	<b>6.61%</b>	<b>0.64%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>



# Hm0 \ Tp

	[0 - 1[	[1 - 2[	[2 - 3[	[3 - 4[	[4 - 5[	[5 - 6[	[6 - 7[	[7 - 8[	[8 - 9[	[9 - 10[	[10 - 11[	[11 - 12[	[12 - 13[	[13 - 14[	[14 - 15[	[15 - 16[	CUMUL
[0 - 0.25[	0.00%	0.77%	9.66%	12.29%	3.29%	0.85%	0.39%	0.19%	0.10%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27.58%
[0.25 - 0.5[	0.00%	0.01%	3.11%	10.92%	12.80%	4.80%	1.79%	0.89%	0.49%	0.26%	0.14%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	35.28%
[0.5 - 0.75[	0.00%	0.00%	0.06%	2.25%	5.01%	5.42%	2.65%	0.89%	0.39%	0.18%	0.09%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	16.99%
[0.75 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	2.09%	2.88%	2.43%	0.96%	0.33%	0.16%	0.07%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	9.22%
[1 - 1.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.67%	1.52%	1.73%	0.89%	0.34%	0.15%	0.06%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	5.41%
[1.25 - 1.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.74%	0.84%	0.69%	0.28%	0.12%	0.05%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.85%
[1.5 - 1.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%	0.38%	0.40%	0.20%	0.09%	0.04%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.38%
[1.75 - 2[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.16%	0.20%	0.13%	0.09%	0.04%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.67%
[2 - 2.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.07%	0.07%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%
[2.25 - 2.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%
[2.5 - 2.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%
[2.75 - 3[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%
[3 - 3.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[3.25 - 3.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[3.5 - 3.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[3.75 - 4[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4 - 4.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.25 - 4.5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.5 - 4.75[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4.75 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 5.25[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.78%</b>	<b>12.84%</b>	<b>25.73%</b>	<b>23.96%</b>	<b>16.50%</b>	<b>10.44%</b>	<b>5.22%</b>	<b>2.38%</b>	<b>1.23%</b>	<b>0.60%</b>	<b>0.24%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>

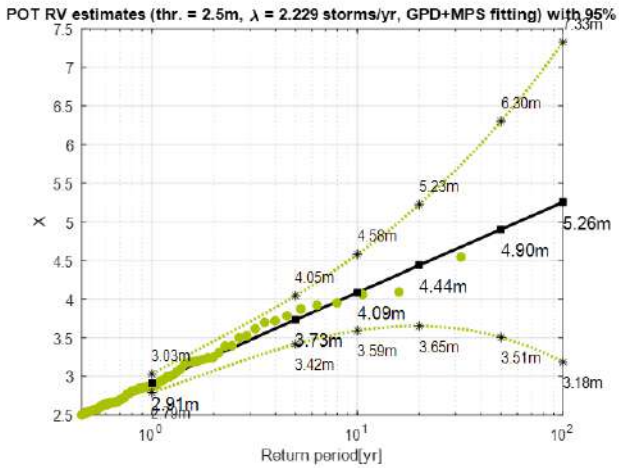
# Tp \ Dirm

	[0 - 15[	[15 - 30[	[30 - 45[	[45 - 60[	[60 - 75[	[75 - 90[	[90 - 105[	[105 - 120[	[120 - 135[	[135 - 150[	[150 - 165[	[165 - 180[	[180 - 195[	[195 - 210[	[210 - 225[	[225 - 240[	[240 - 255[	[255 - 270[	[270 - 285[	[285 - 300[	[300 - 315[	[315 - 330[	[330 - 345[	[345 - 360[	CUMUL
[0 - 1[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[1 - 2[	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.05%	0.07%	0.10%	0.15%	0.21%	0.14%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[2 - 3[	0.00%	0.00%	0.05%	0.08%	0.07%	0.30%	0.97%	1.17%	1.00%	0.78%	0.95%	1.72%	3.43%	2.21%	0.06%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[3 - 4[	0.00%	0.00%	0.01%	0.13%	0.52%	1.82%	3.56%	3.48%	1.63%	1.17%	1.38%	2.31%	4.91%	4.42%	0.28%	0.06%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[4 - 5[	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.82%	2.94%	3.72%	2.26%	0.85%	0.70%	1.05%	1.51%	3.81%	5.41%	0.67%	0.14%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[5 - 6[	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.36%	1.89%	1.76%	0.93%	0.42%	0.49%	0.62%	1.16%	2.39%	4.51%	1.73%	0.19%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[6 - 7[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.57%	0.73%	0.36%	0.25%	0.34%	0.47%	0.81%	1.55%	3.01%	2.15%	0.12%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[7 - 8[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.10%	0.24%	0.18%	0.15%	0.21%	0.26%	0.44%	0.90%	1.63%	1.06%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[8 - 9[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.06%	0.05%	0.06%	0.09%	0.11%	0.17%	0.43%	0.97%	0.38%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[9 - 10[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.04%	0.06%	0.09%	0.22%	0.59%	0.16%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[10 - 11[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.11%	0.31%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[11 - 12[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%	0.13%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[12 - 13[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[13 - 14[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[14 - 15[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[15 - 16[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.26%</b>	<b>1.85%</b>	<b>7.66%</b>	<b>11.07%</b>	<b>8.48%</b>	<b>4.46%</b>	<b>3.90%</b>	<b>5.02%</b>	<b>8.42%</b>	<b>18.01%</b>	<b>23.37%</b>	<b>6.61%</b>	<b>0.64%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.03%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>100.00%</b>

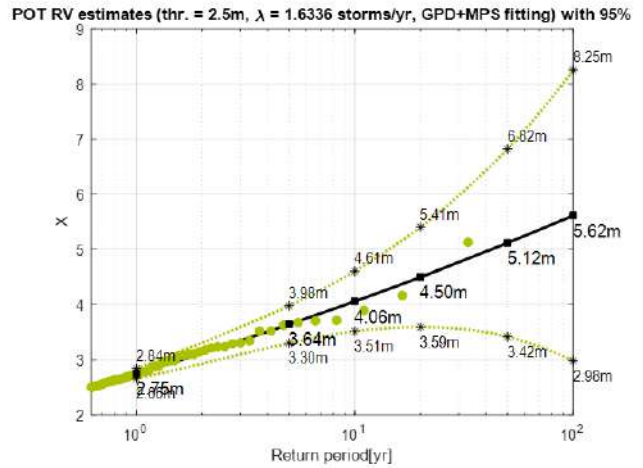
# Extrapolations des valeurs de retour de Hm0

## Point 6672

### Secteur E

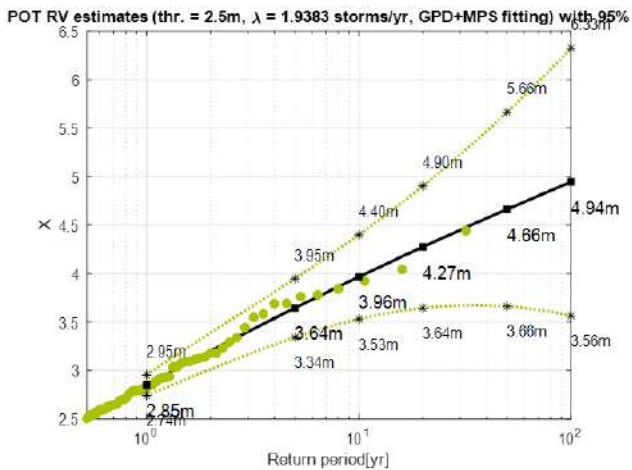


### Secteur SSO

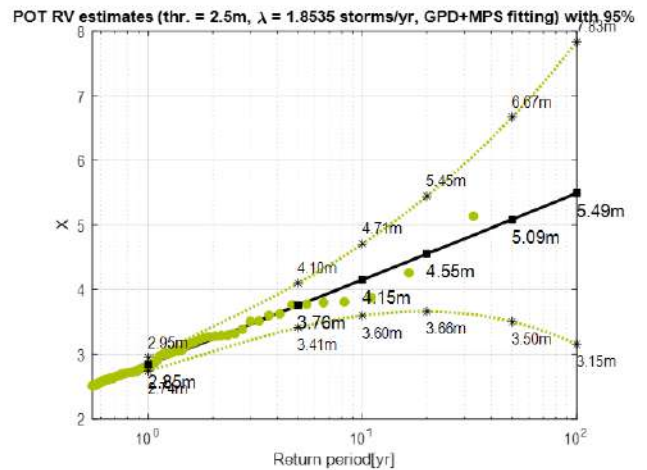


## Point 6766

### Secteur E

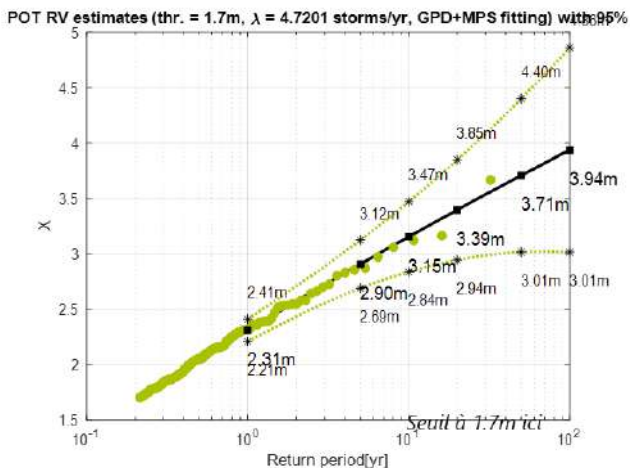


### Secteur SSO

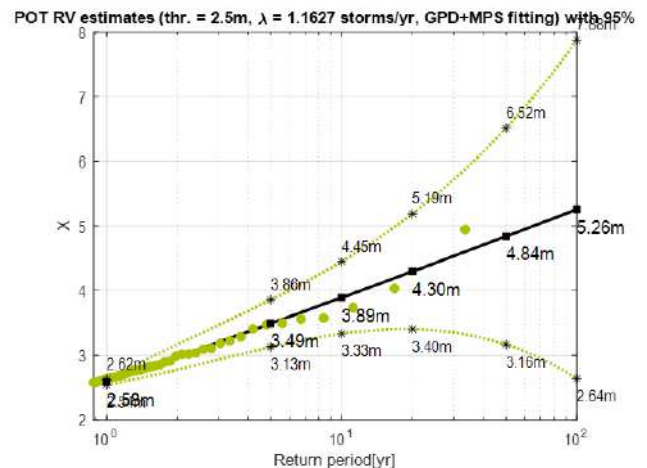


## Point 6786

### Secteur E



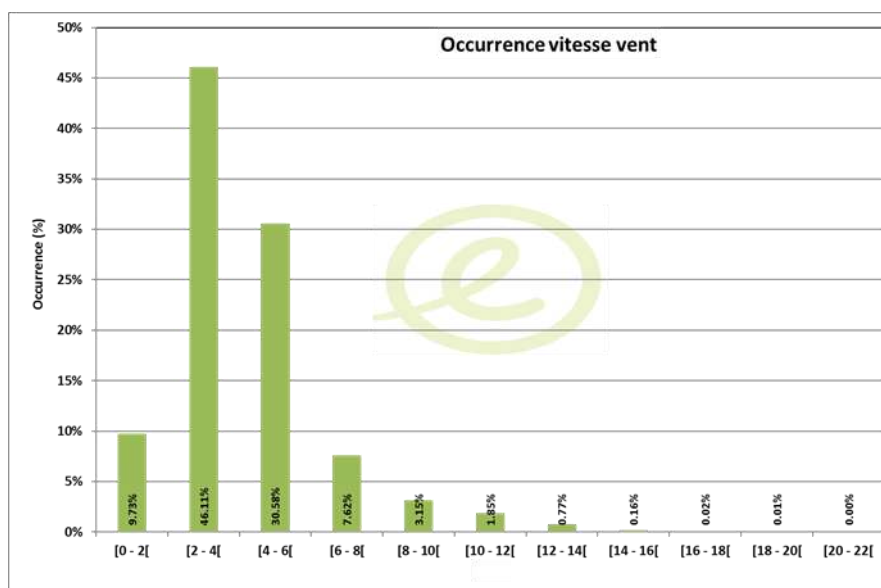
### Secteur SSO



## ANNEXE II : STATISTIQUES DE VENT

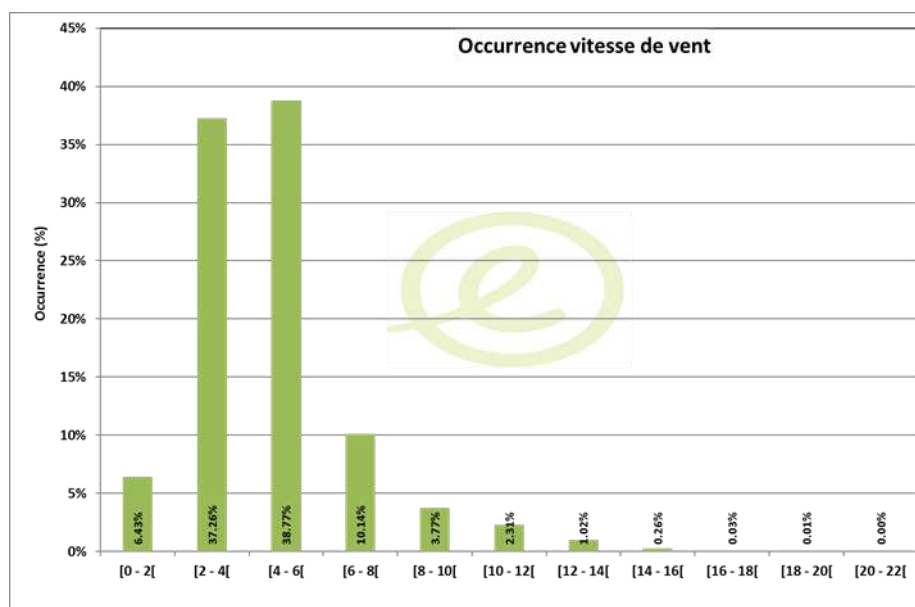
### Annuelles

	[0 - 30[	[30 - 60[	[60 - 90[	[90 - 120[	[120 - 150[	[150 - 180[	[180 - 210[	[210 - 240[	[240 - 270[	[270 - 300[	[300 - 330[	[330 - 360[	CUMUL
[0 - 2[	1.56%	0.45%	0.54%	0.95%	0.99%	1.01%	0.90%	0.60%	0.44%	0.45%	0.84%	0.99%	9.73%
[2 - 4[	1.68%	1.20%	1.73%	3.63%	3.99%	3.69%	3.82%	1.61%	1.08%	1.24%	6.62%	15.84%	46.11%
[4 - 6[	1.09%	0.53%	1.69%	2.56%	0.55%	0.37%	1.68%	0.94%	0.46%	0.42%	3.35%	16.95%	30.58%
[6 - 8[	0.37%	0.20%	1.34%	1.24%	0.11%	0.05%	0.39%	0.51%	0.31%	0.23%	0.48%	2.39%	7.62%
[8 - 10[	0.13%	0.10%	1.05%	0.63%	0.03%	0.02%	0.13%	0.36%	0.42%	0.19%	0.05%	0.05%	3.15%
[10 - 12[	0.02%	0.02%	0.63%	0.39%	0.01%	0.02%	0.04%	0.20%	0.36%	0.11%	0.02%	0.01%	1.85%
[12 - 14[	0.00%	0.01%	0.27%	0.17%	0.00%	0.01%	0.03%	0.07%	0.17%	0.03%	0.01%	0.00%	0.77%
[14 - 16[	0.00%	0.00%	0.09%	0.03%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.16%
[16 - 18[	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
[18 - 20[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[20 - 22[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>4.86%</b>	<b>2.51%</b>	<b>7.35%</b>	<b>9.60%</b>	<b>5.67%</b>	<b>5.17%</b>	<b>7.00%</b>	<b>4.29%</b>	<b>3.27%</b>	<b>2.68%</b>	<b>11.38%</b>	<b>36.23%</b>	<b>100.00%</b>



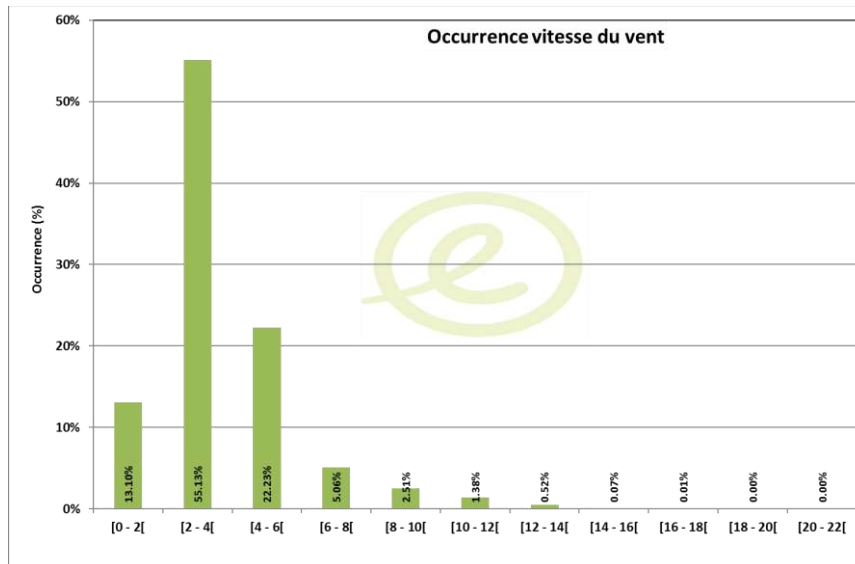
## Hiver

	[0 - 30[	[30 - 60[	[60 - 90[	[90 - 120[	[120 - 150[	[150 - 180[	[180 - 210[	[210 - 240[	[240 - 270[	[270 - 300[	[300 - 330[	[330 - 360[	CUMUL
[0 - 2[	1.16%	0.25%	0.25%	0.52%	0.48%	0.59%	0.48%	0.45%	0.35%	0.39%	0.75%	0.77%	6.43%
[2 - 4[	1.89%	0.90%	1.15%	1.97%	1.32%	1.34%	2.32%	1.44%	1.06%	1.31%	7.08%	15.47%	37.26%
[4 - 6[	1.58%	0.65%	1.37%	1.60%	0.28%	0.21%	1.09%	1.06%	0.59%	0.56%	5.09%	24.71%	38.77%
[6 - 8[	0.56%	0.32%	1.31%	0.98%	0.10%	0.05%	0.31%	0.60%	0.41%	0.35%	0.87%	4.28%	10.14%
[8 - 10[	0.21%	0.17%	1.25%	0.64%	0.03%	0.03%	0.08%	0.39%	0.52%	0.30%	0.09%	0.07%	3.77%
[10 - 12[	0.03%	0.04%	0.87%	0.49%	0.01%	0.03%	0.04%	0.17%	0.42%	0.17%	0.04%	0.01%	2.31%
[12 - 14[	0.00%	0.02%	0.38%	0.22%	0.01%	0.02%	0.04%	0.06%	0.21%	0.04%	0.02%	0.00%	1.02%
[14 - 16[	0.00%	0.00%	0.14%	0.03%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.26%
[16 - 18[	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
[18 - 20[	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[20 - 22[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>5.43%</b>	<b>2.35%</b>	<b>6.75%</b>	<b>6.45%</b>	<b>2.21%</b>	<b>2.27%</b>	<b>4.38%</b>	<b>4.16%</b>	<b>3.60%</b>	<b>3.13%</b>	<b>13.95%</b>	<b>45.32%</b>	<b>100.00%</b>

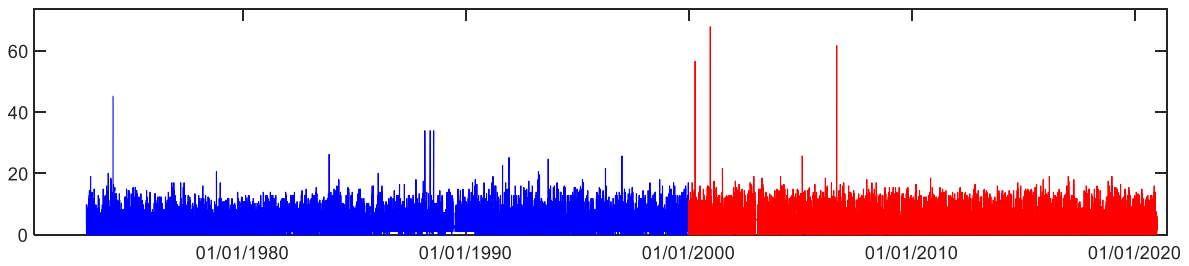


## Eté

	[0 - 30[	[30 - 60[	[60 - 90[	[90 - 120[	[120 - 150[	[150 - 180[	[180 - 210[	[210 - 240[	[240 - 270[	[270 - 300[	[300 - 330[	[330 - 360[	CUMUL
[0 - 2[	1.97%	0.65%	0.84%	1.40%	1.51%	1.45%	1.34%	0.75%	0.54%	0.51%	0.94%	1.22%	13.10%
[2 - 4[	1.47%	1.51%	2.33%	5.31%	6.71%	6.08%	5.34%	1.78%	1.09%	1.16%	6.14%	16.21%	55.13%
[4 - 6[	0.59%	0.40%	2.01%	3.55%	0.82%	0.52%	2.28%	0.82%	0.32%	0.28%	1.57%	9.05%	22.23%
[6 - 8[	0.19%	0.08%	1.36%	1.49%	0.12%	0.05%	0.47%	0.42%	0.22%	0.11%	0.09%	0.46%	5.06%
[8 - 10[	0.04%	0.02%	0.84%	0.61%	0.03%	0.01%	0.18%	0.33%	0.32%	0.08%	0.02%	0.02%	2.51%
[10 - 12[	0.02%	0.01%	0.40%	0.28%	0.01%	0.01%	0.05%	0.24%	0.30%	0.06%	0.01%	0.01%	1.38%
[12 - 14[	0.00%	0.00%	0.15%	0.12%	0.00%	0.00%	0.02%	0.08%	0.13%	0.01%	0.00%	0.00%	0.52%
[14 - 16[	0.00%	0.00%	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%
[16 - 18[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
[18 - 20[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
[20 - 22[	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>CUMUL</b>	<b>4.28%</b>	<b>2.67%</b>	<b>7.97%</b>	<b>12.81%</b>	<b>9.20%</b>	<b>8.12%</b>	<b>9.67%</b>	<b>4.42%</b>	<b>2.92%</b>	<b>2.22%</b>	<b>8.76%</b>	<b>26.97%</b>	<b>100.00%</b>



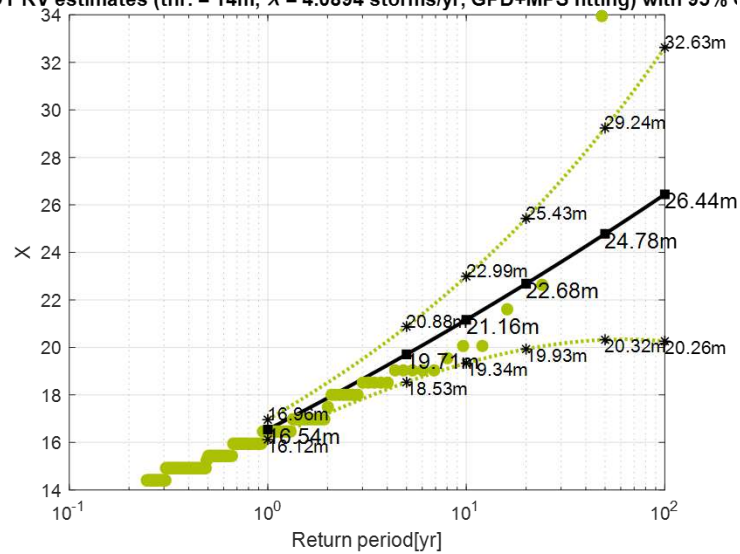
## Extrêmes



Signal METAR concaténé (1973-1999 / 2001-2021) et rééchantillonné (30min).

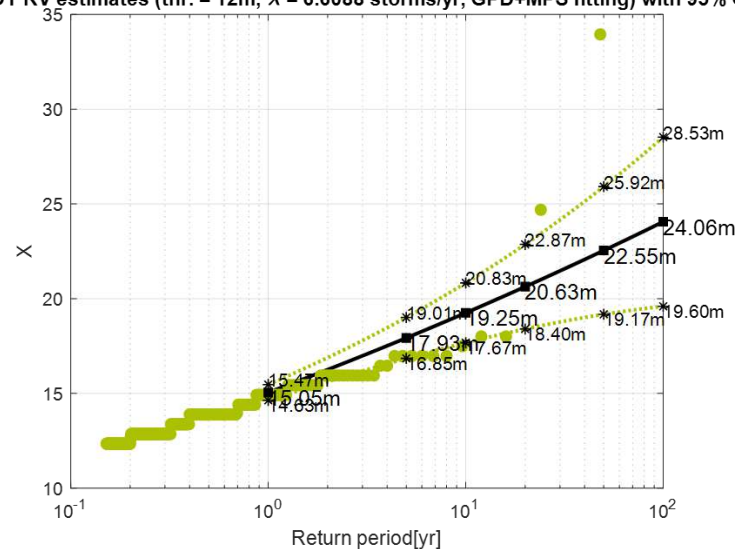
### Secteur E (80°N+/-45°)

POT RV estimates (thr. = 14m,  $\lambda = 4.0894$  storms/yr, GPD+MPS fitting) with 95% CI



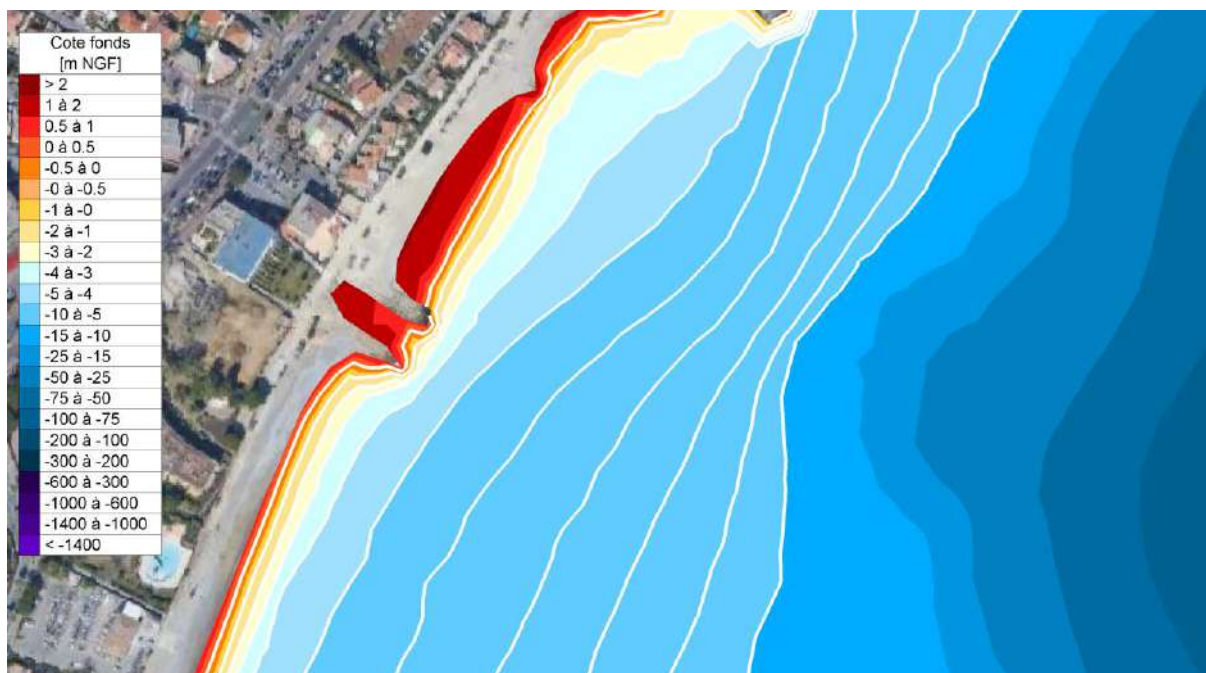
### Secteur SSO (200°N+/-45°)

POT RV estimates (thr. = 12m,  $\lambda = 6.6088$  storms/yr, GPD+MPS fitting) with 95% CI



## ANNEXE III : PLANS DE VAGUES TOMAWAC

### Bathymétrie sur les zones d'intérêt

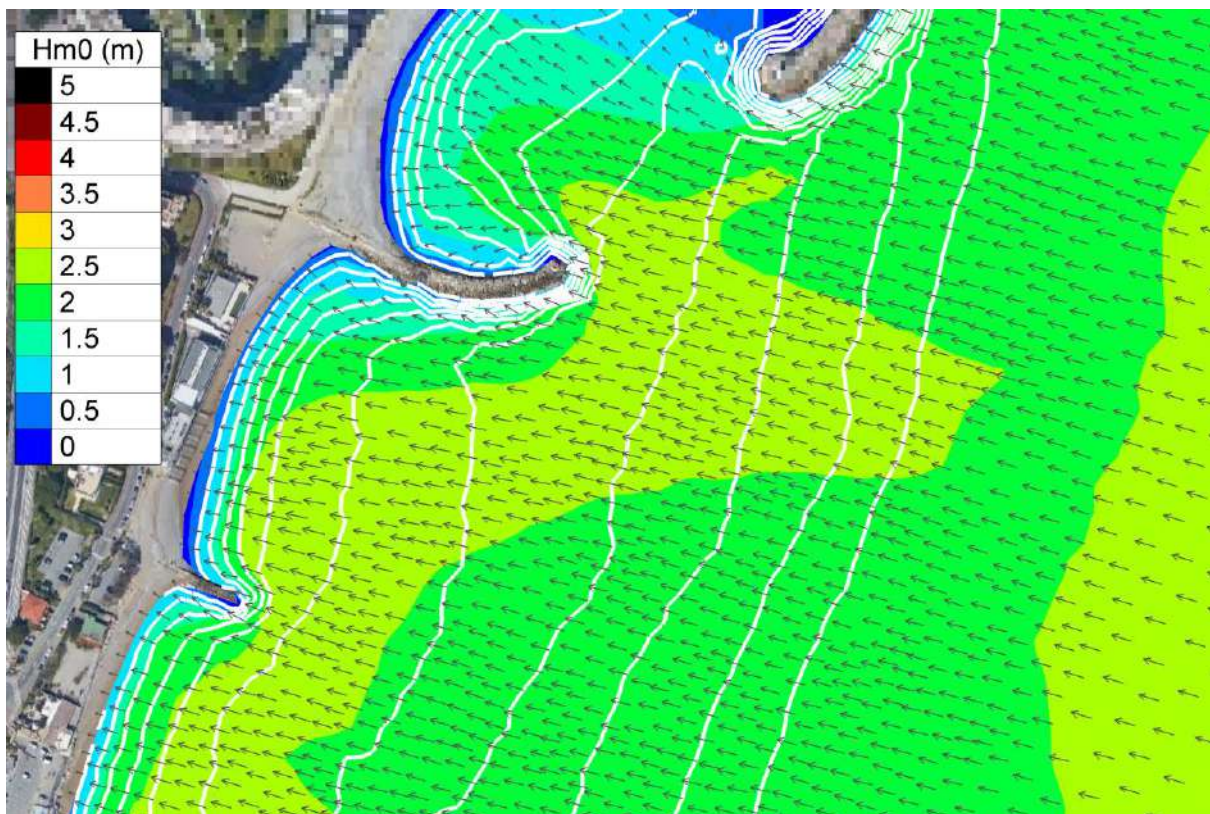


**NB : Les isobathes de -10 à 0m NGF sont indiquées en blanc par intervalles de 1m.**

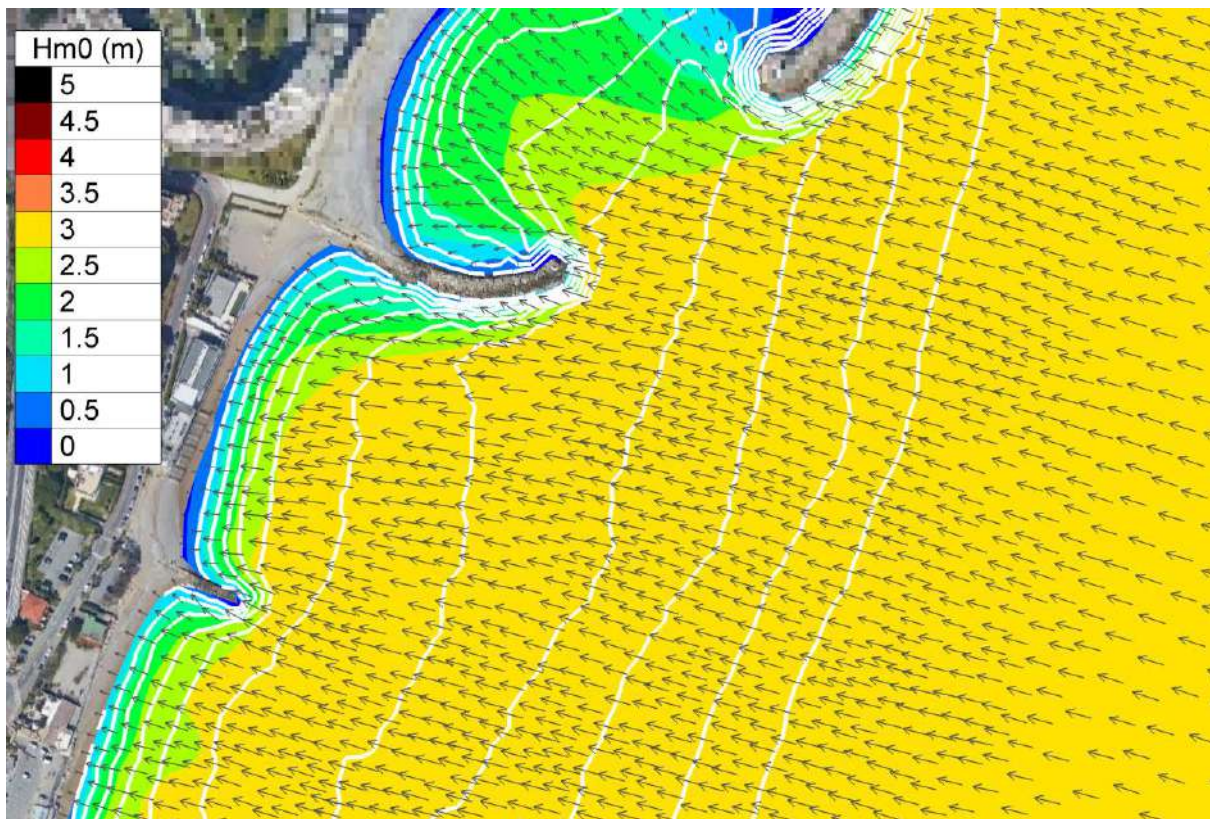
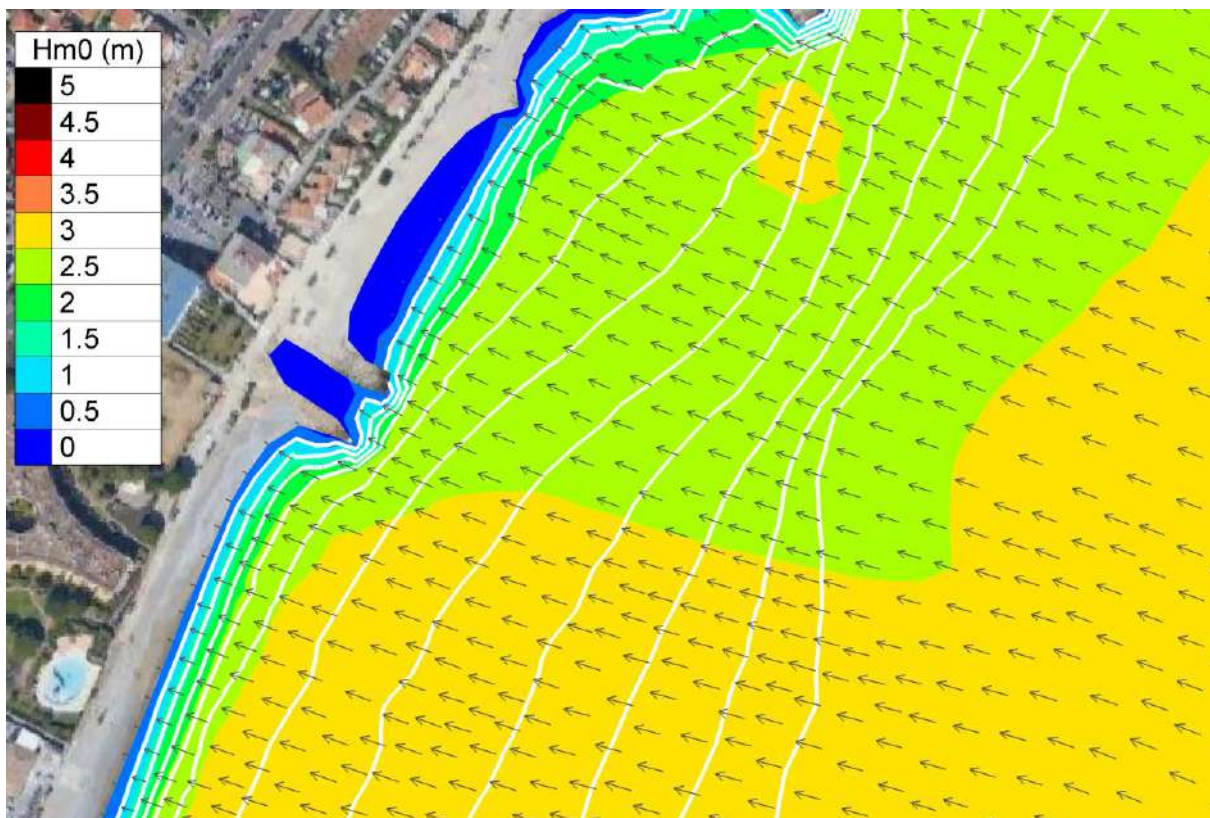


## Plans de vagues

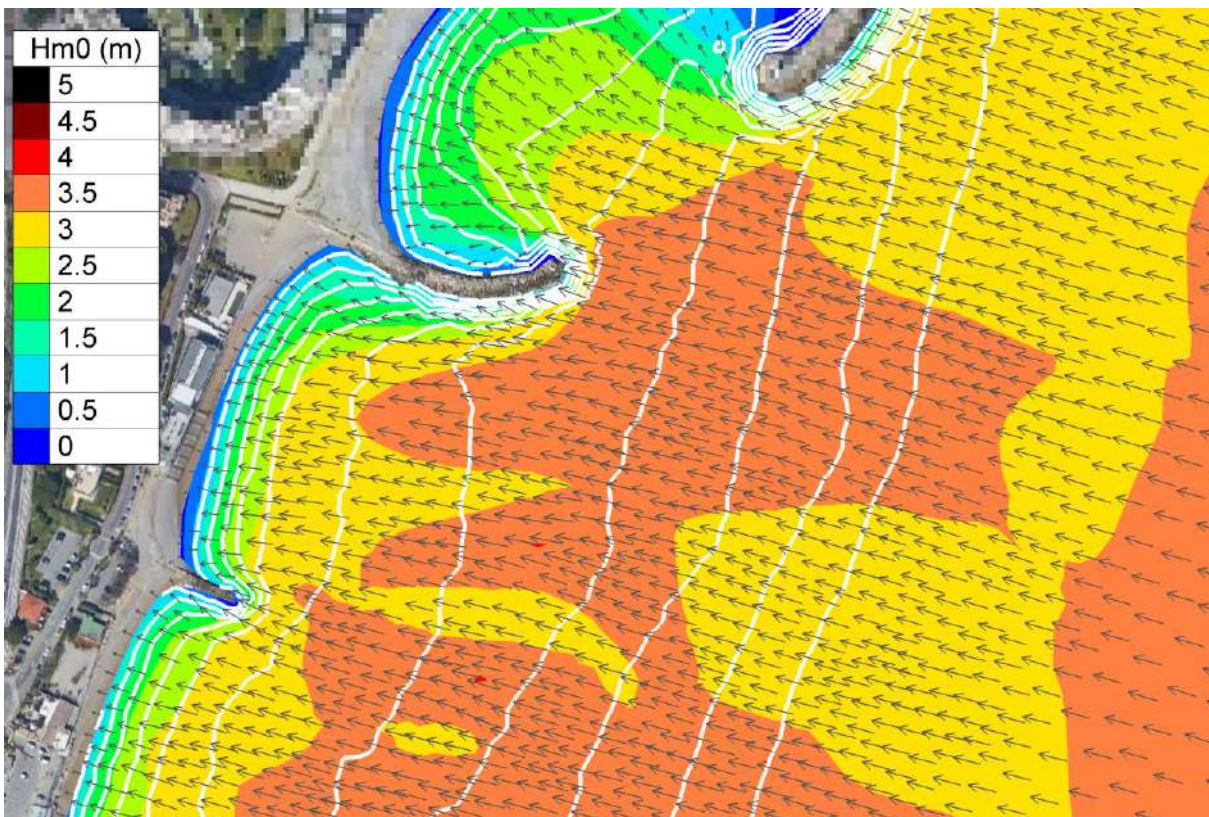
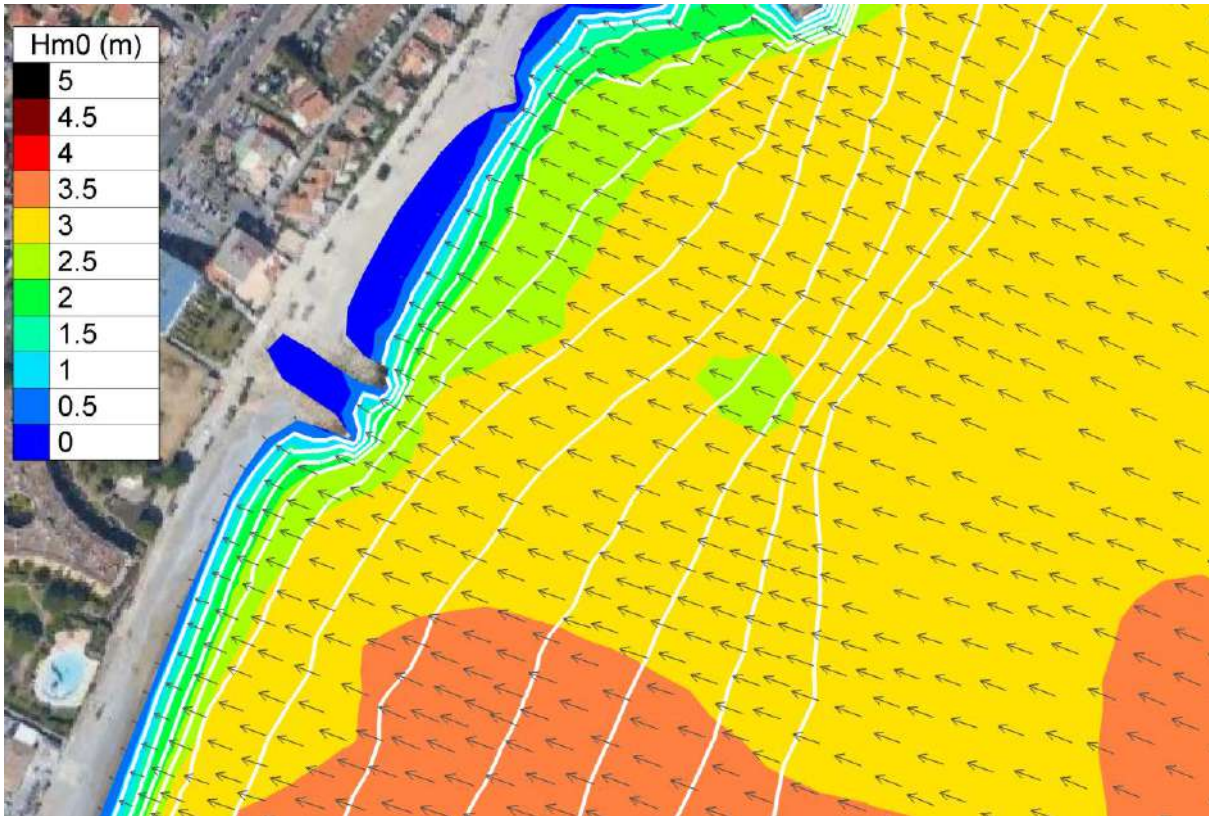
Simulation 0 : Période de retour 1 an de secteur 80°N



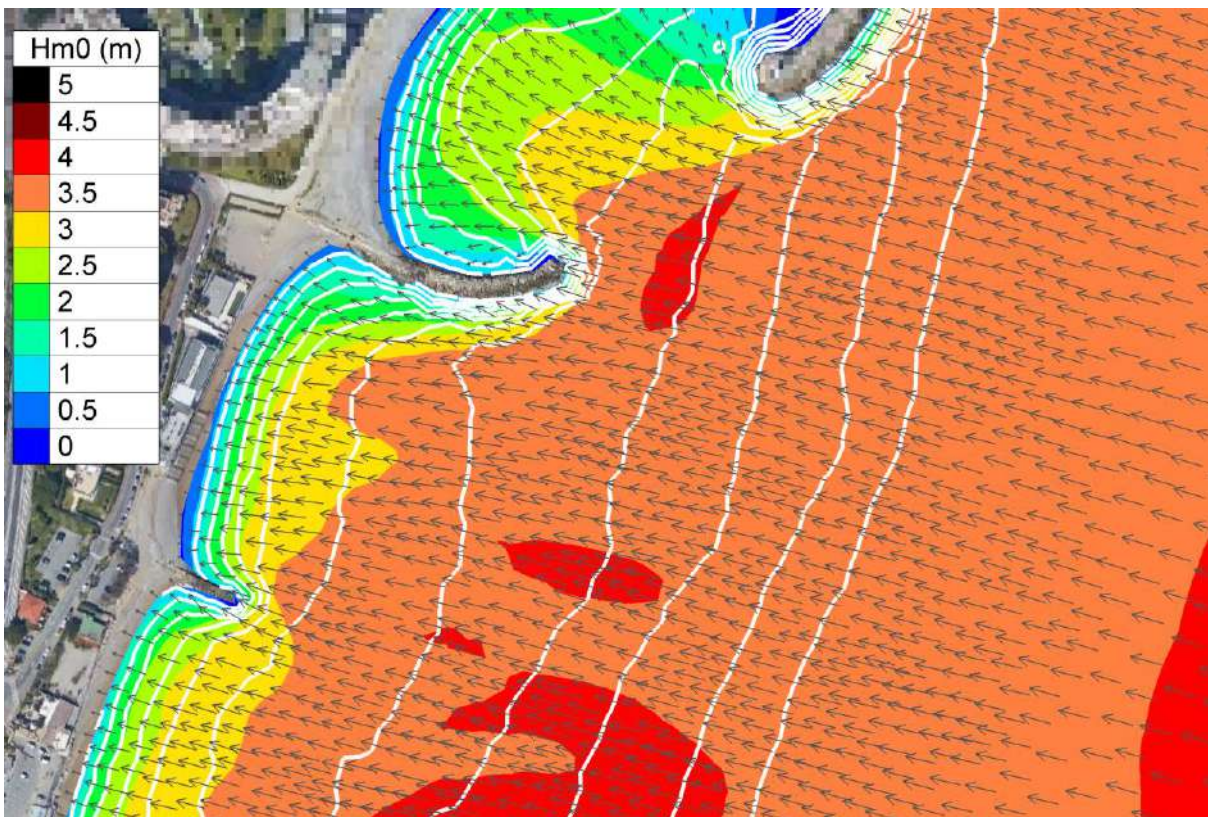
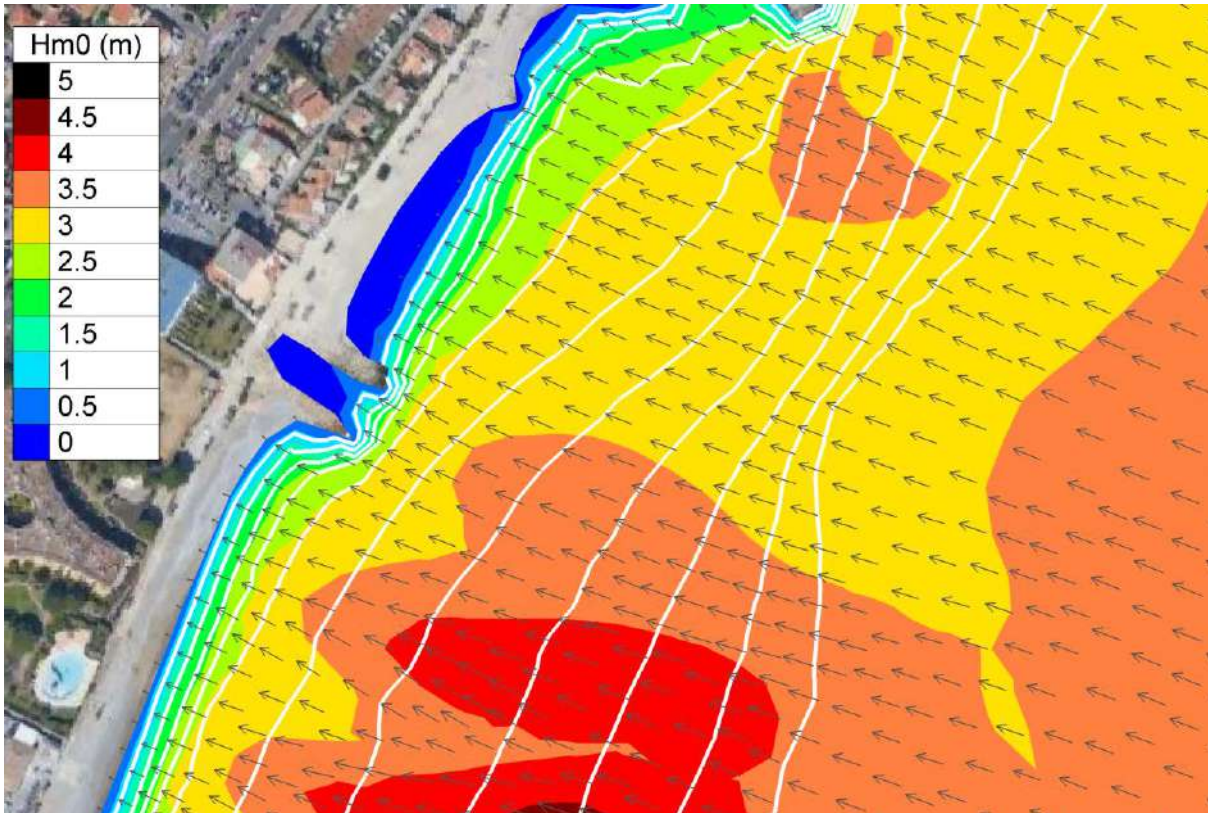
Simulation 1 : Période de retour 5 ans de secteur 80°N



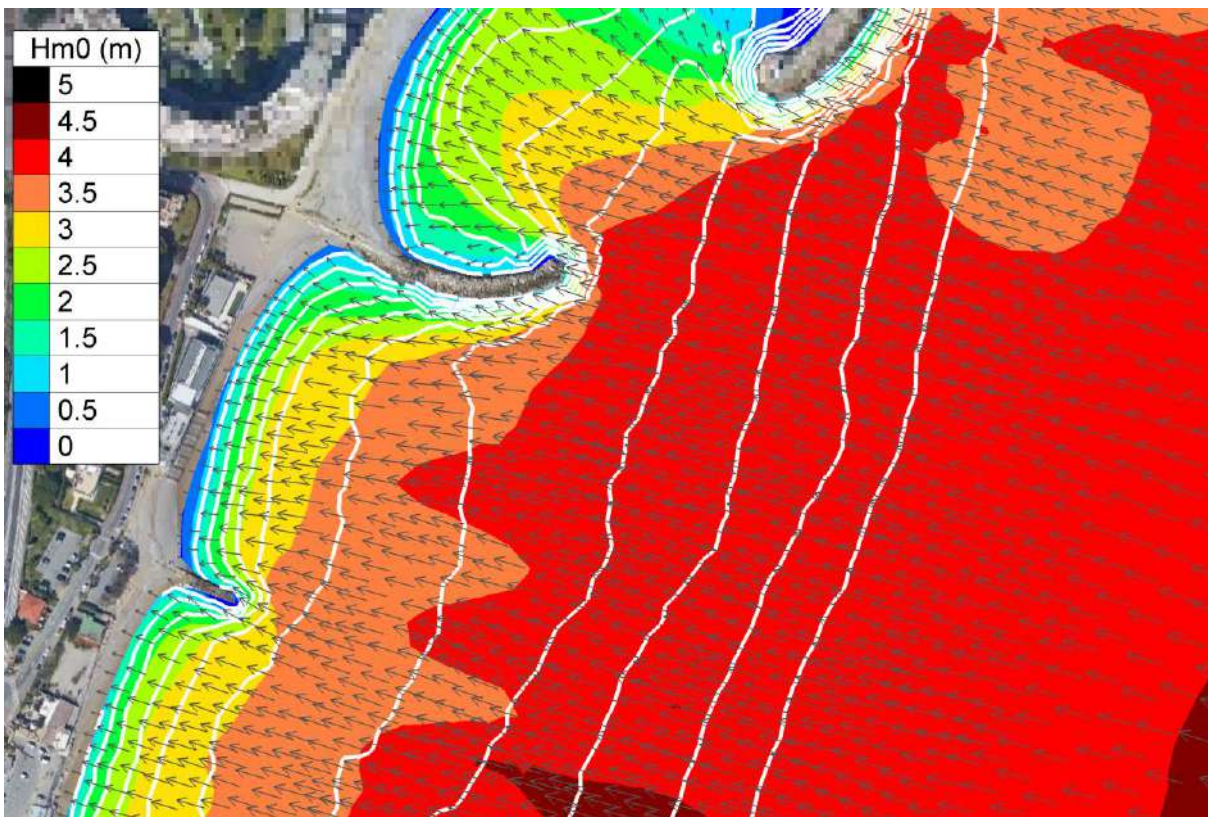
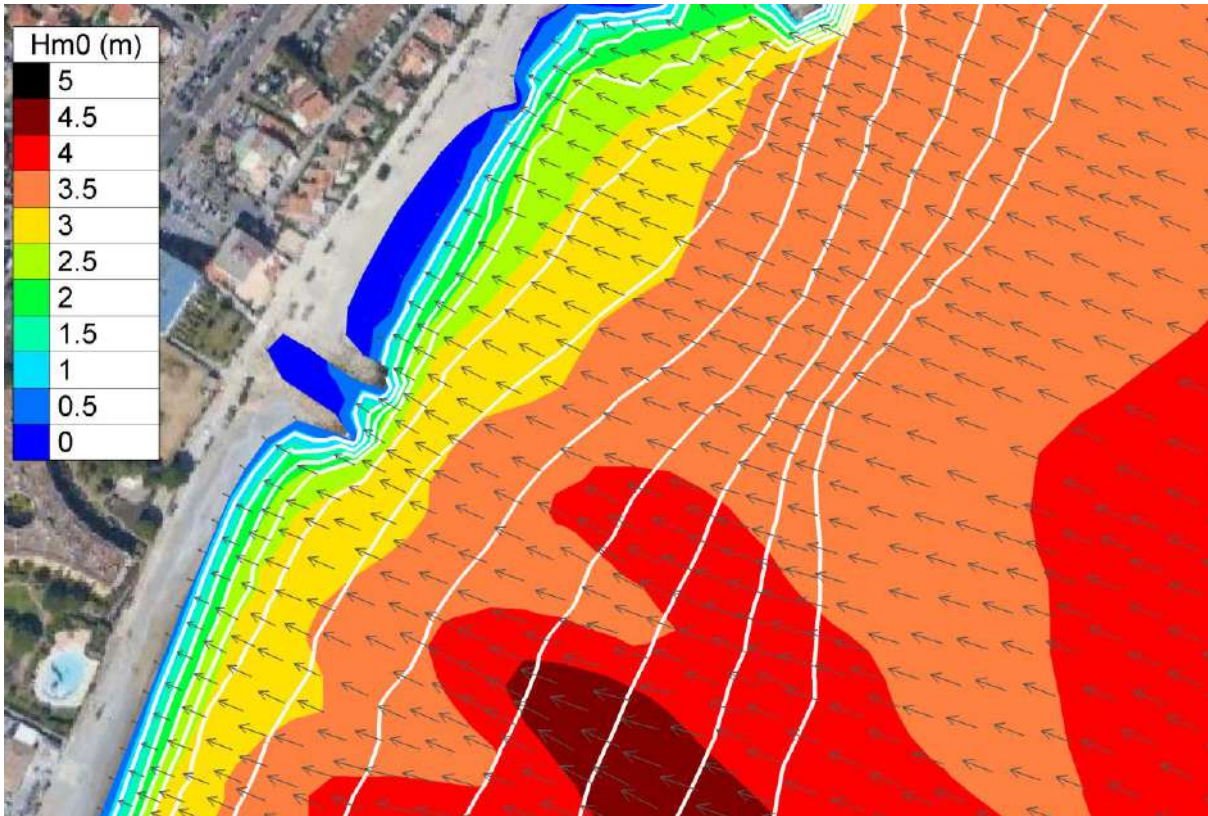
Simulation 2 : Période de retour 10 ans de secteur 80°N



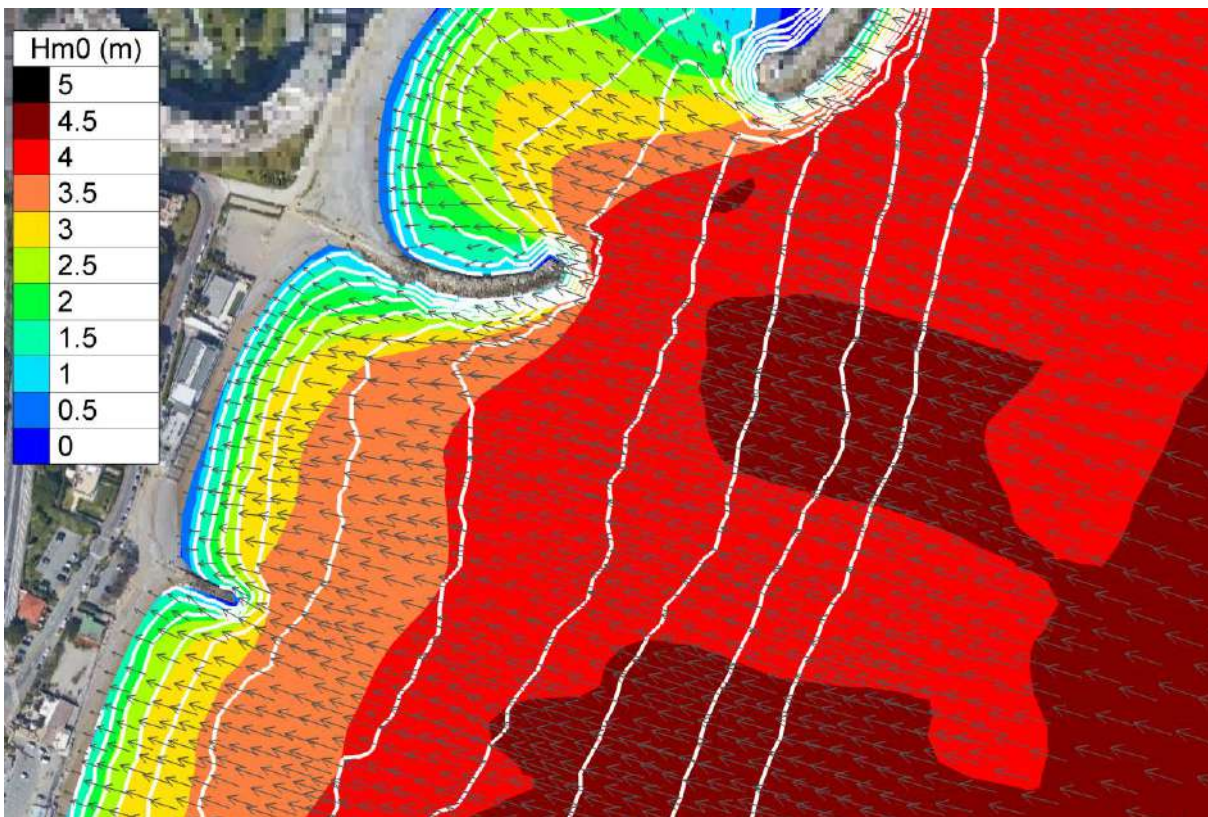
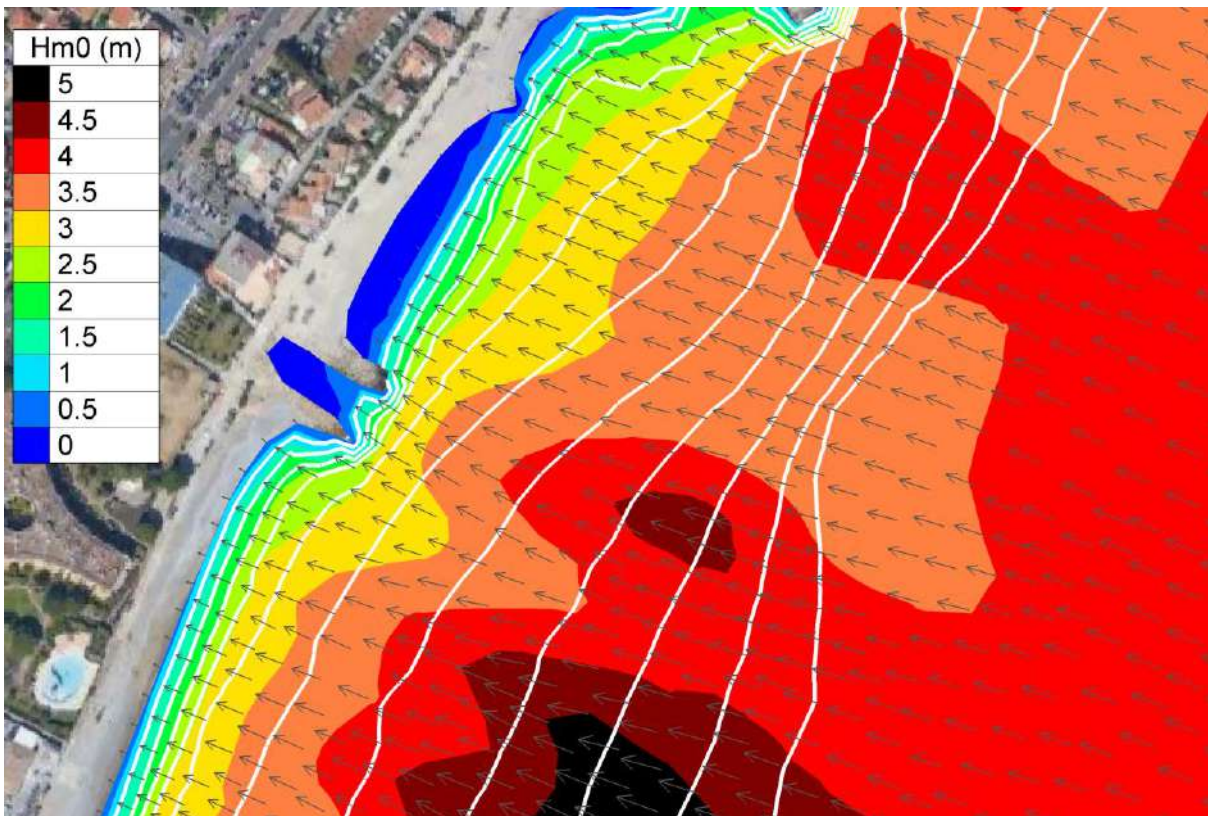
### Simulation 3 : Période de retour 20 ans de secteur 80°N



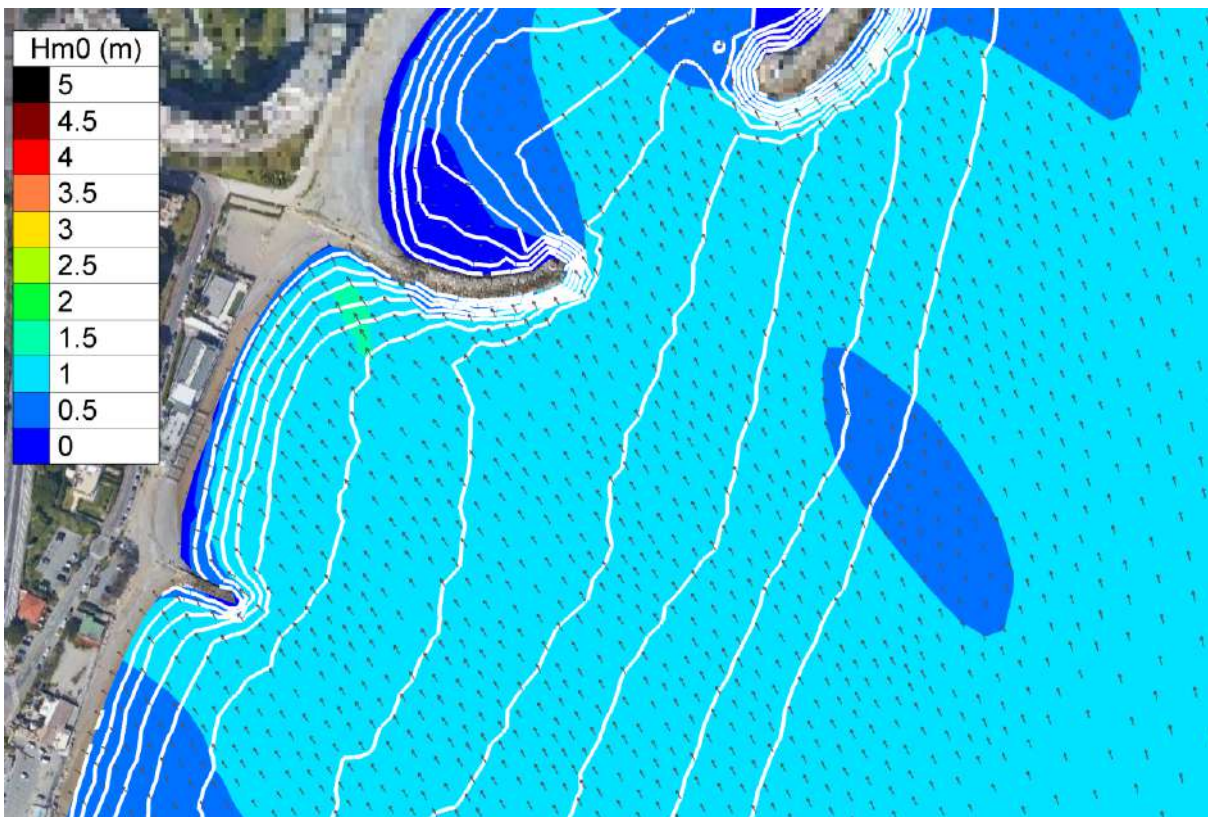
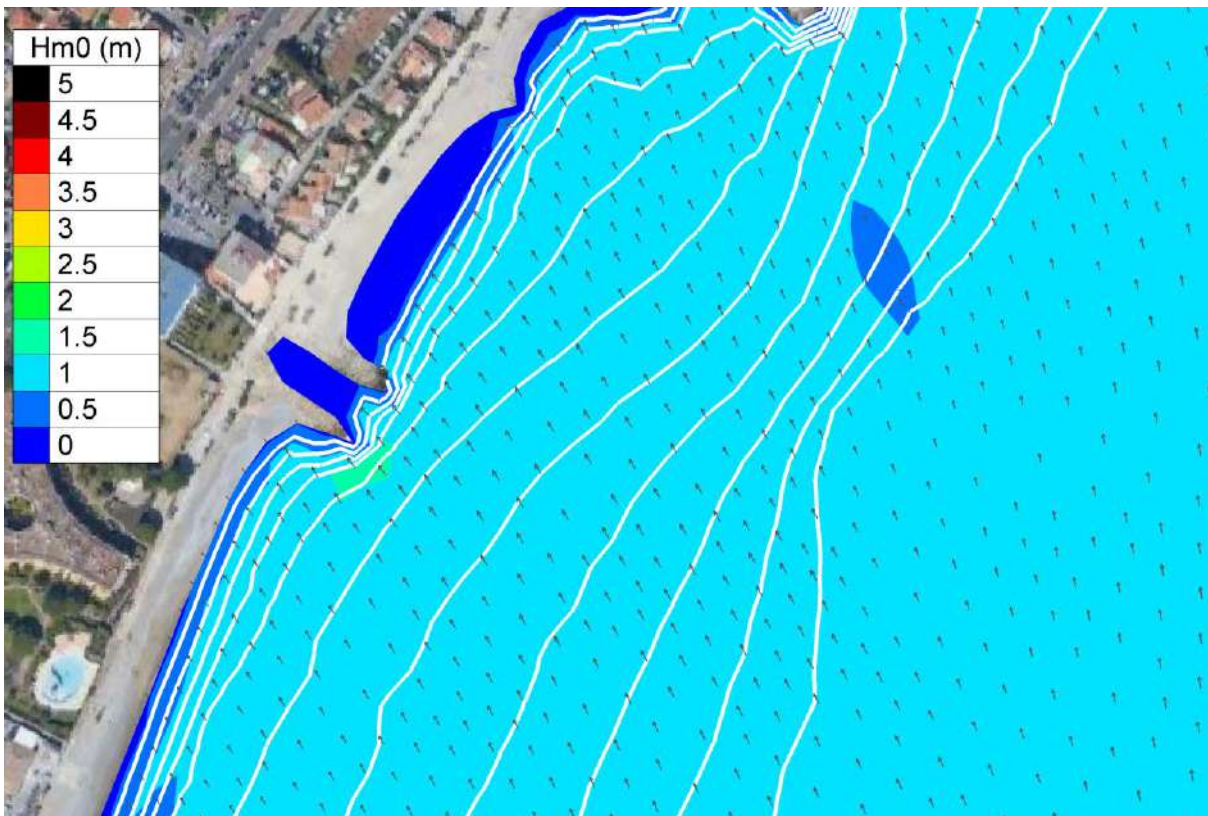
### Simulation 4 : Période de retour 50 ans de secteur 80°N



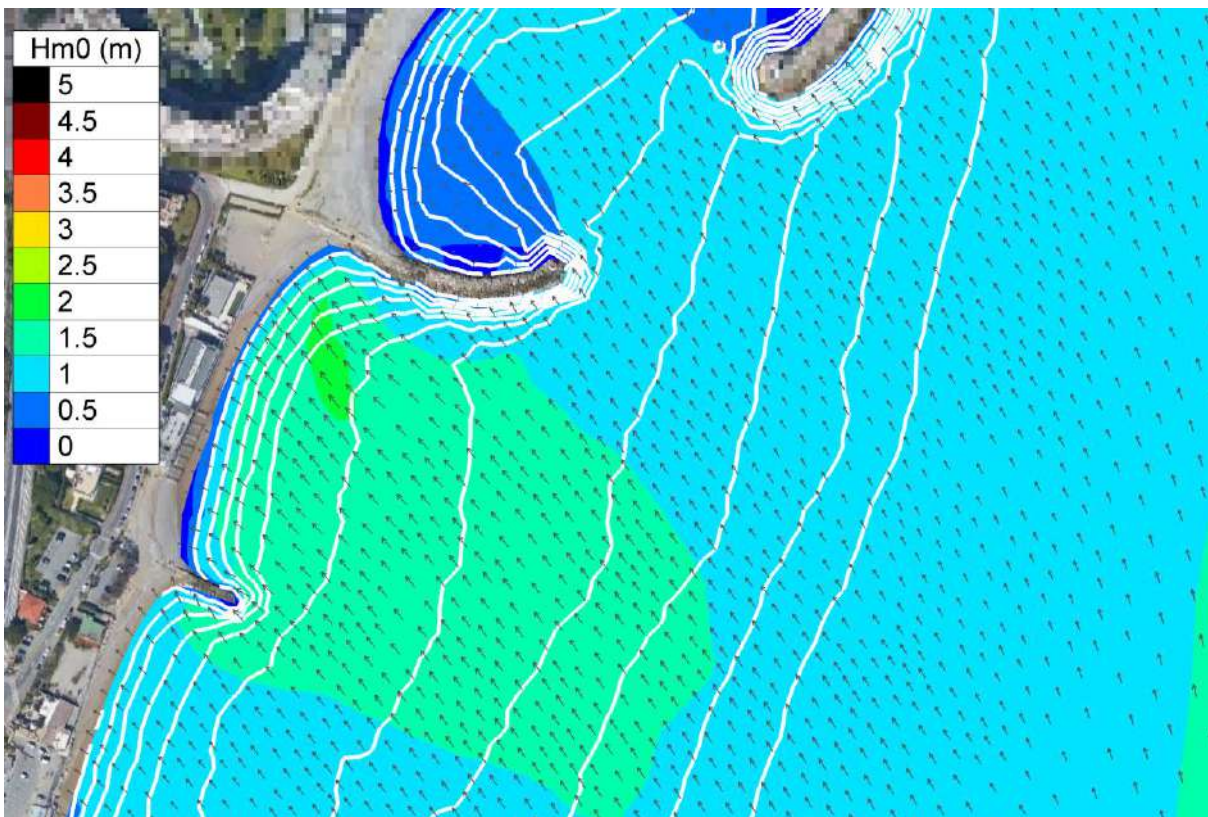
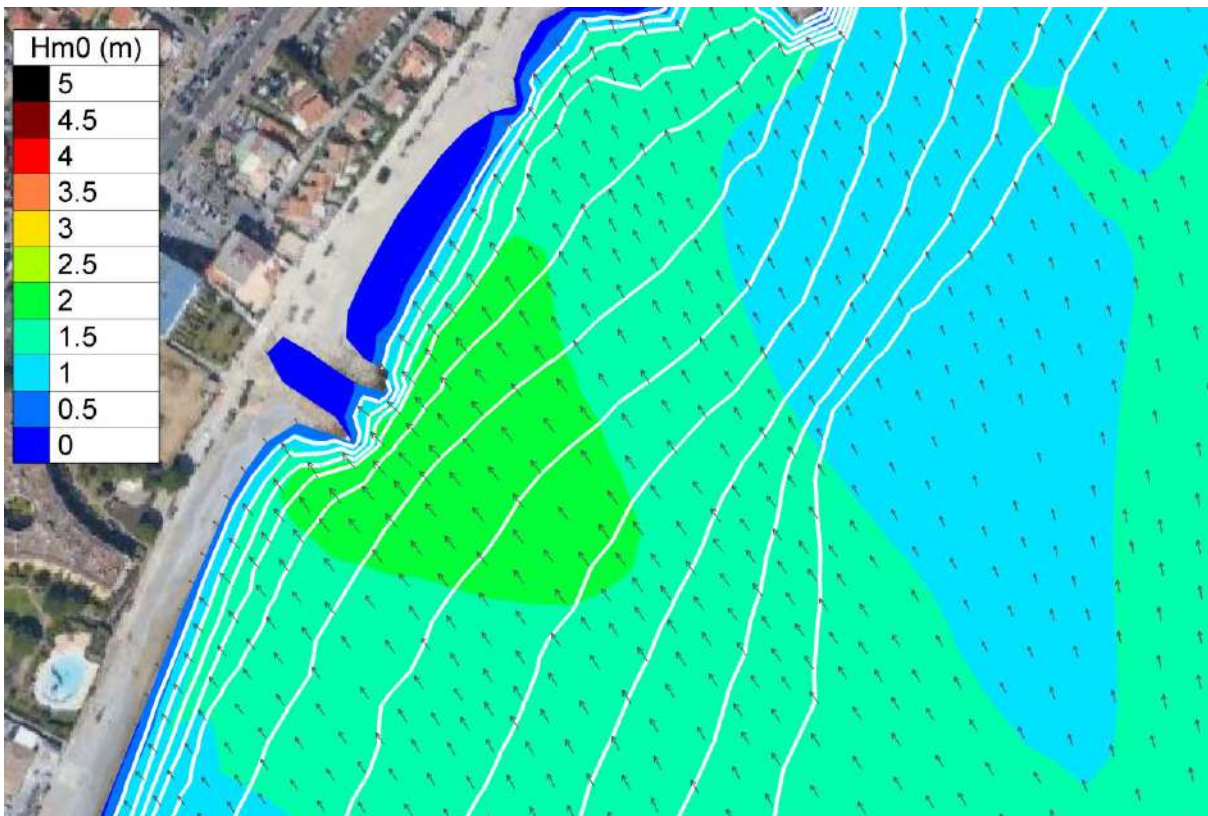
### Simulation 5 Période de retour 100 ans de secteur 80°N



Simulation 6 : Période de retour 1 an de secteur 200°N

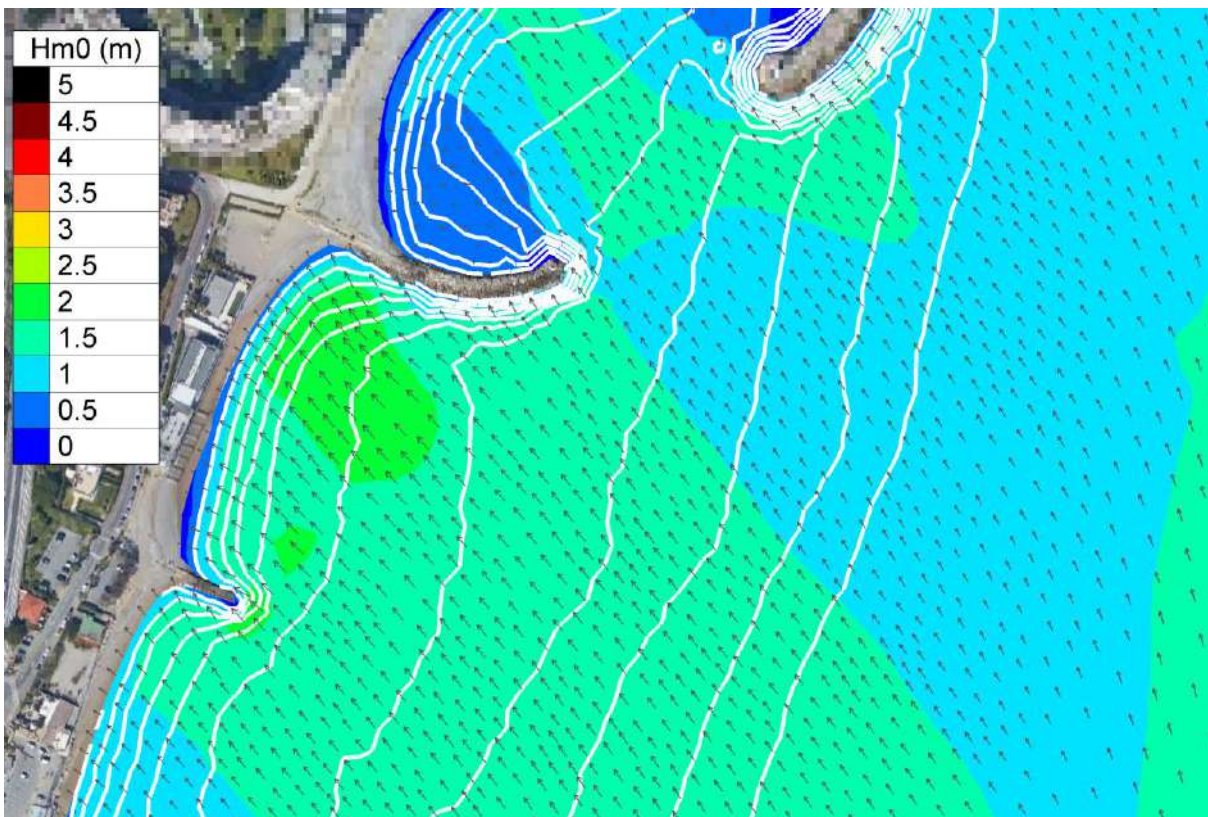
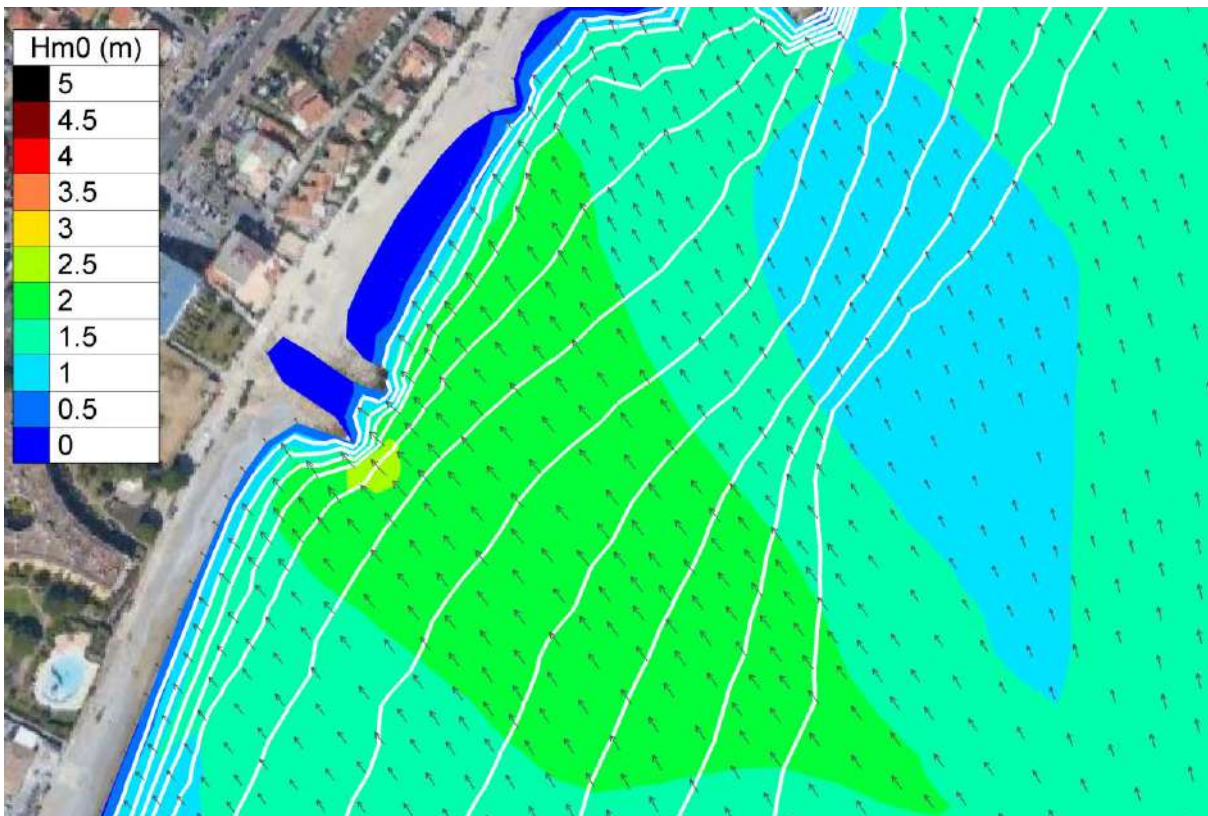


### Simulation 7 Période de retour 5 ans de secteur 200°N

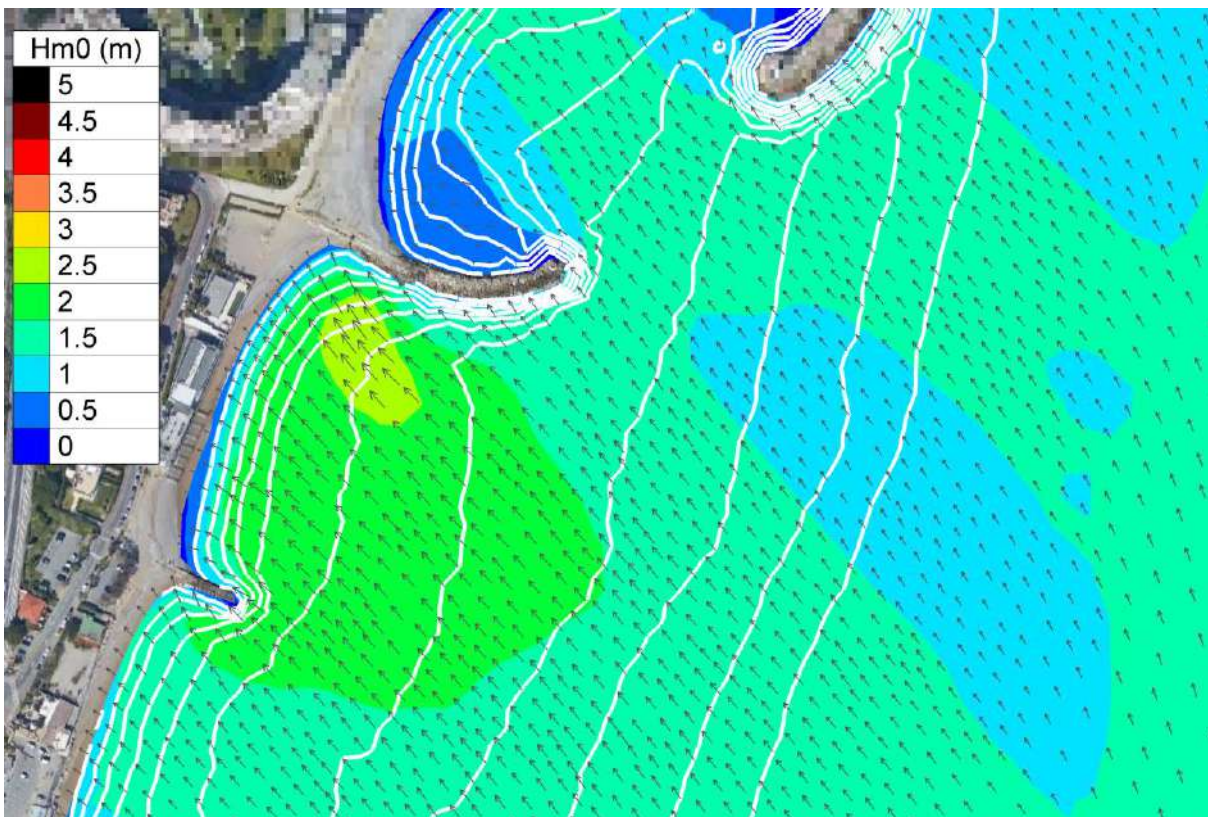
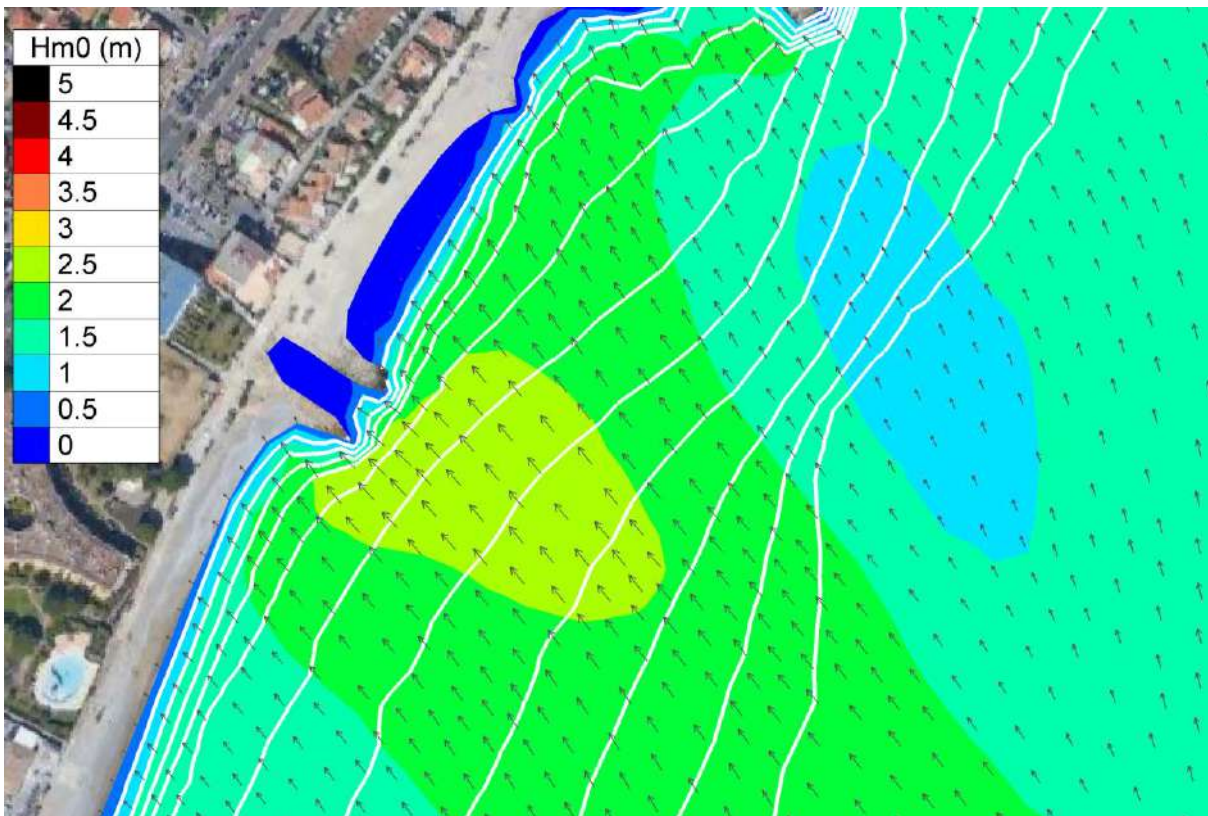




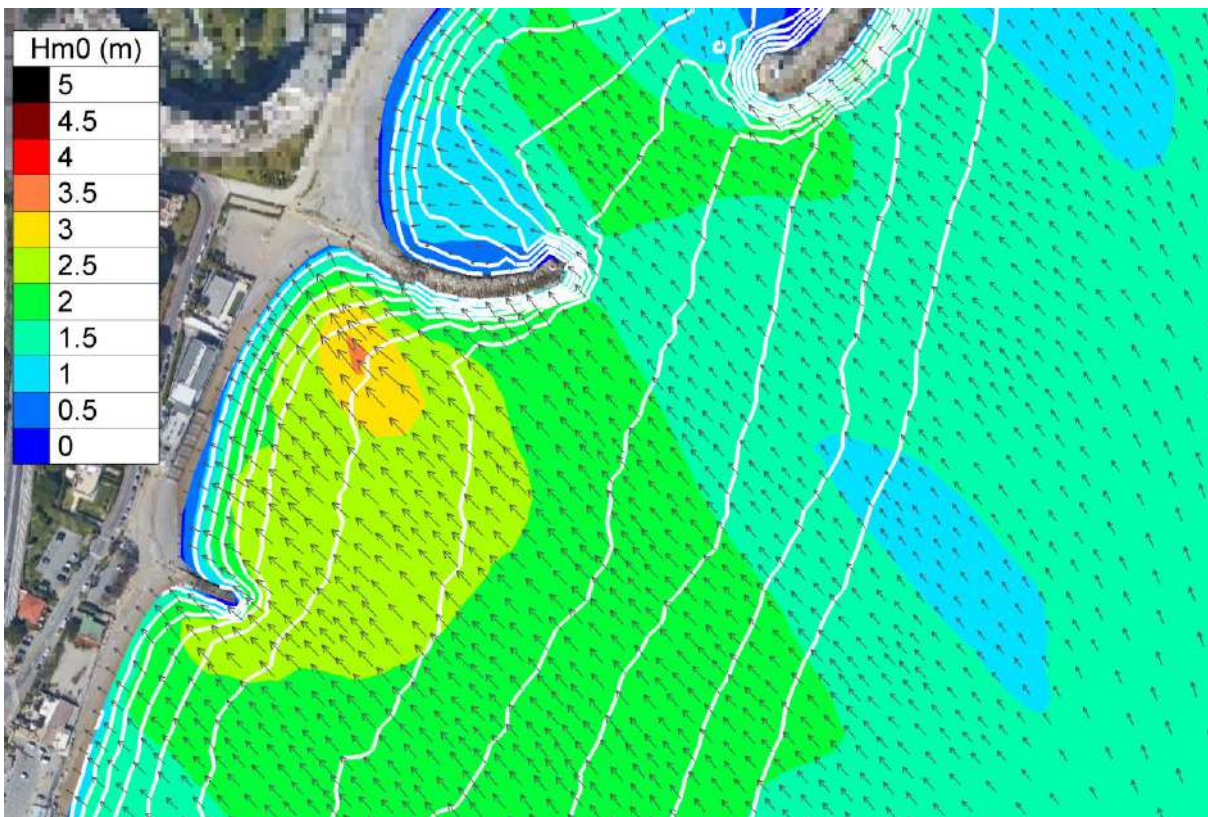
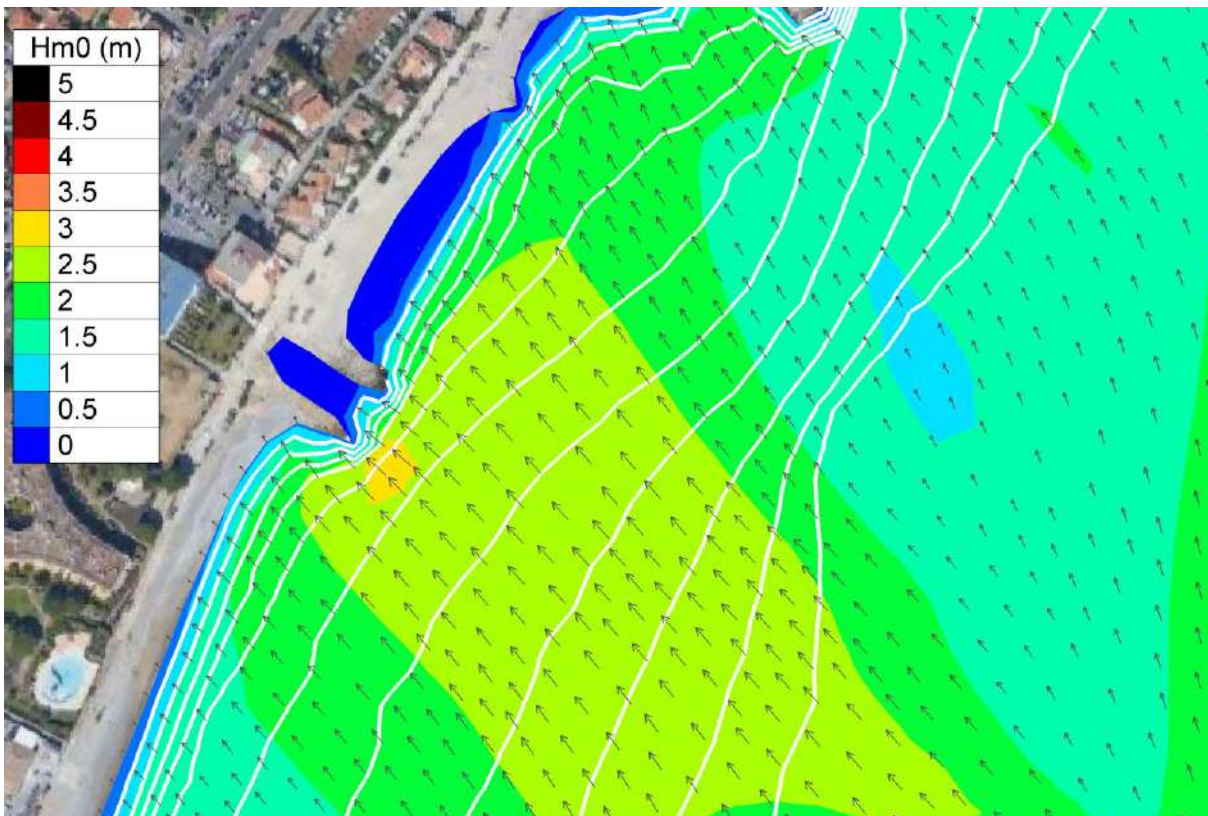
### Simulation 8 Période de retour 10 ans de secteur 200°N



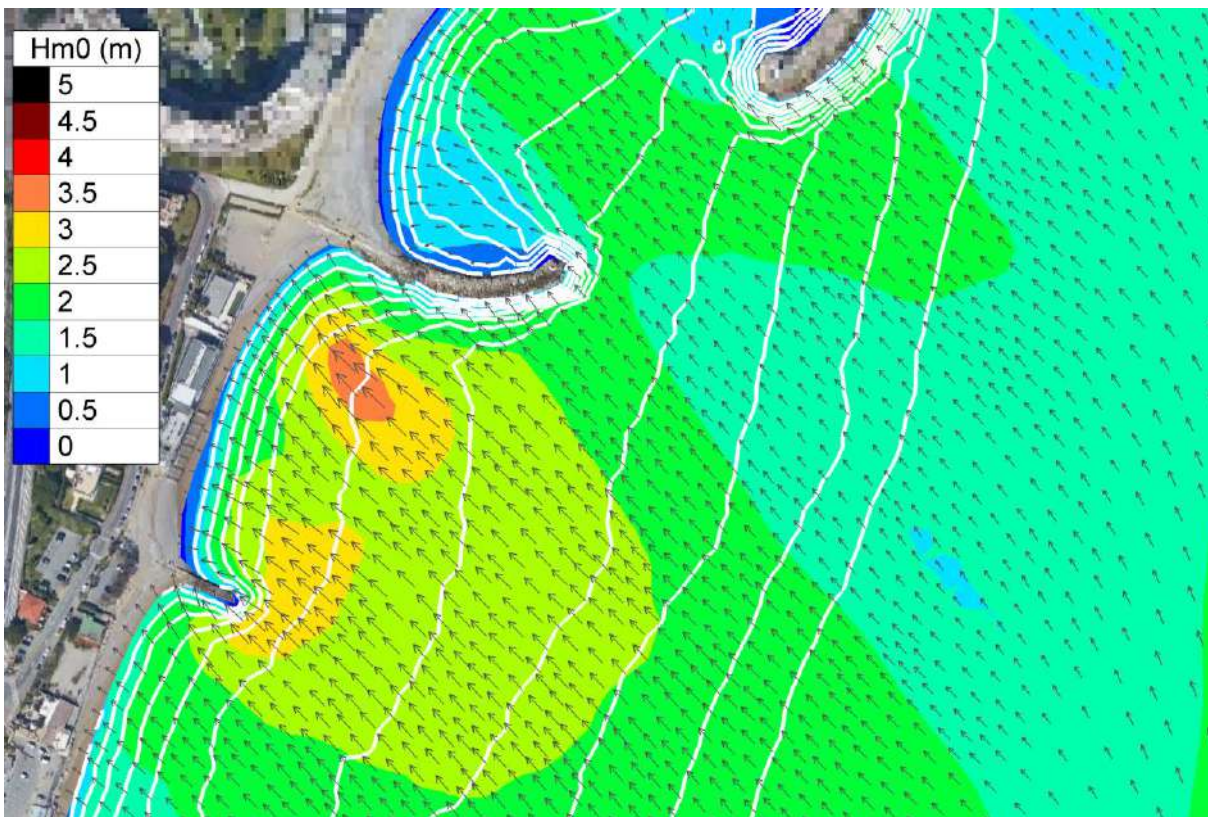
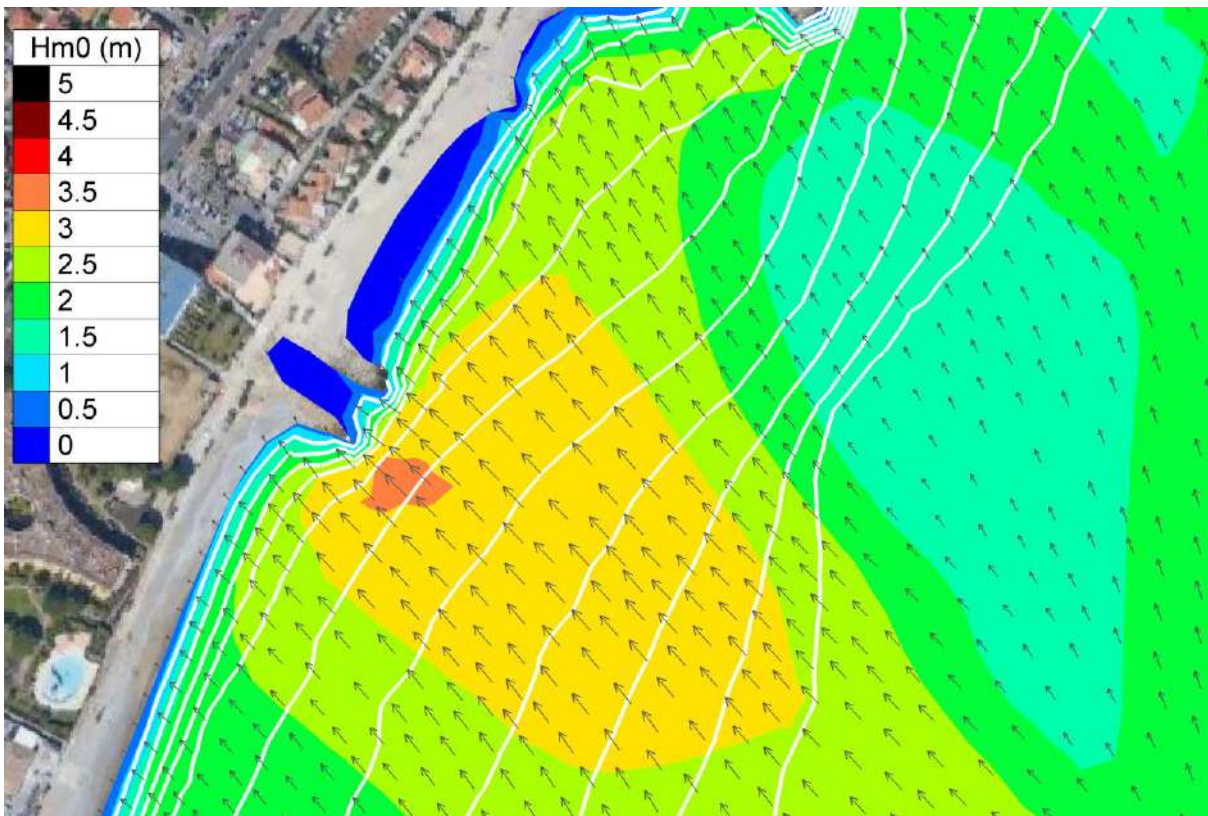
### Simulation 9 Période de retour 20 ans de secteur 200°N



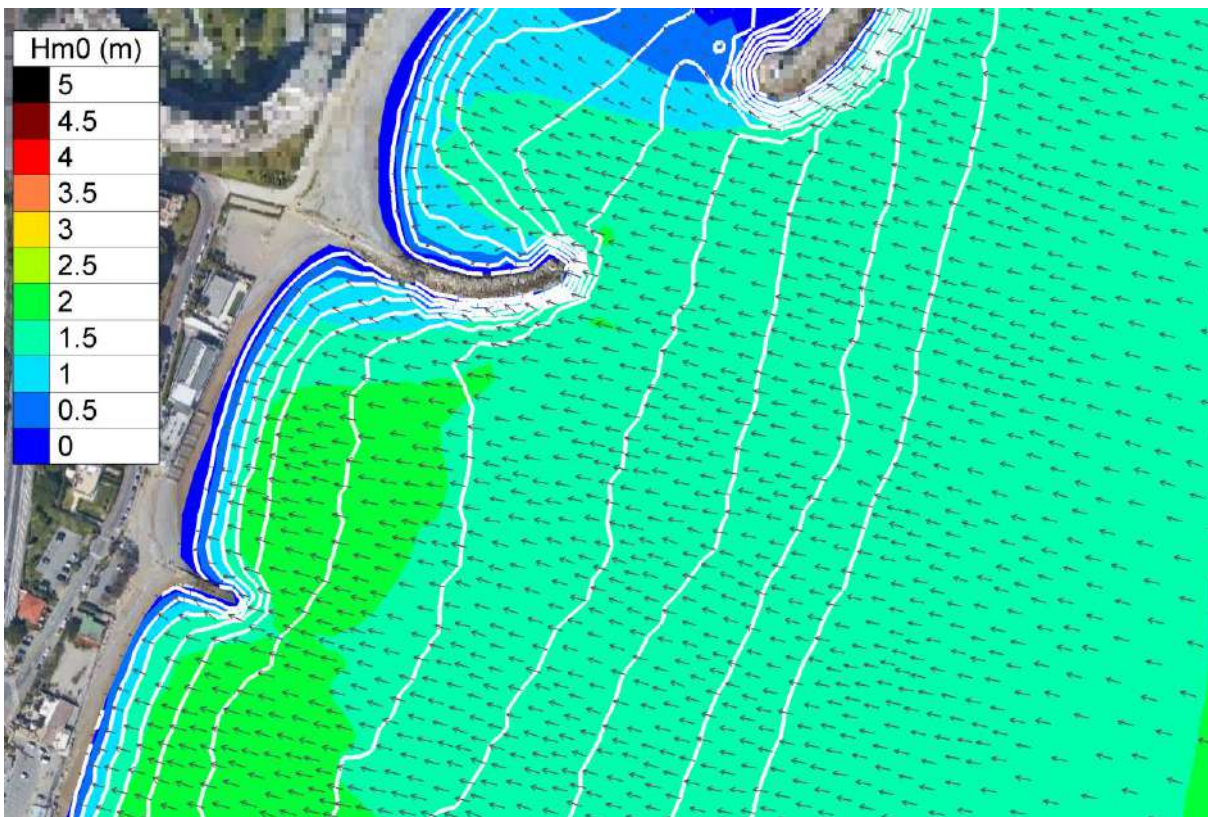
### Simulation 10 Période de retour 50 ans de secteur 200°N



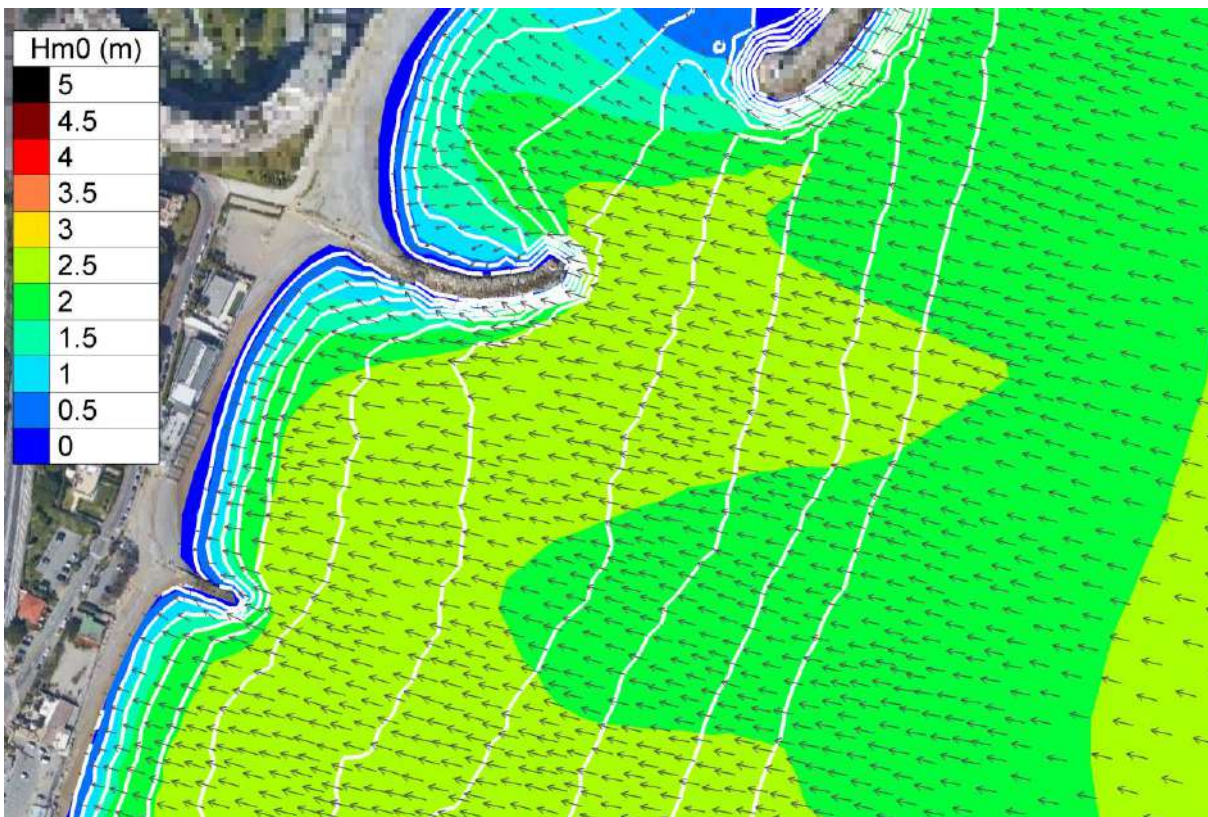
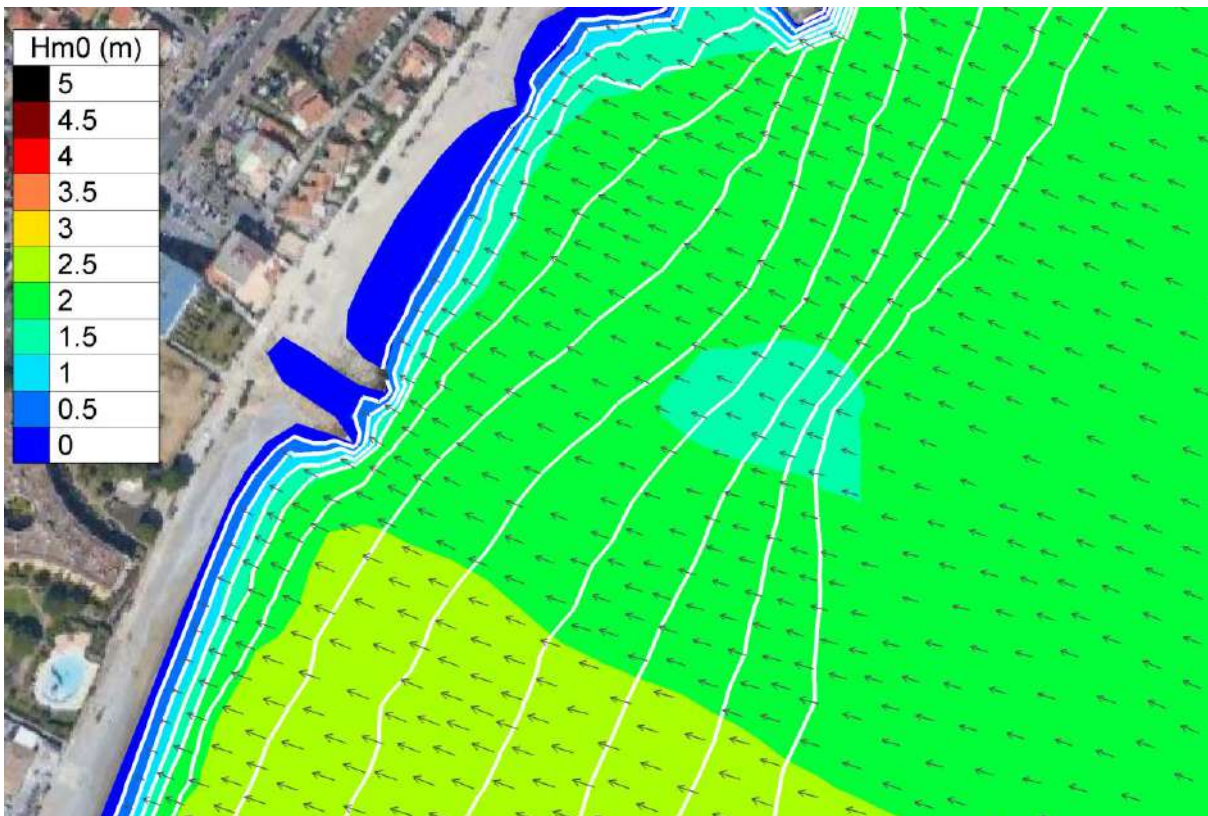
### Simulation 11 Période de retour 100 ans de secteur 200°N



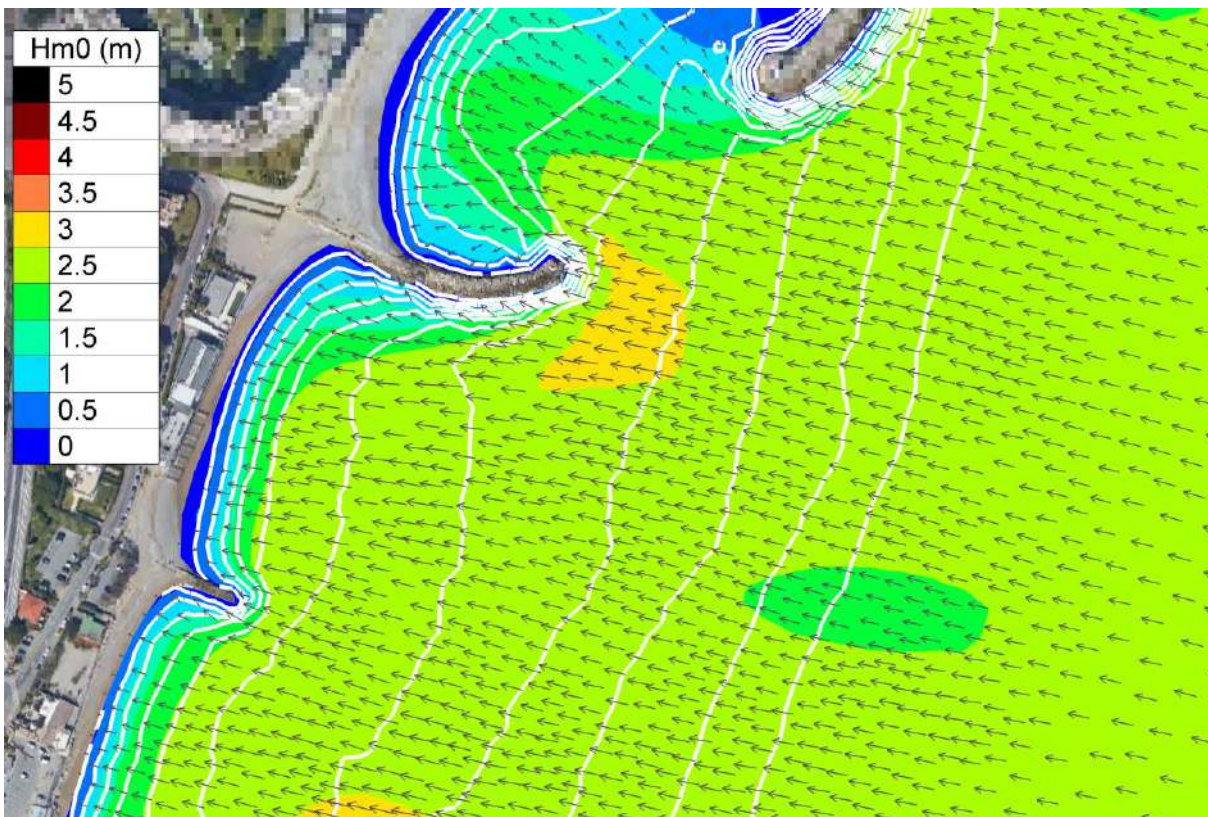
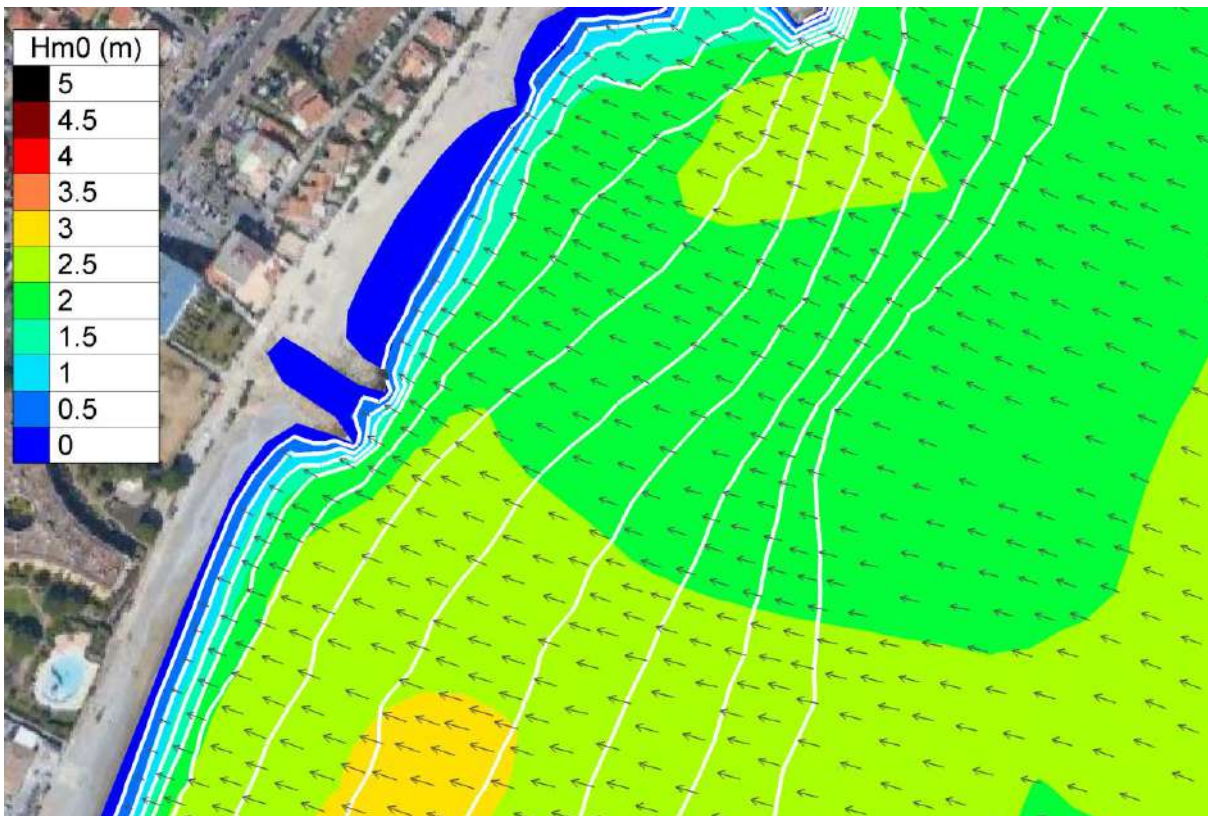
Simulation 12 : Période de retour 1 an de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



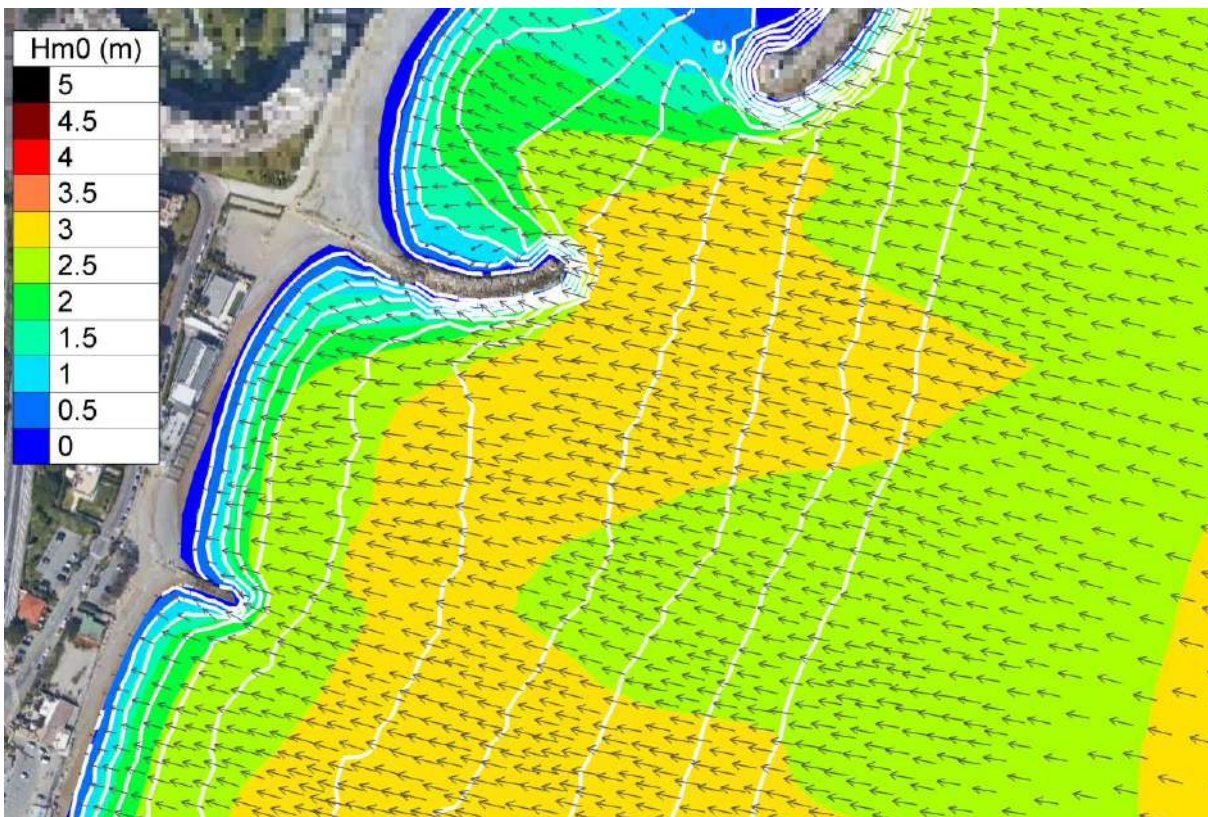
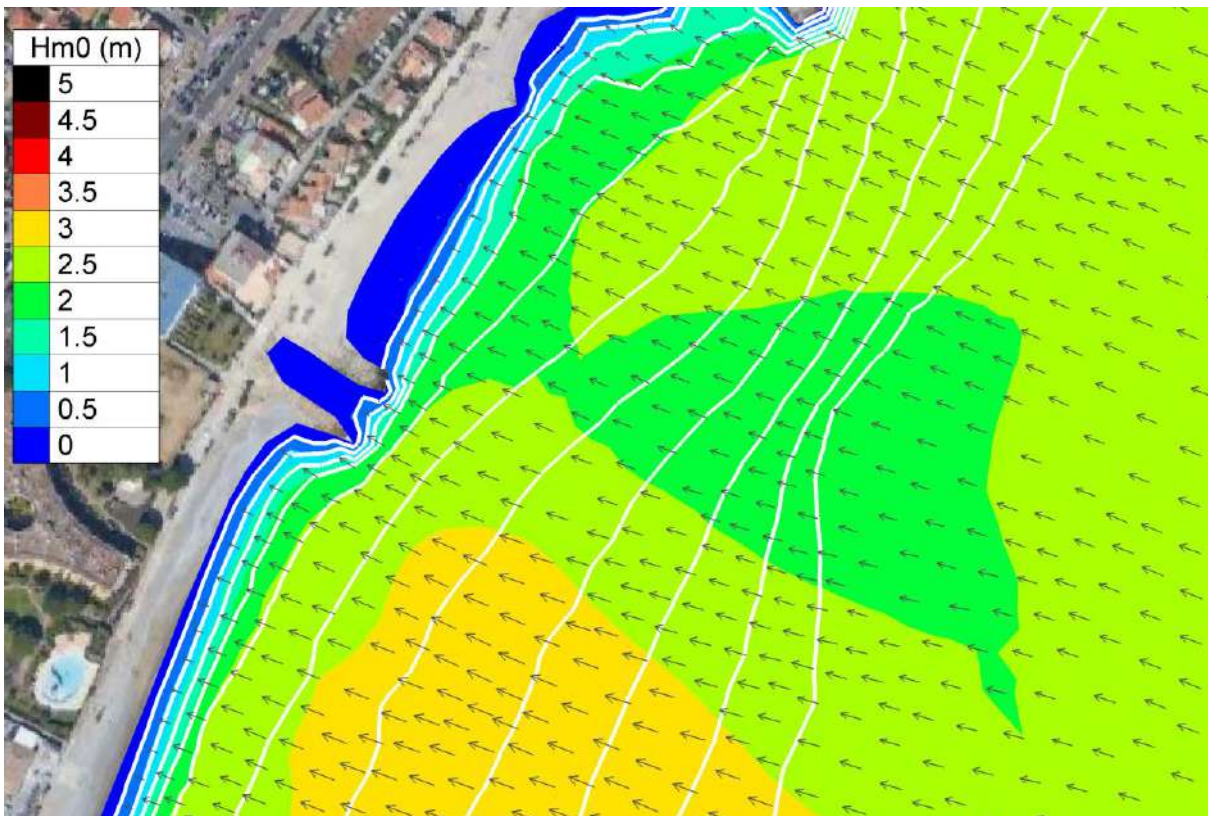
Simulation 13 : Période de retour 5 ans de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



Simulation 14 : Période de retour 10 ans de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)

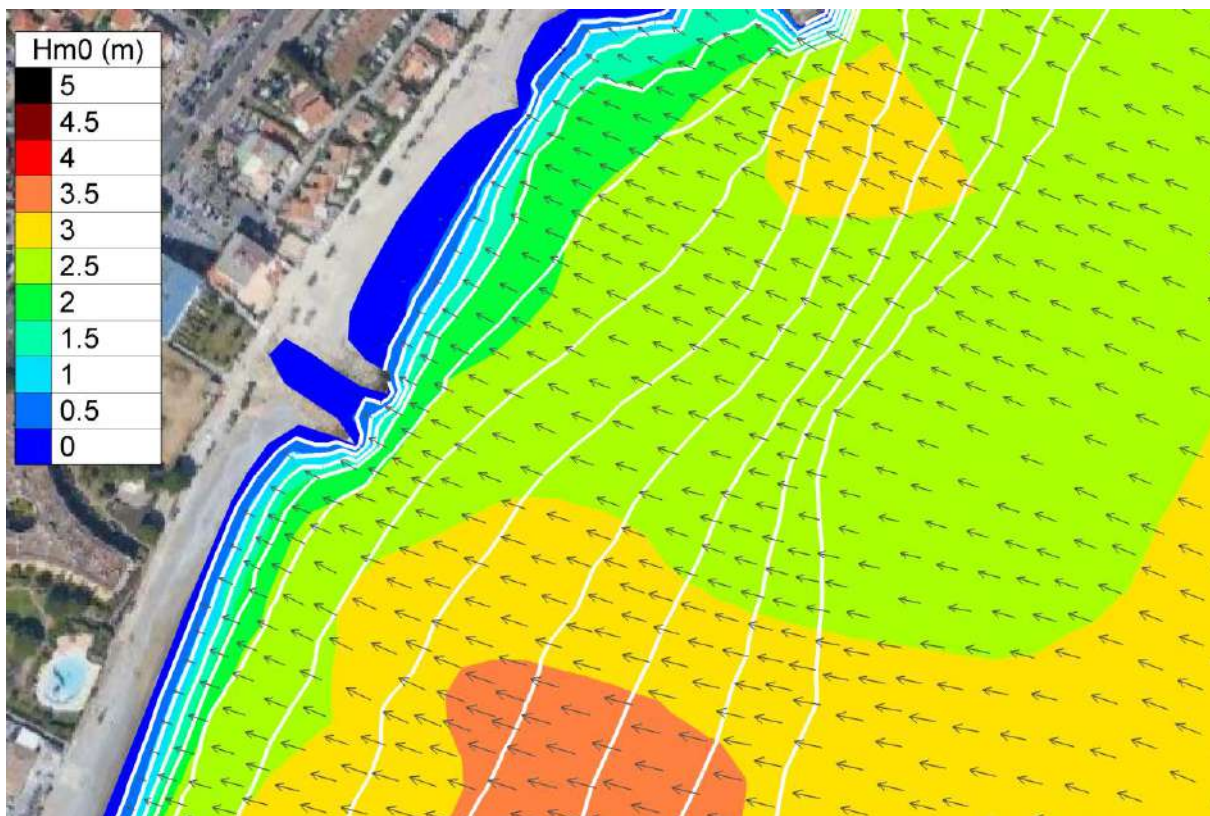
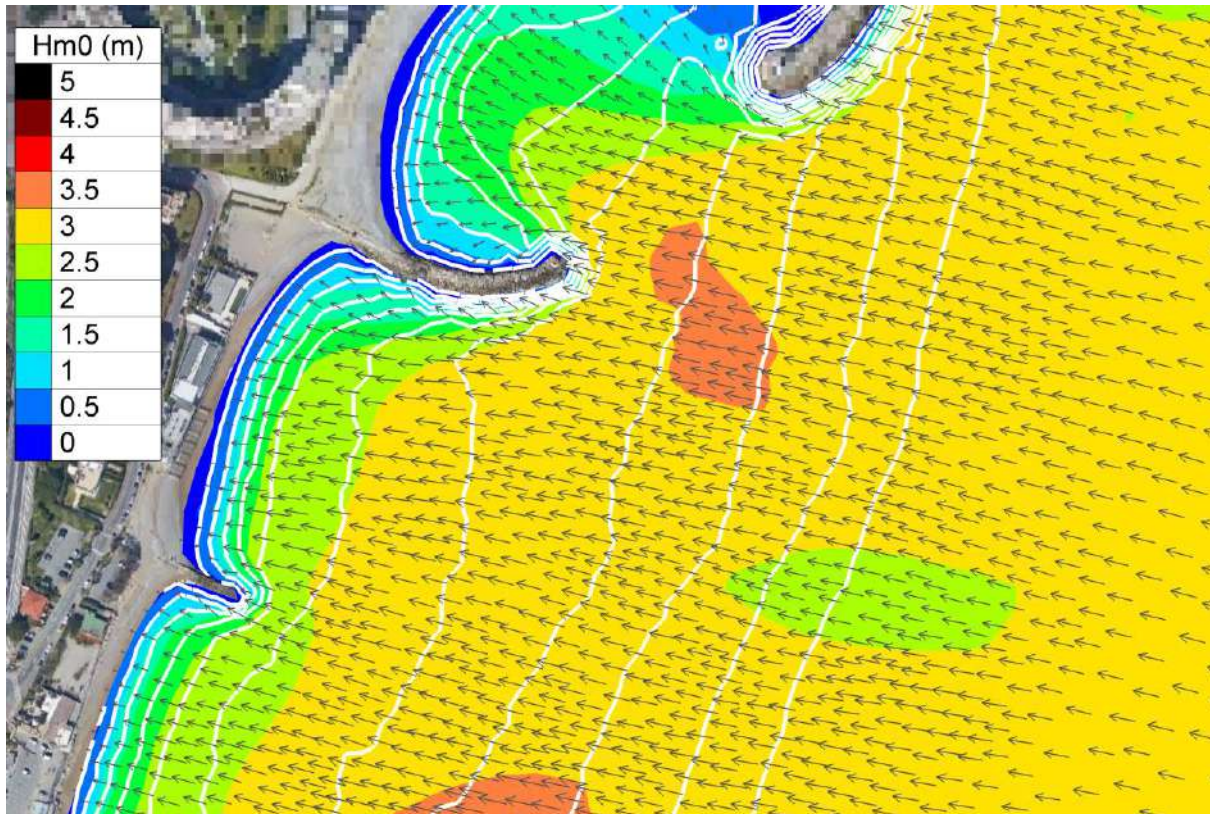


Simulation 15 : Période de retour 20 ans de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)

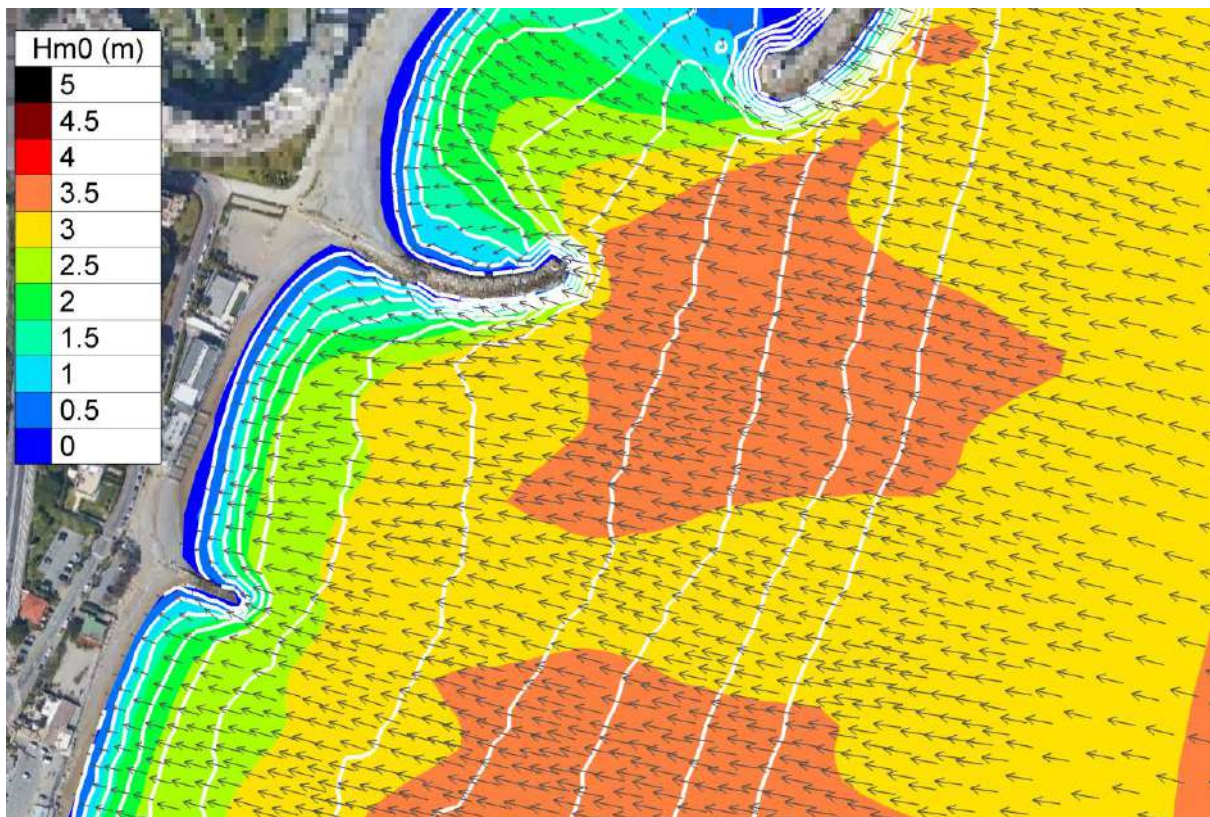
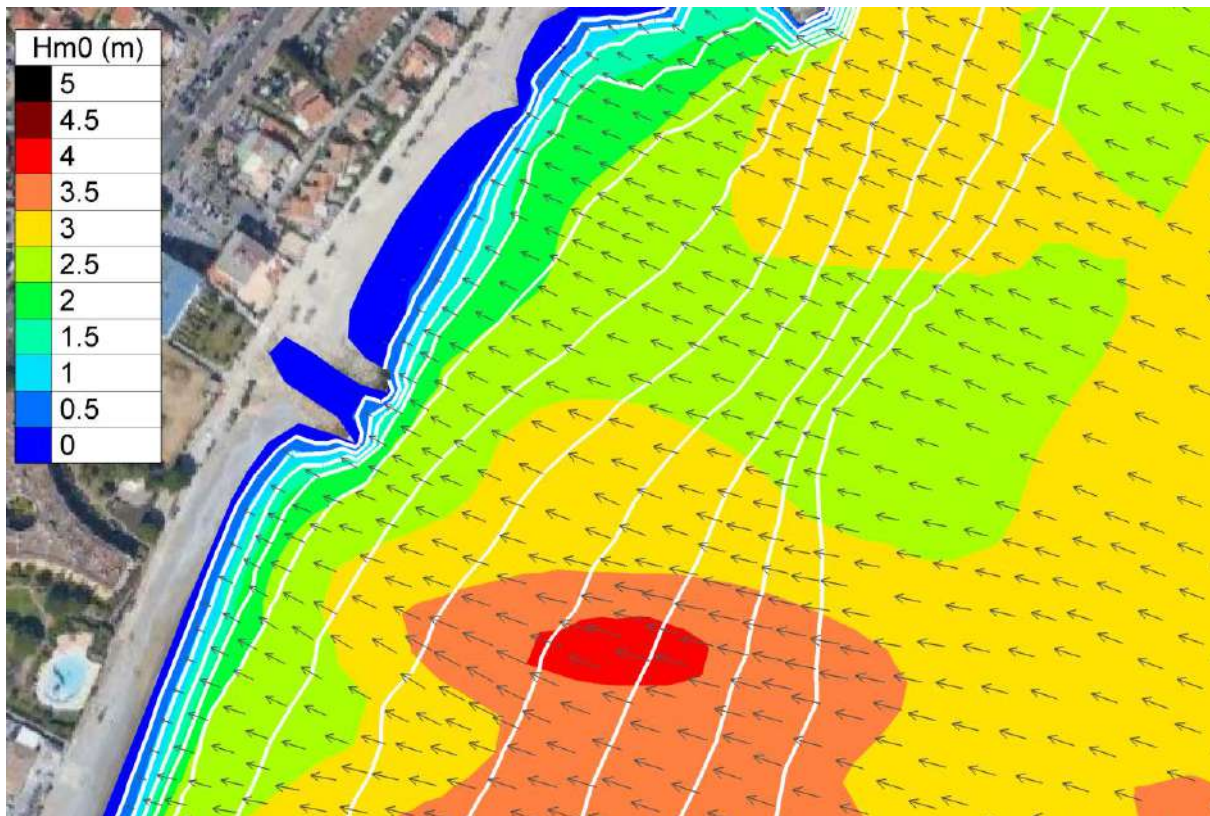




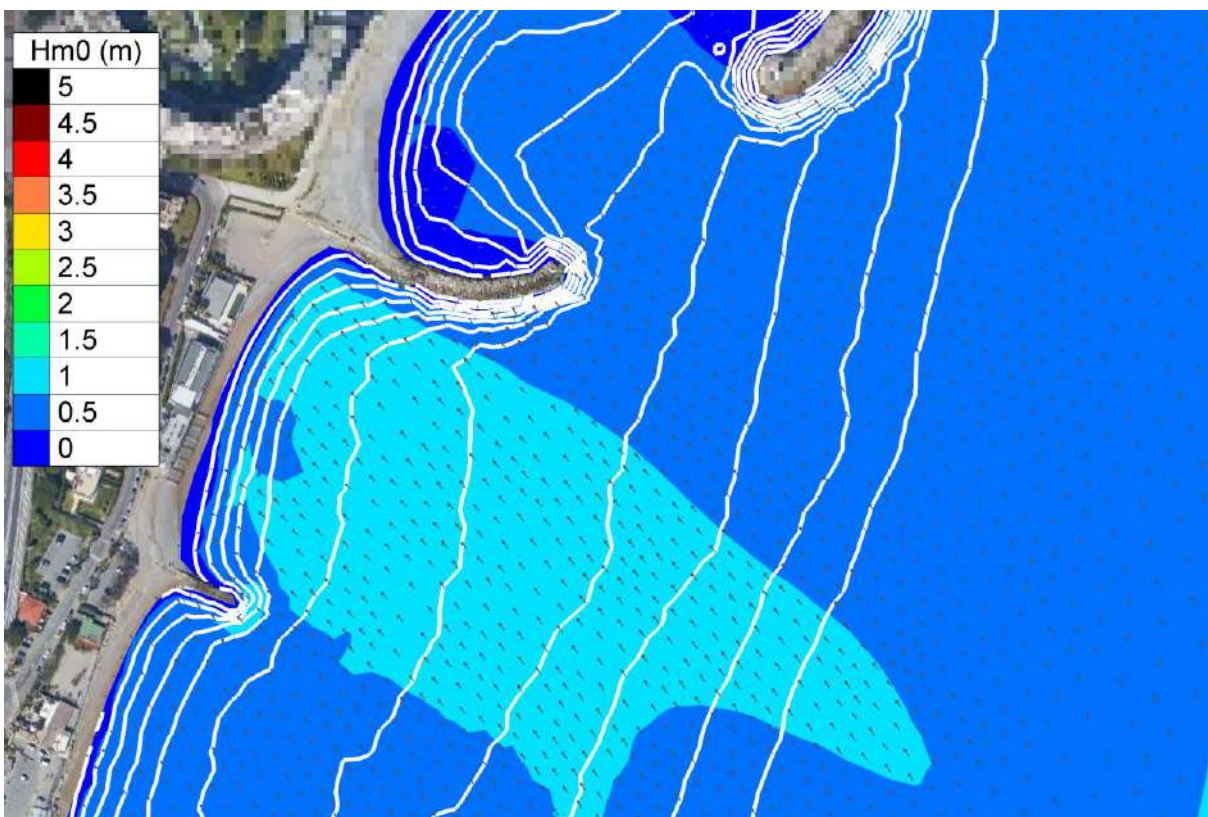
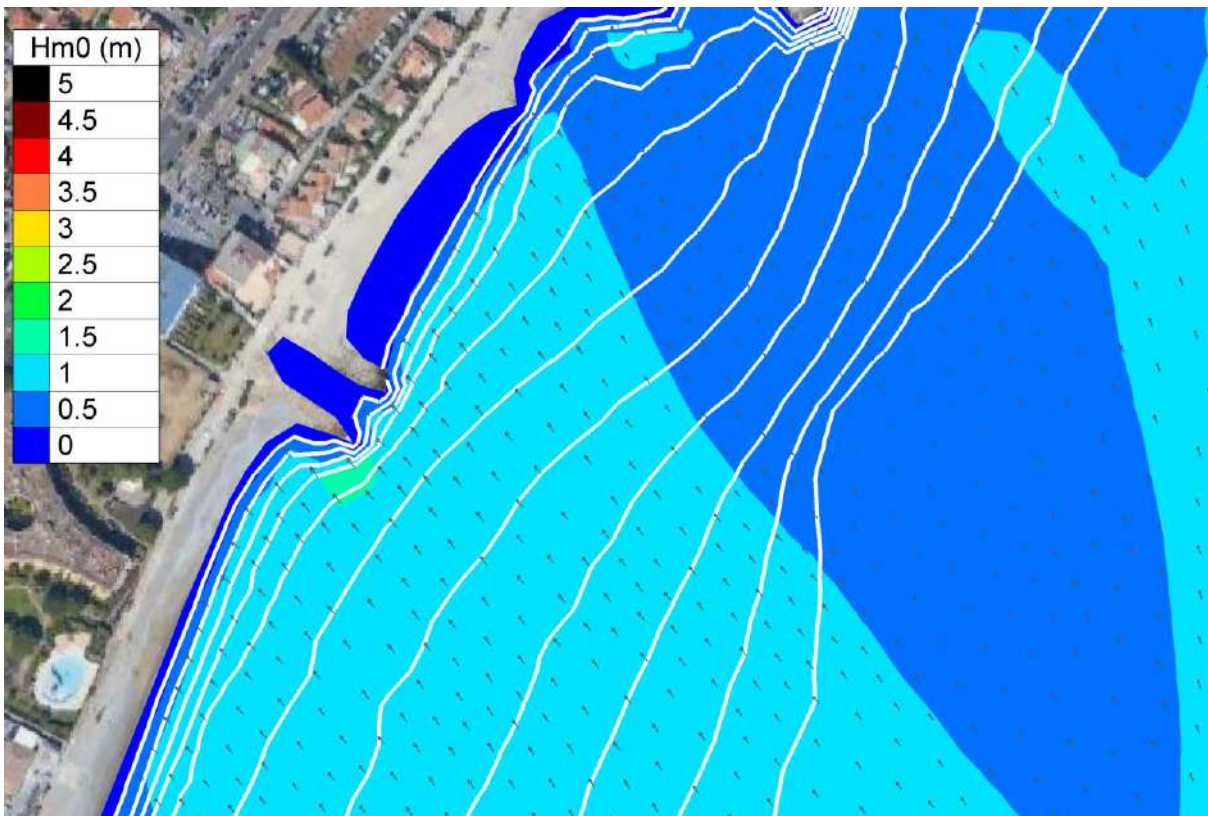
Simulation 16 : Période de retour 50 ans de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



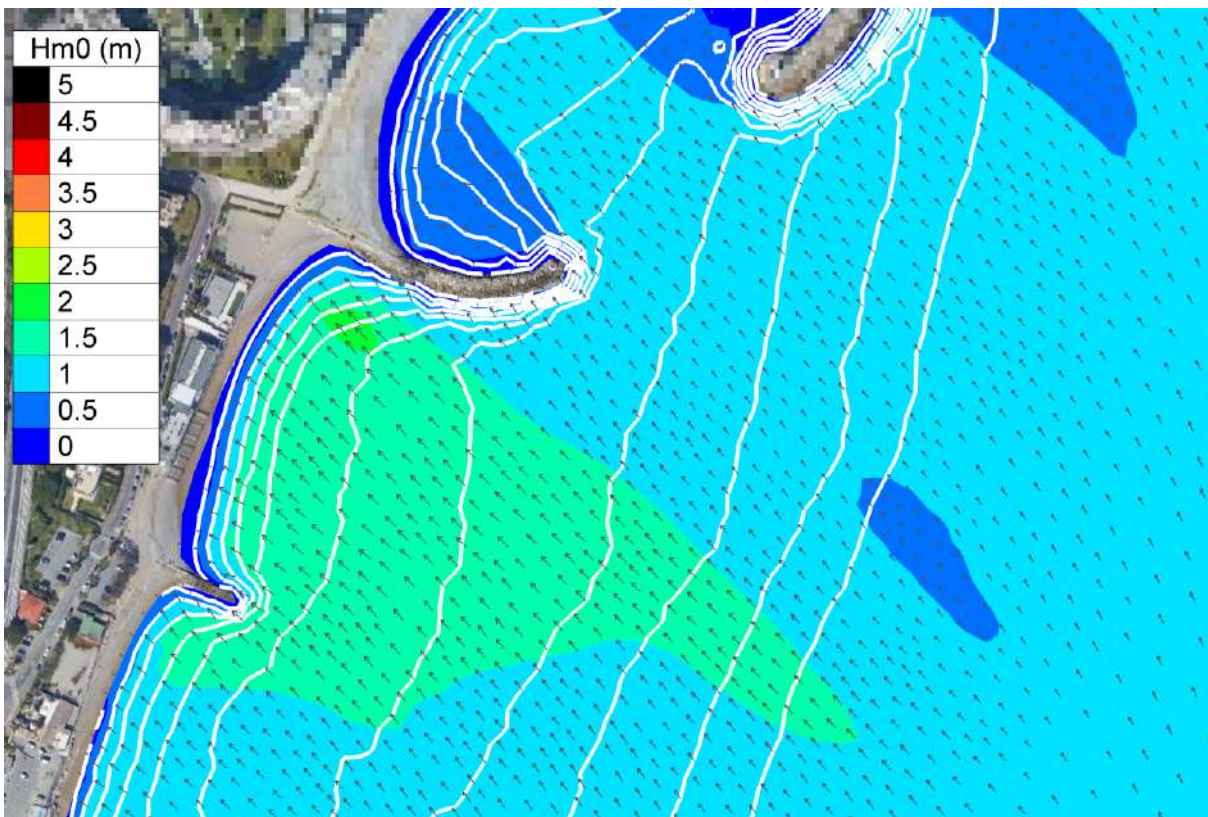
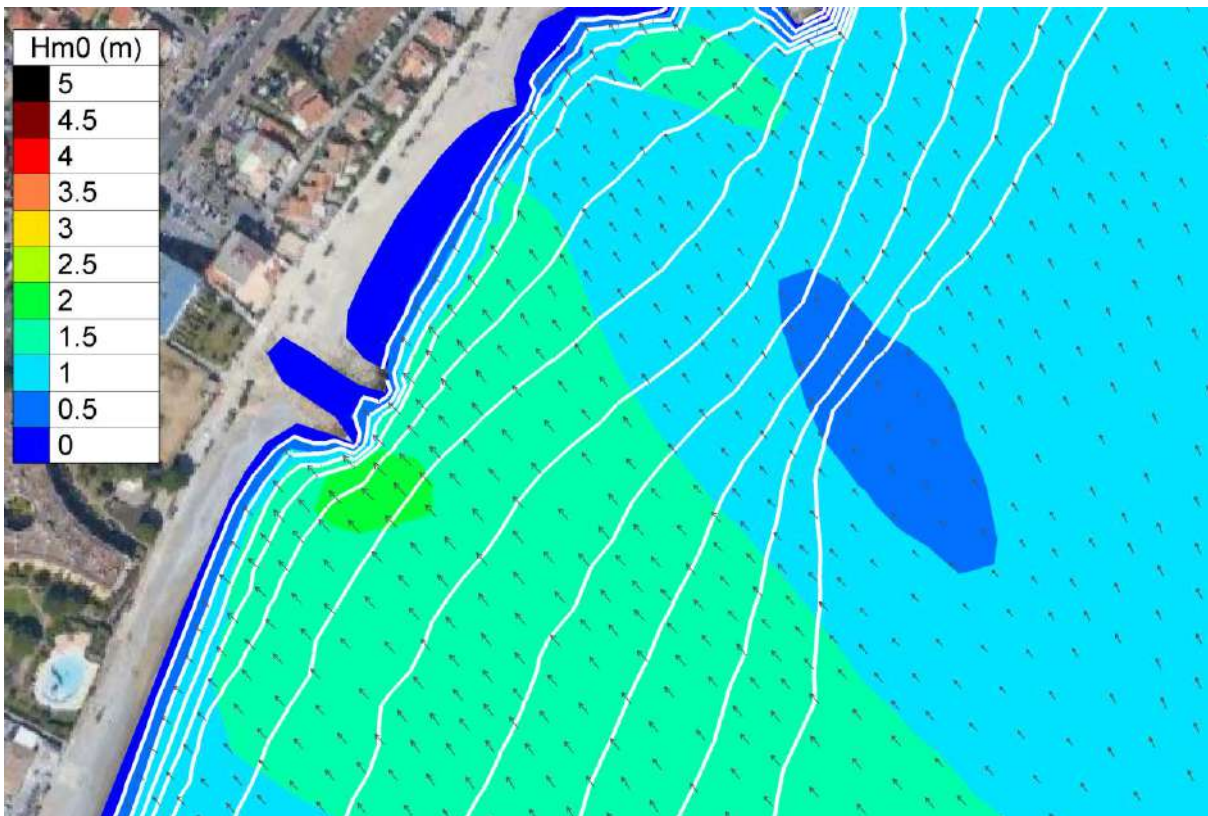
Simulation 17 : Période de retour 100 ans de secteur 80°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



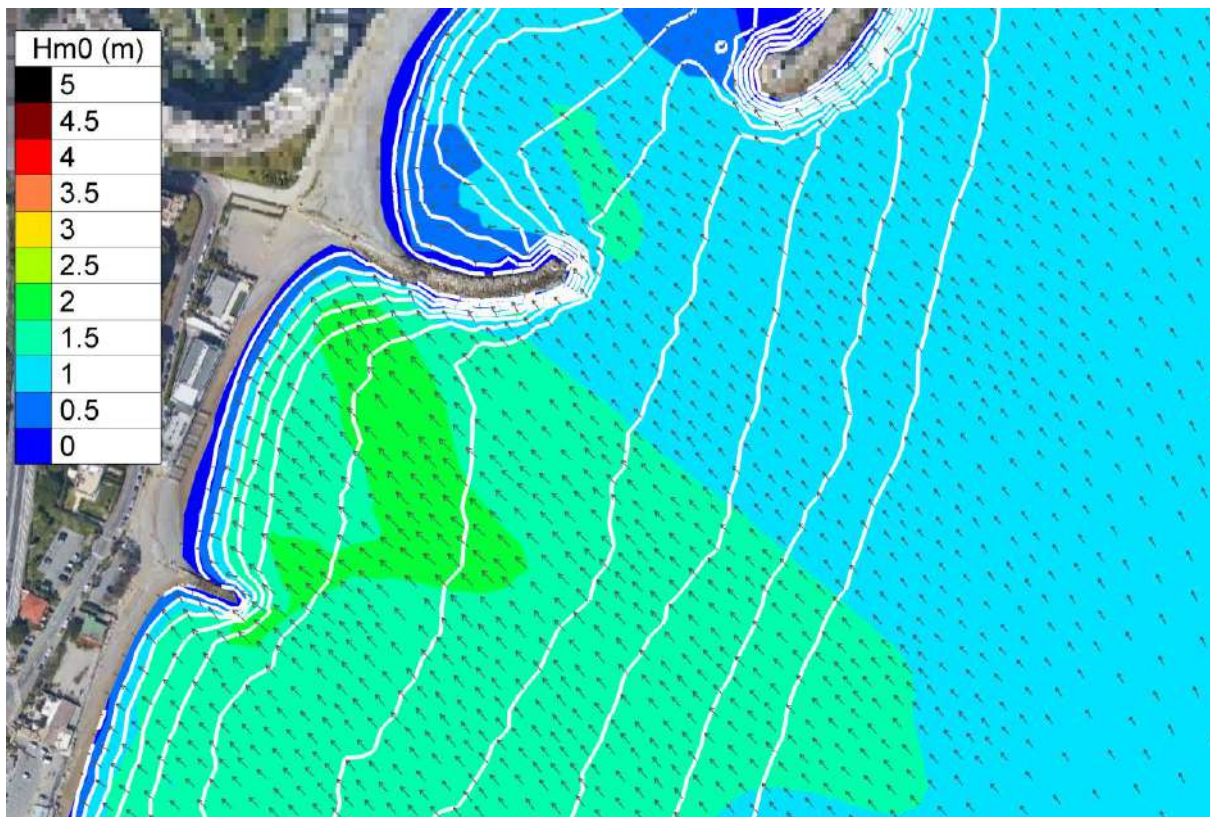
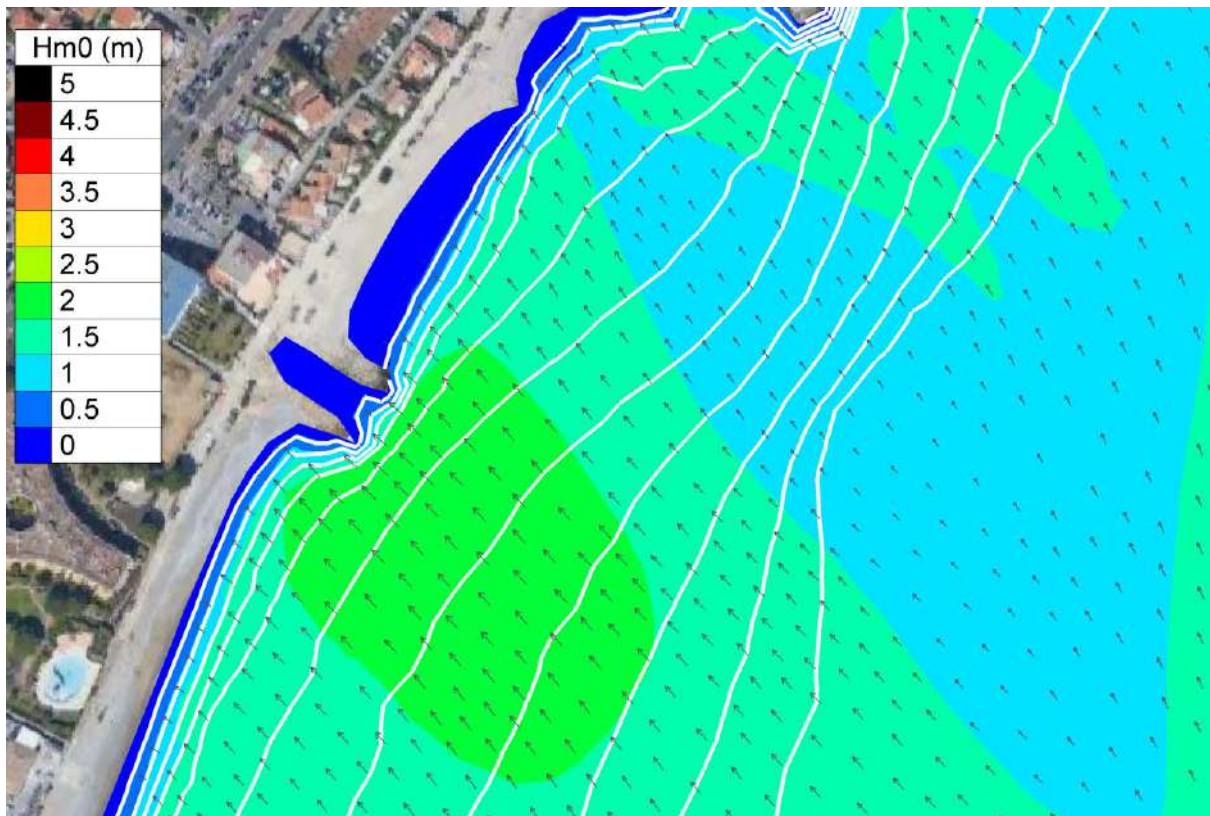
Simulation 18 : Période de retour 1 an de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



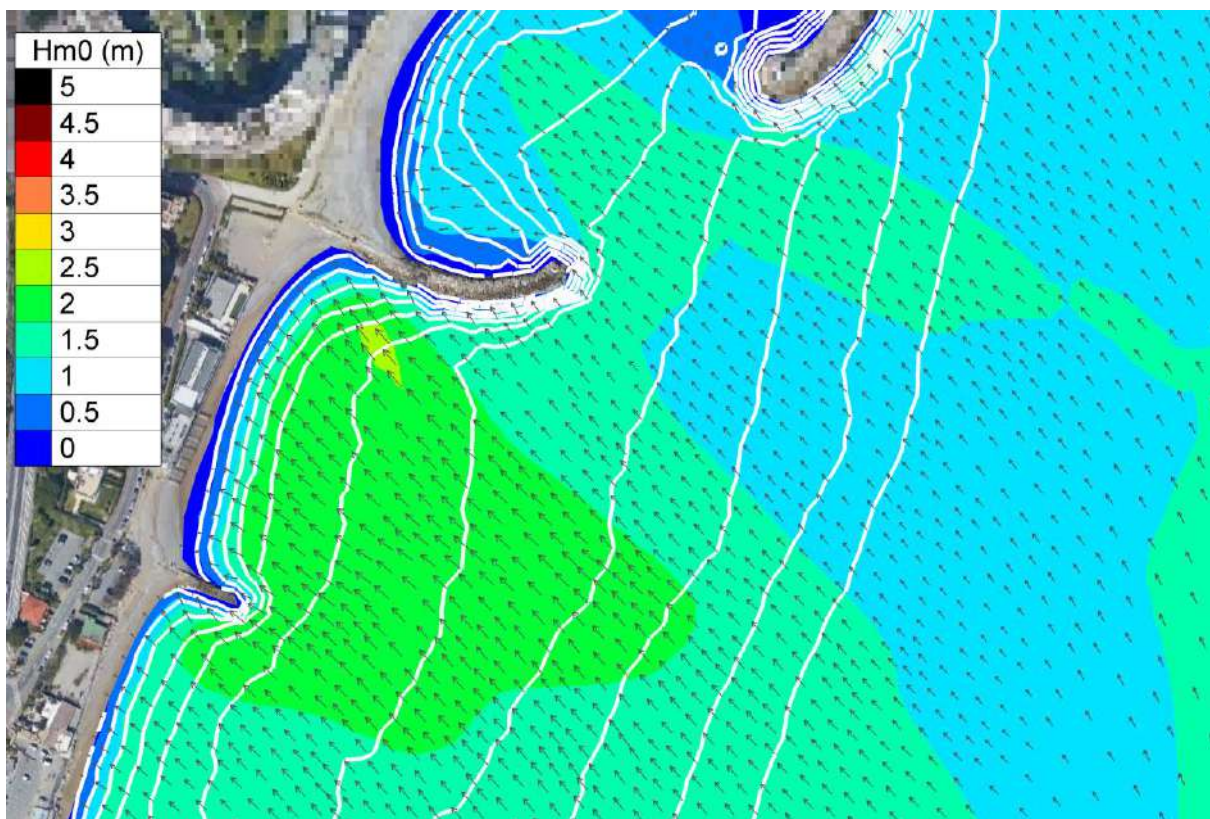
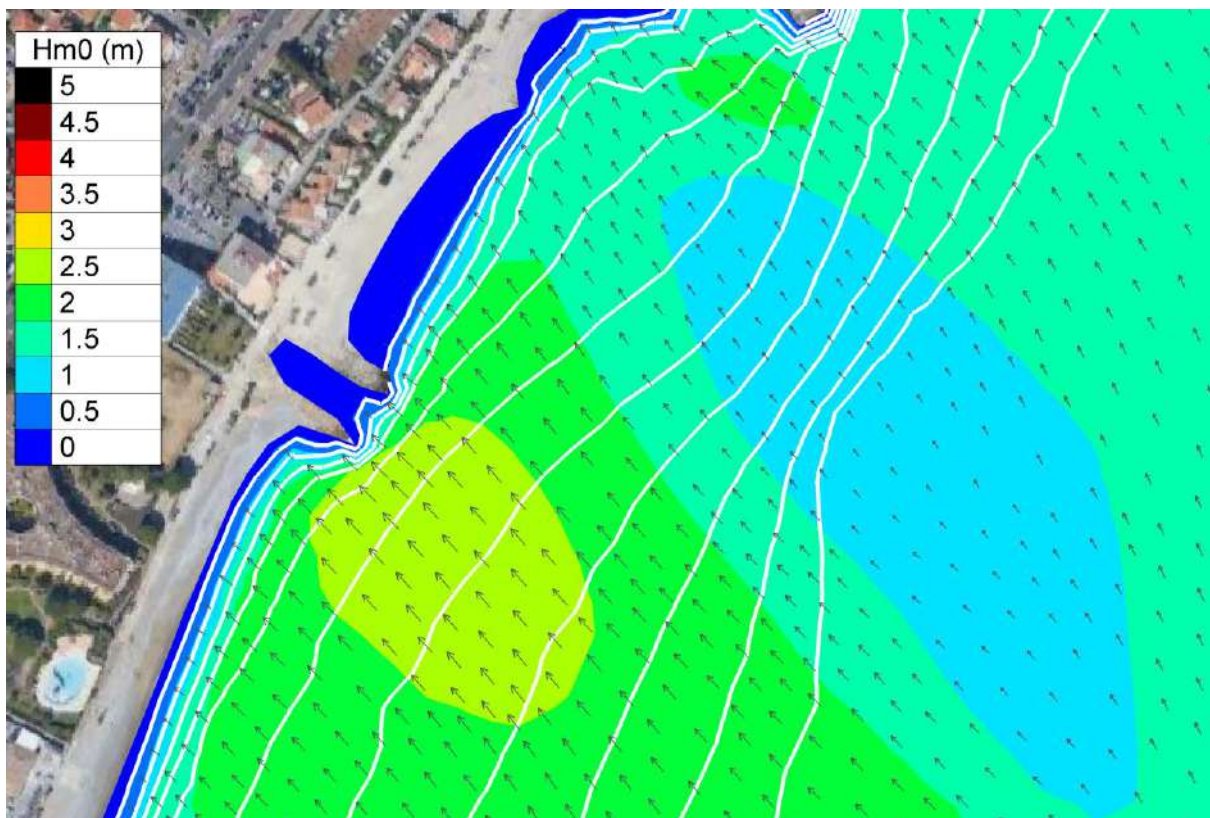
Simulation 19 : Période de retour 5 ans de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



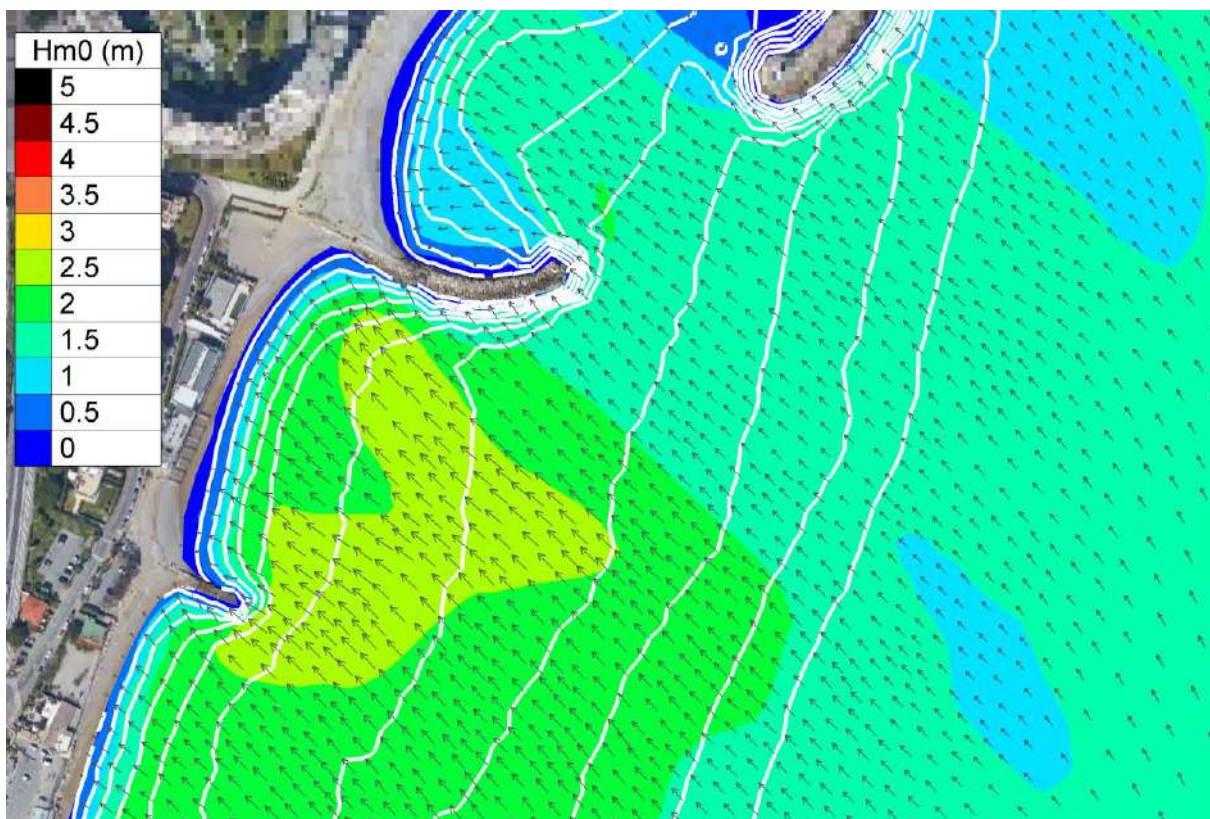
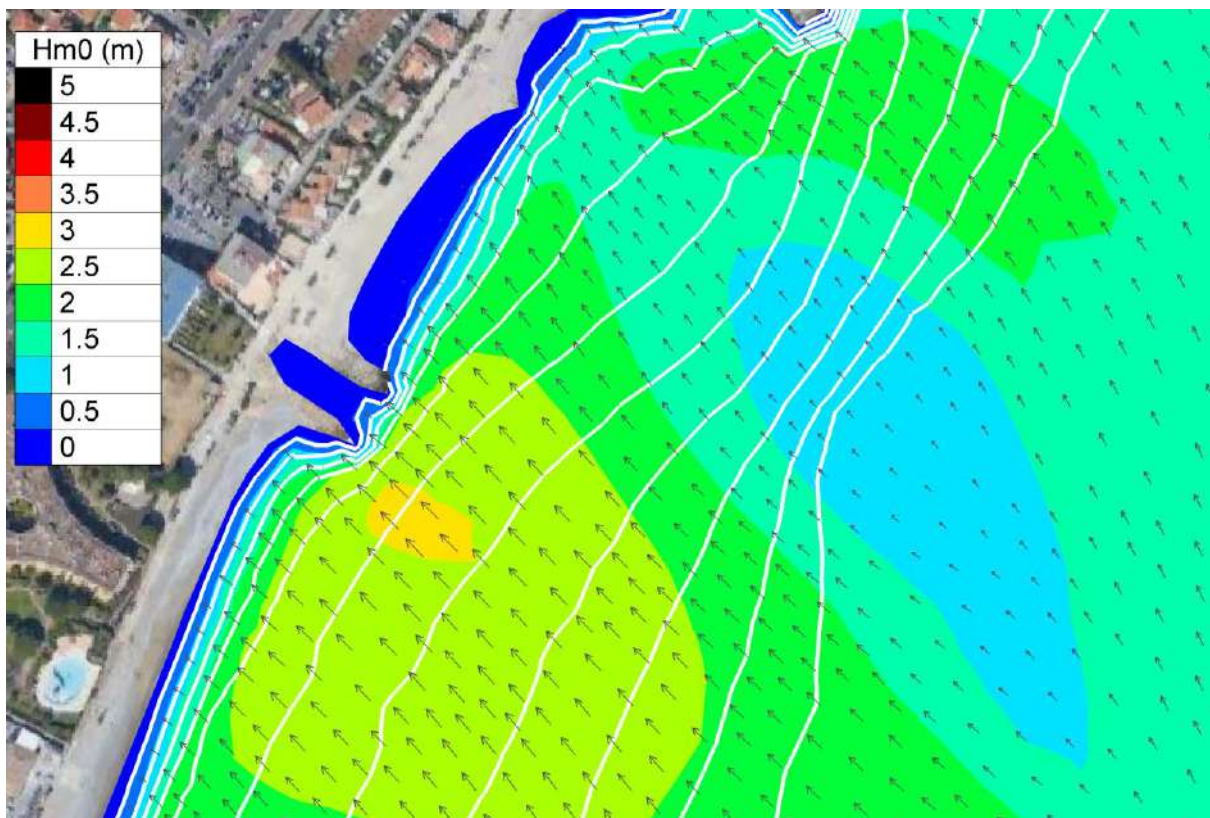
Simulation 20 : Période de retour 10 ans de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



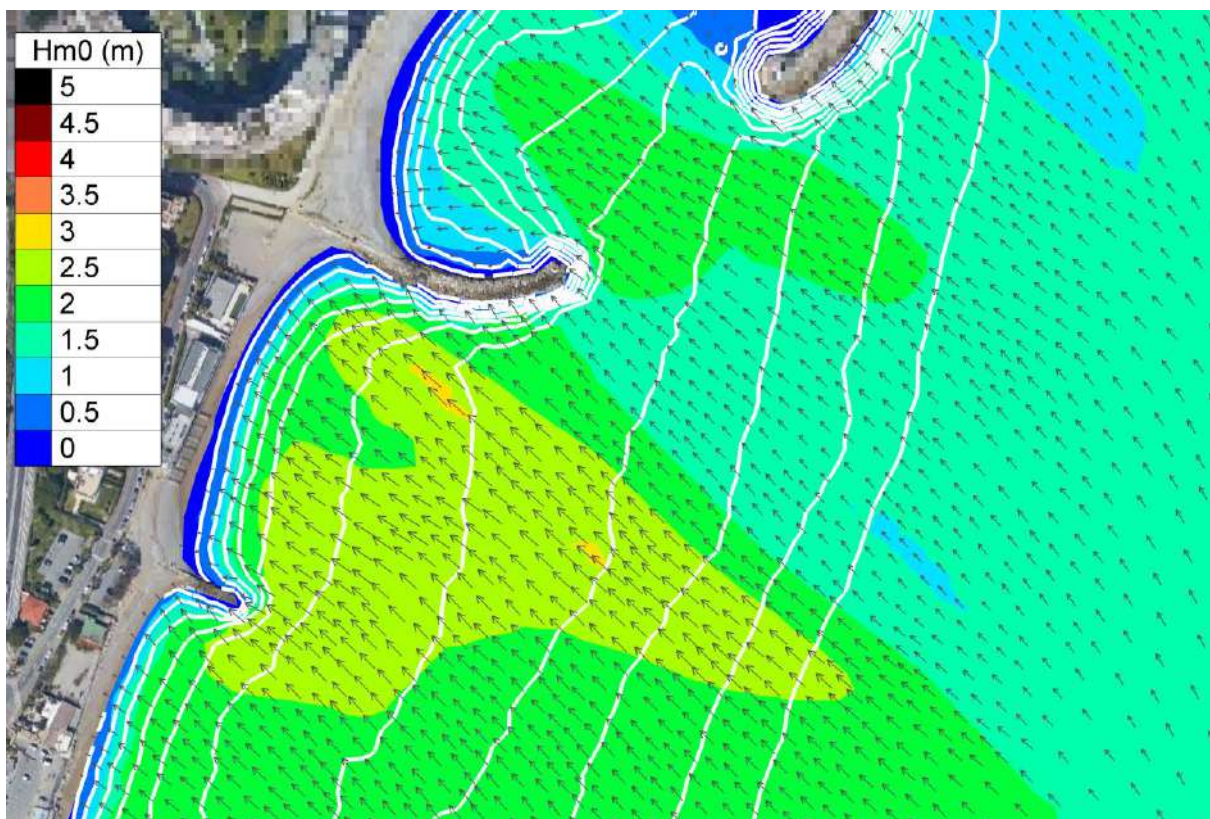
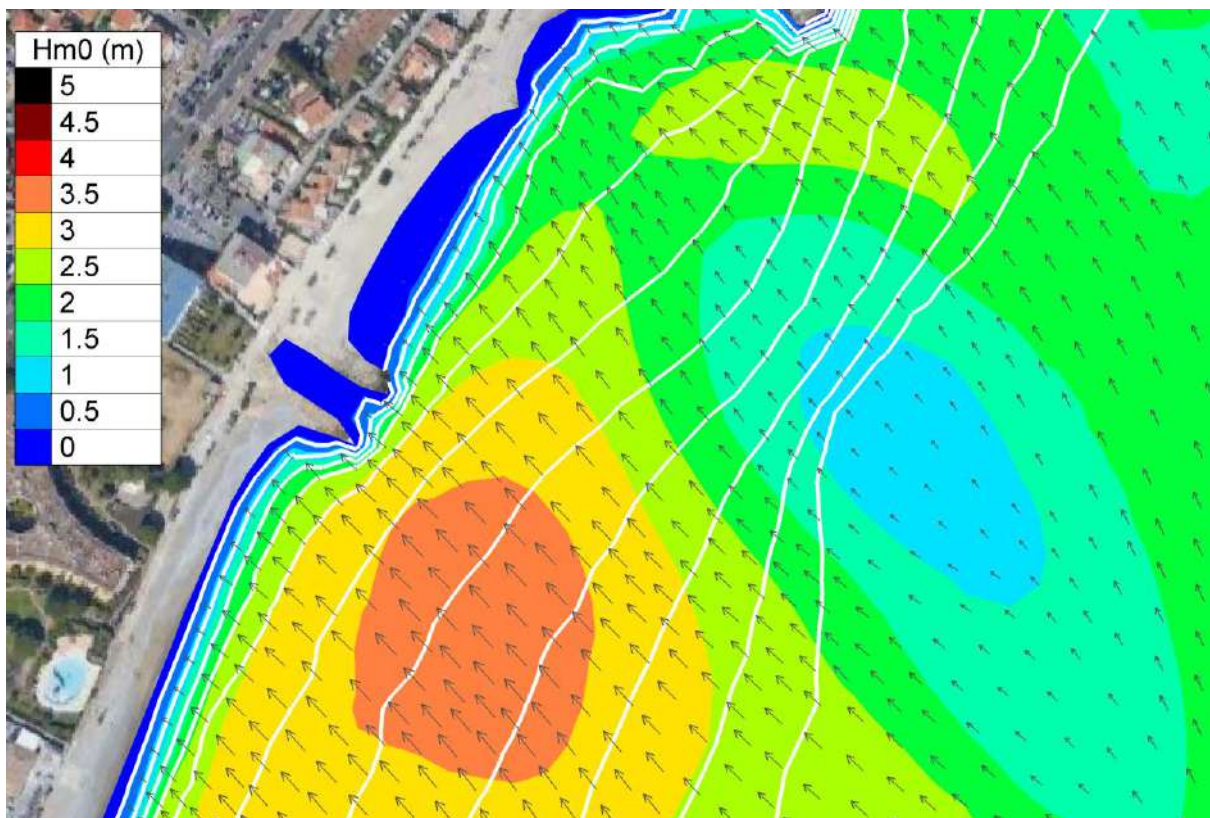
Simulation 21 : Période de retour 20 ans de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



Simulation 22 : Période de retour 50 ans de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



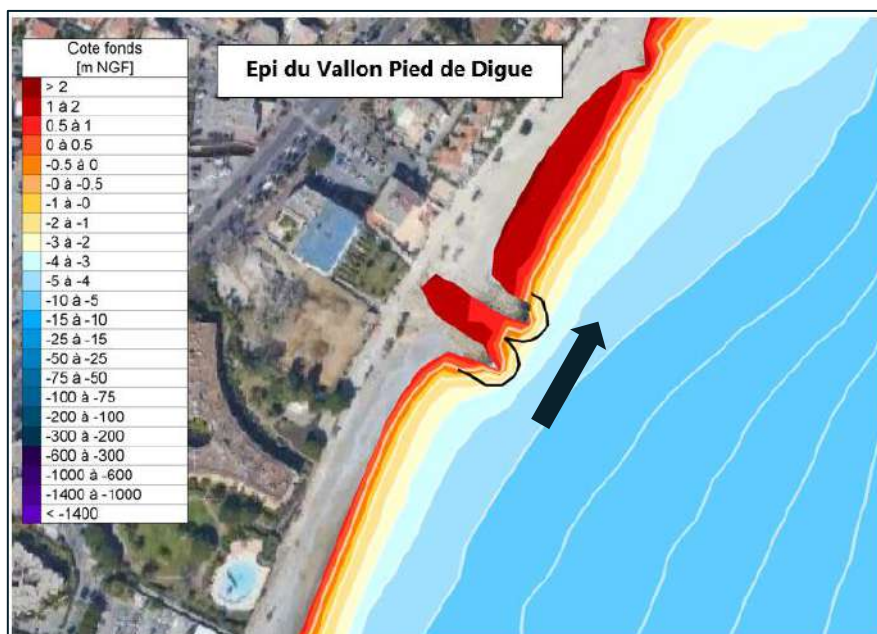
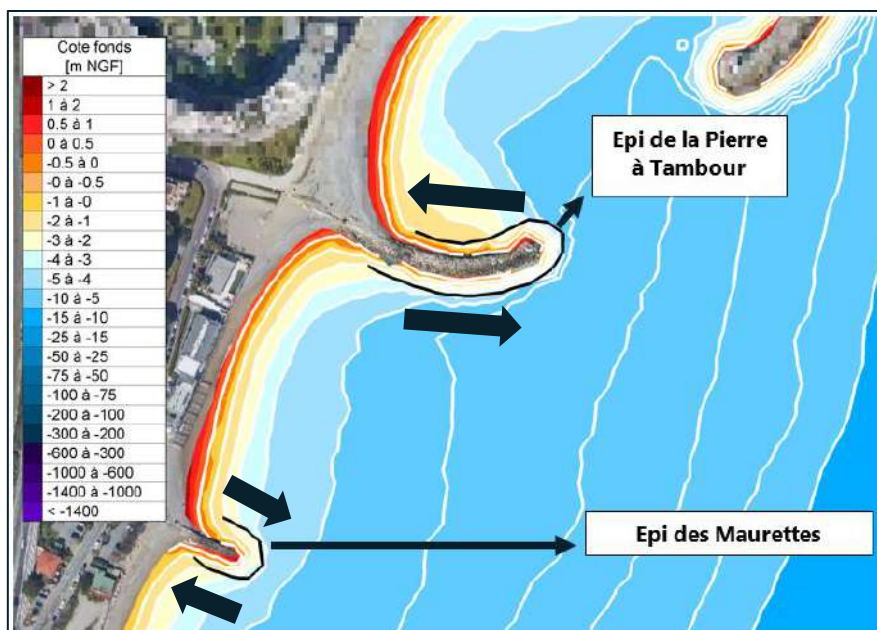
Simulation 23 : Période de retour 100 ans de secteur 200°N avec un niveau de BMVE (0.07 mNGF)



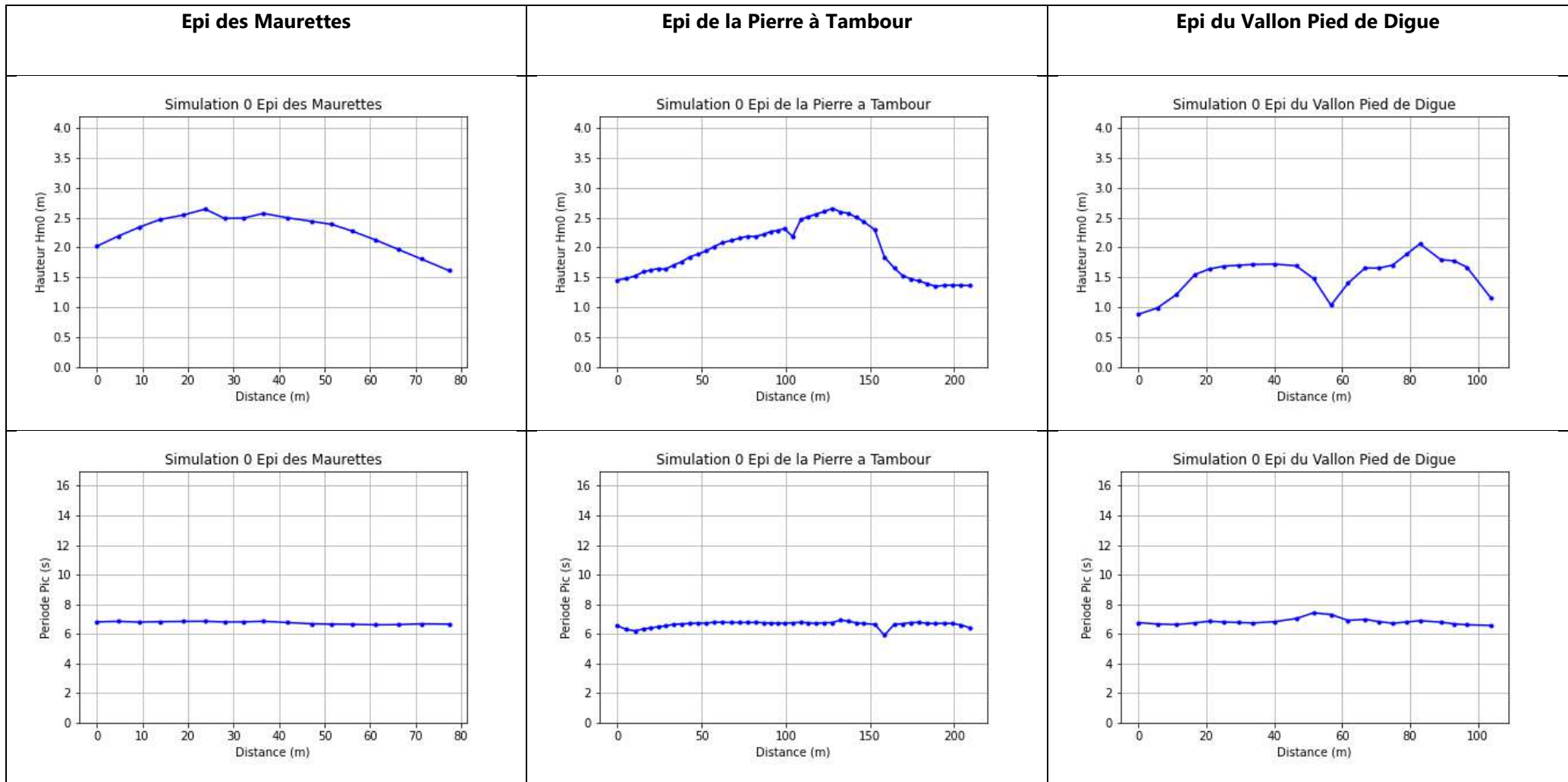


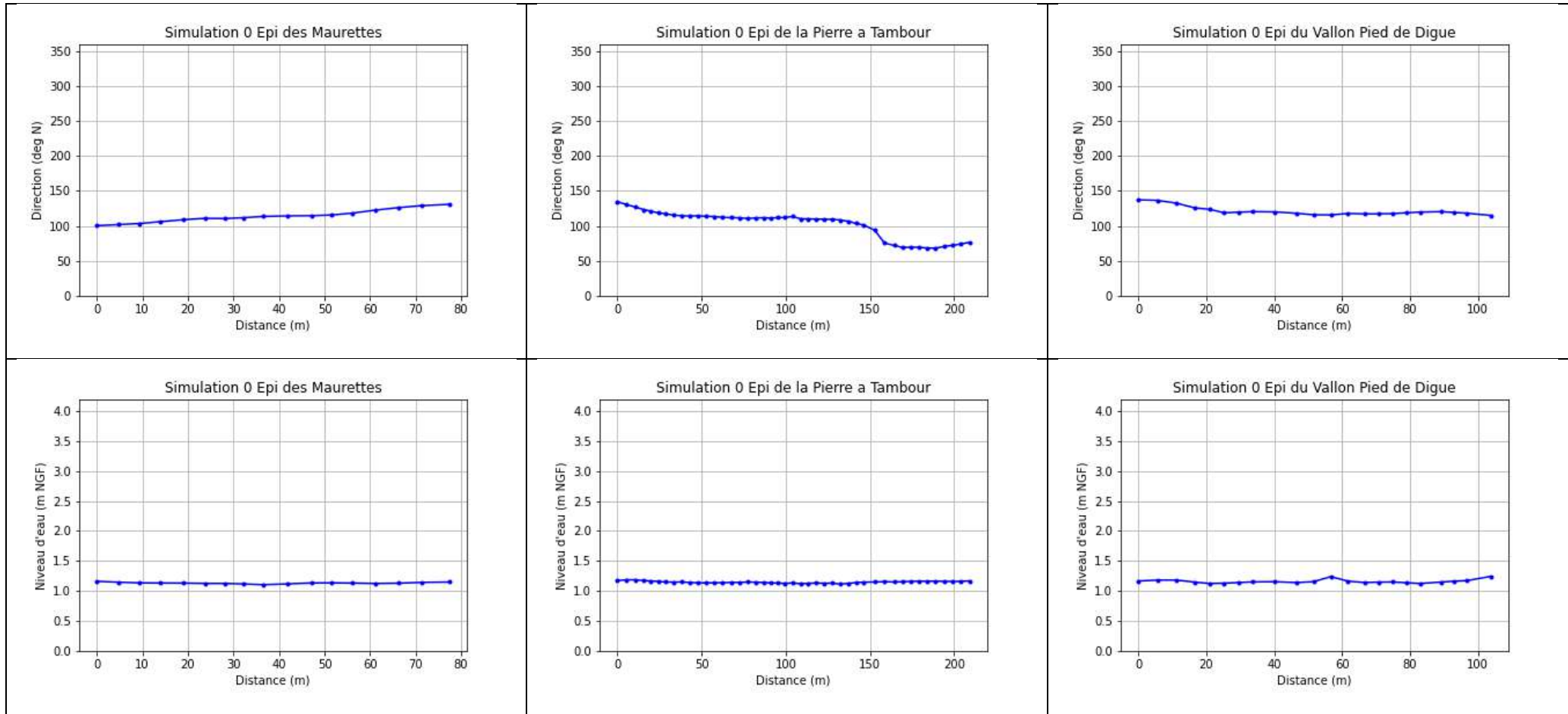
## Extraction des conditions marines en pied d'ouvrages

Lignes d'extraction  
(avec sens de lecture des résultats, x croissants sur les courbes ci-après)

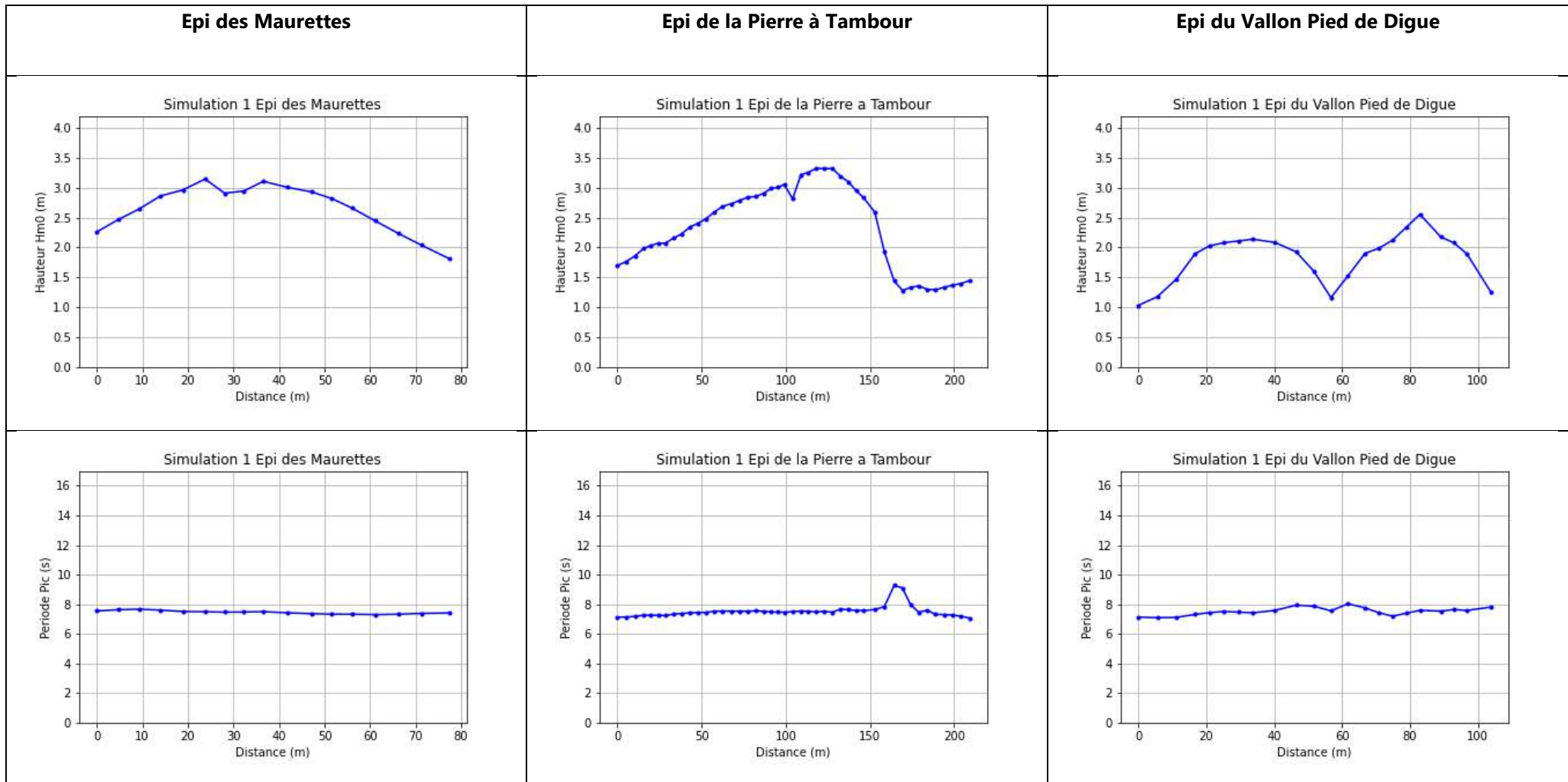


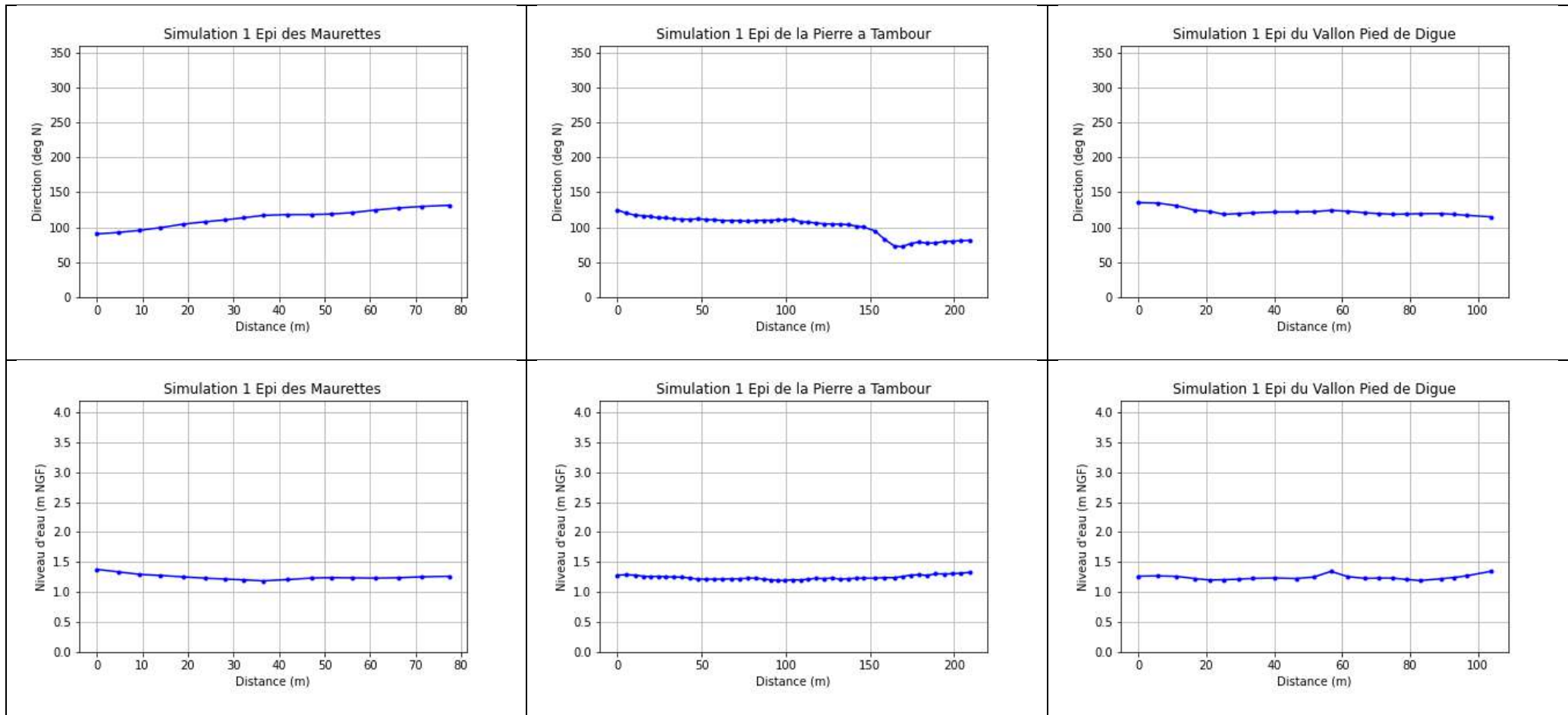
**Simulation 0 :**



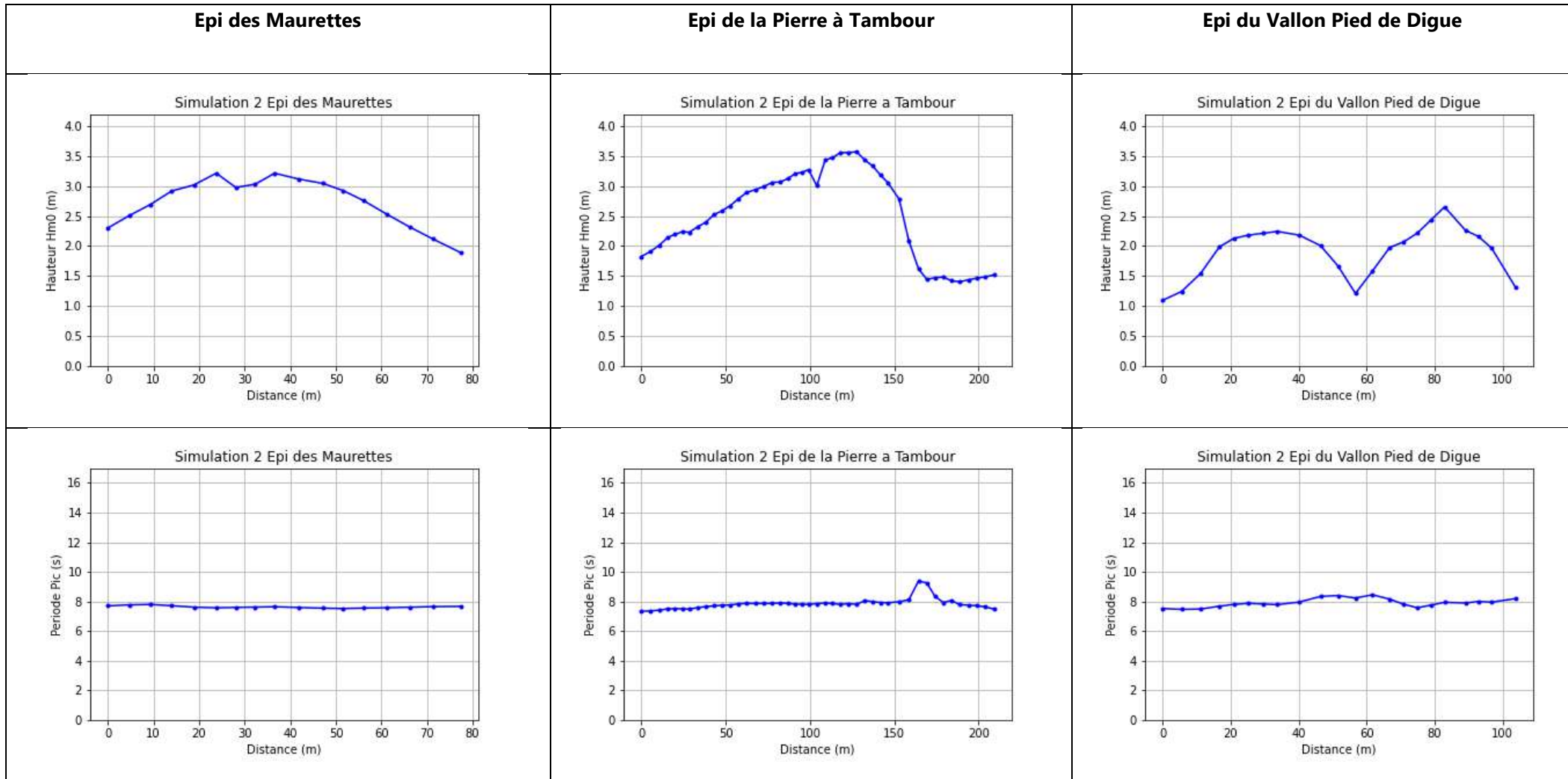


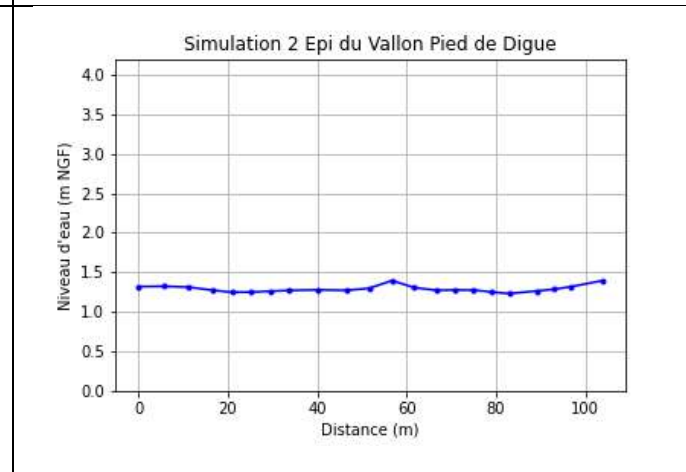
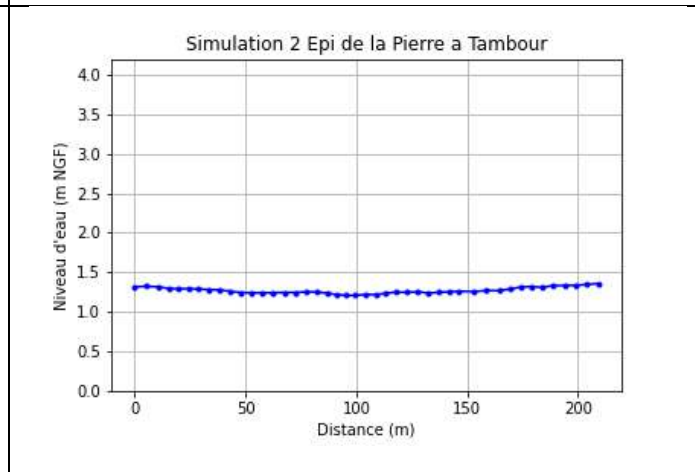
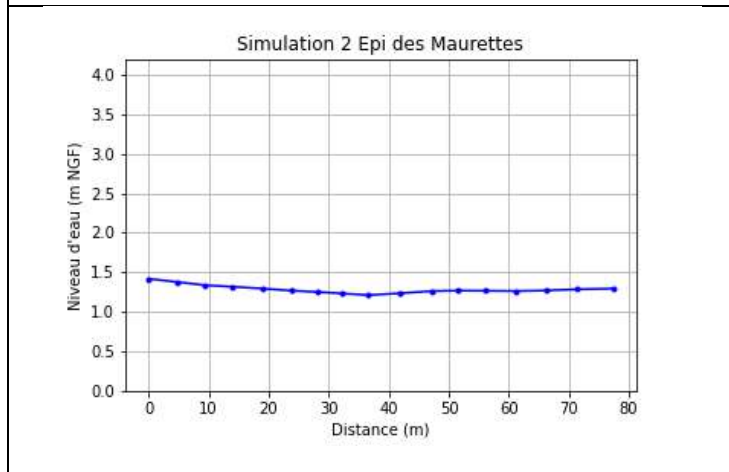
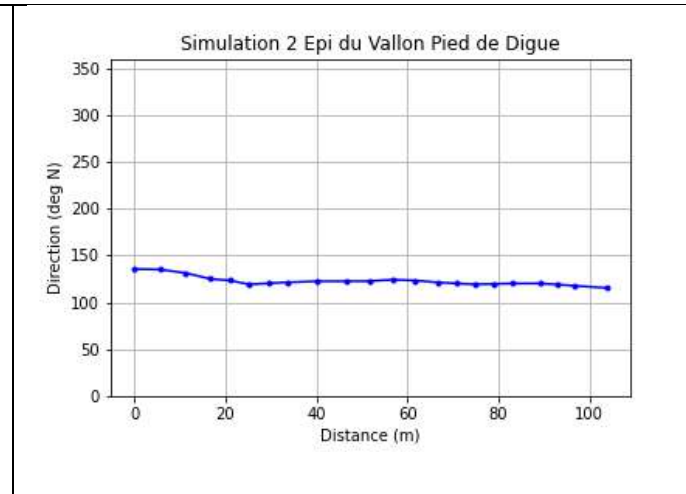
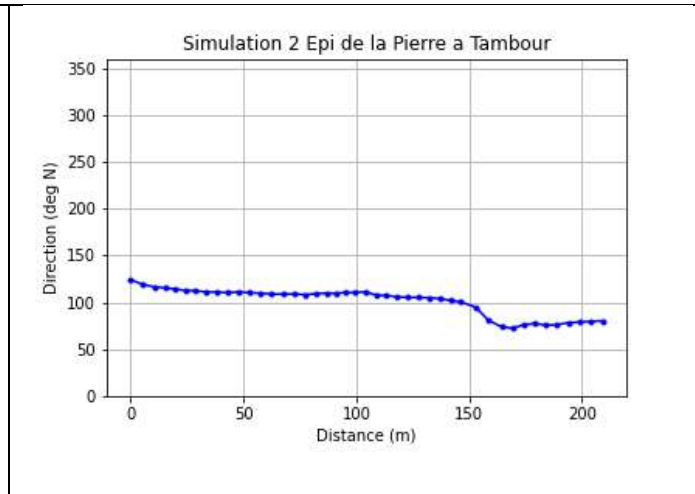
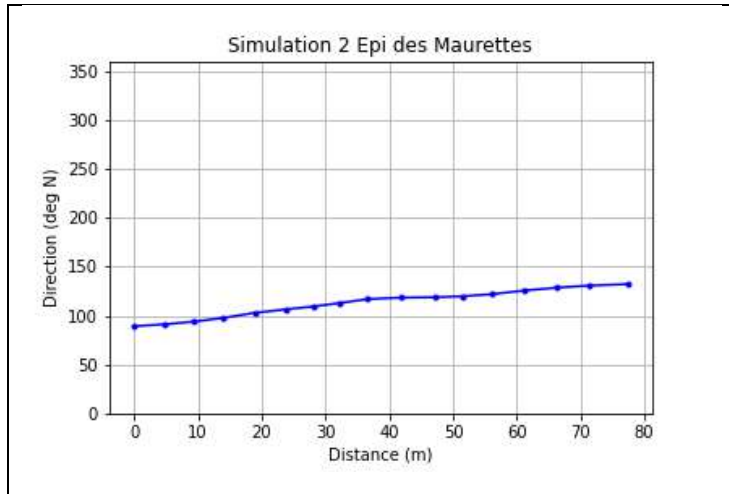
**Simulation 1 :**



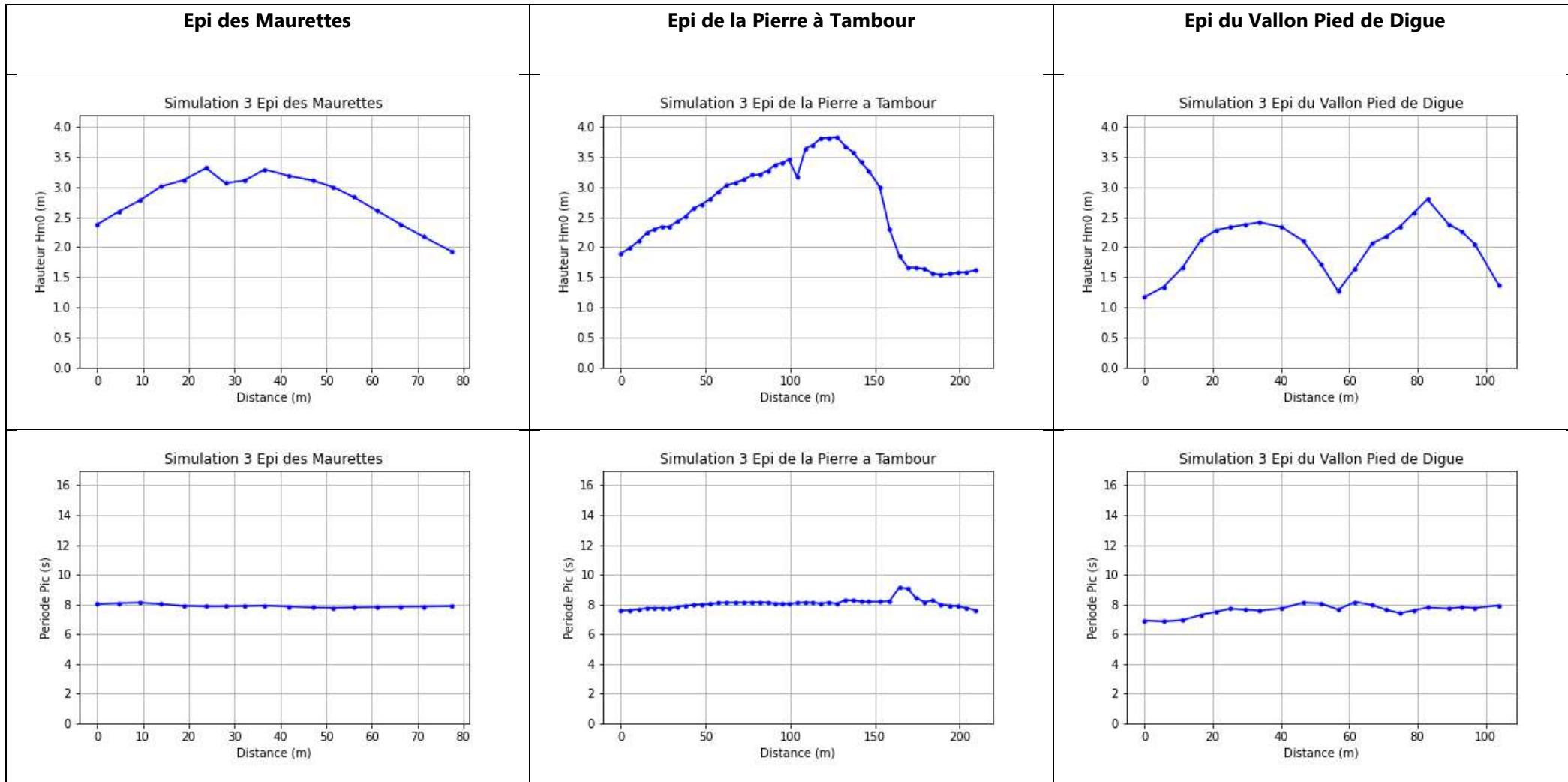


**Simulation 2 :**

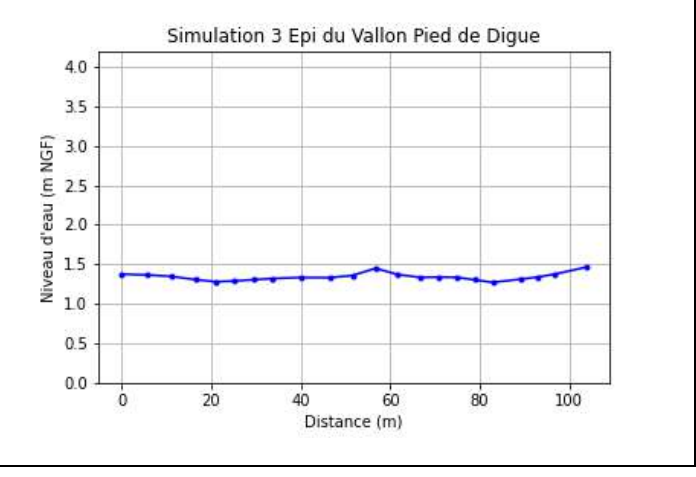
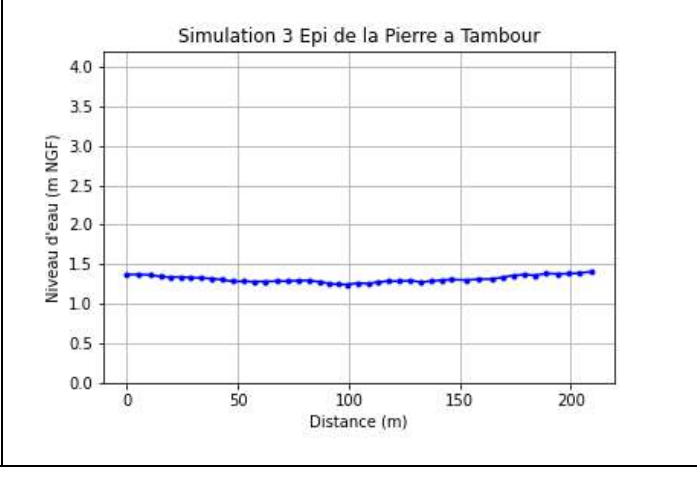
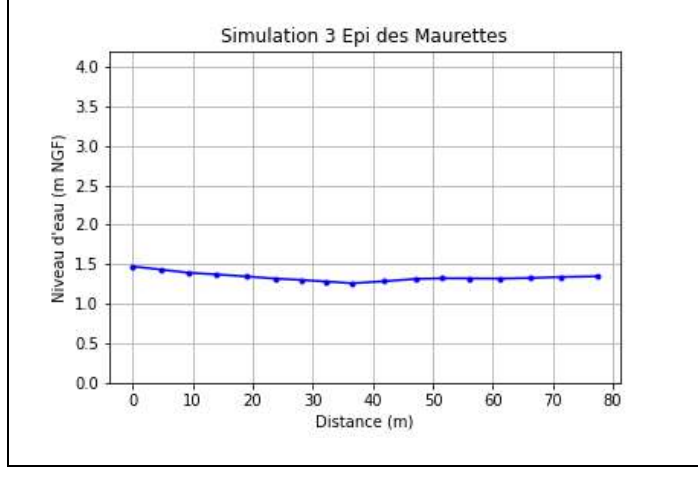
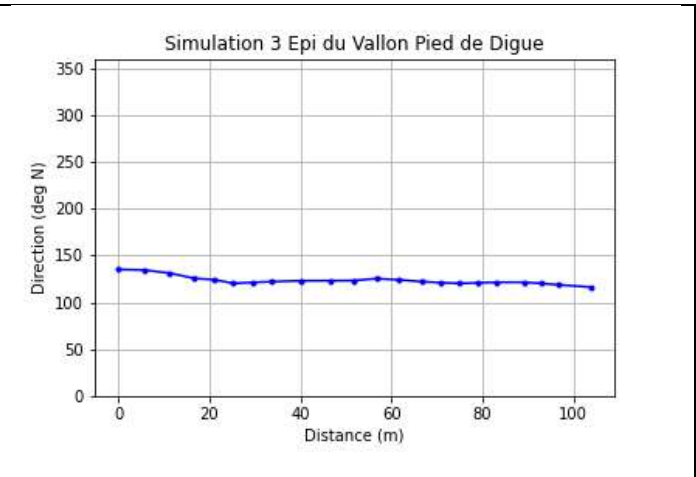
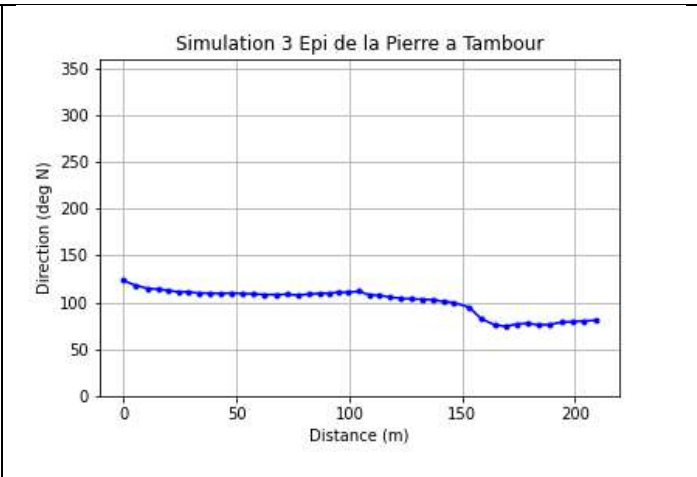
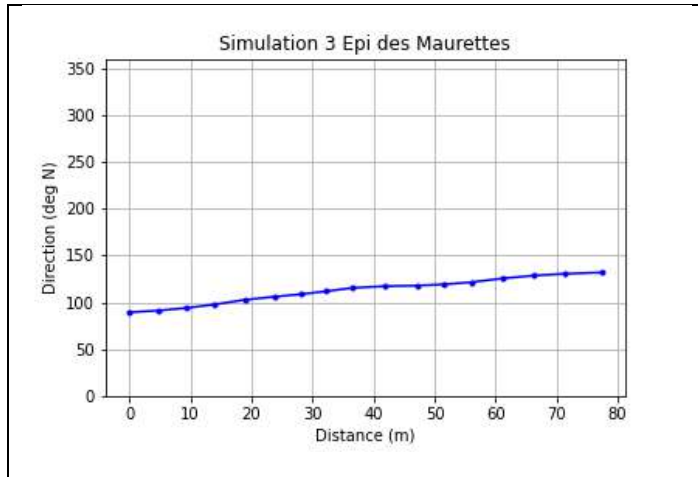




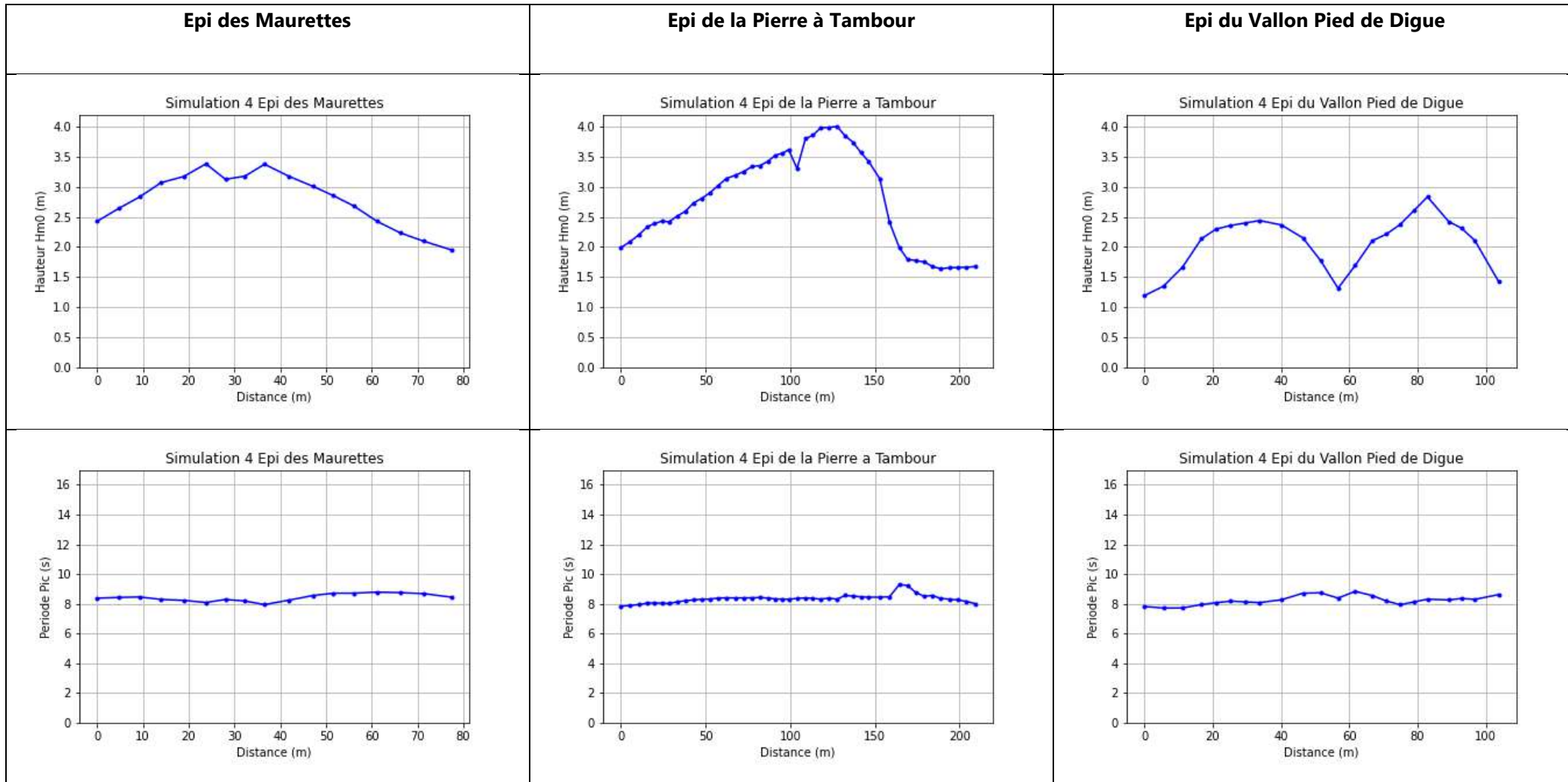
**Simulation 3 :**

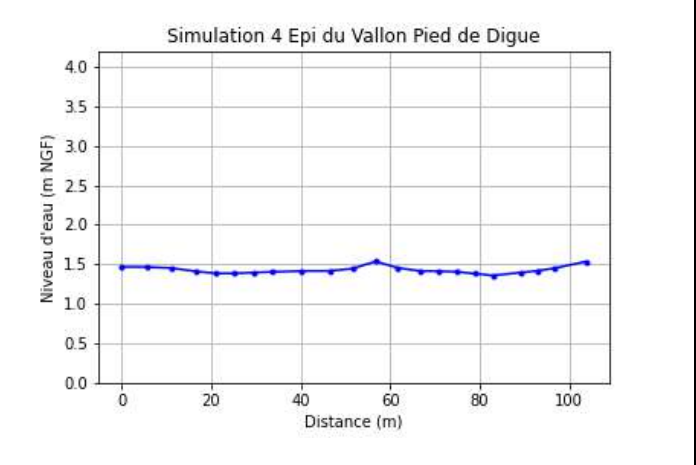
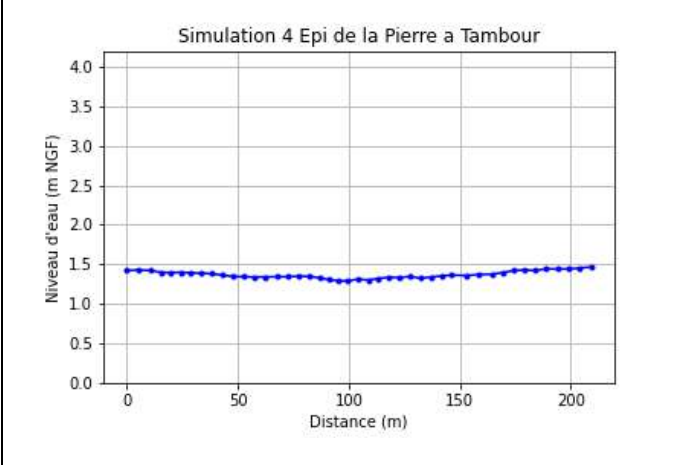
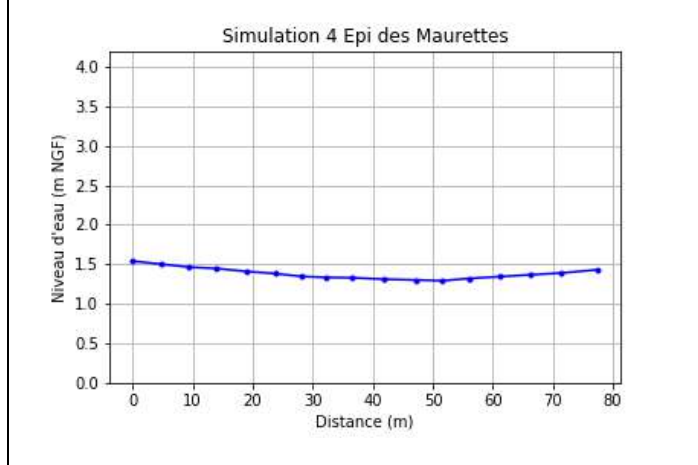
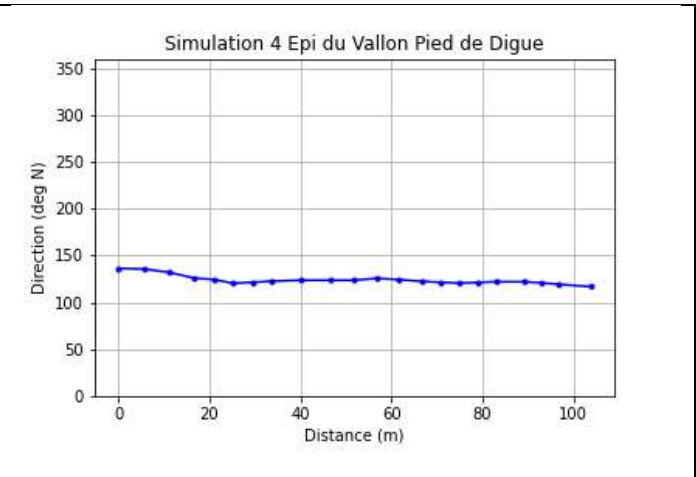
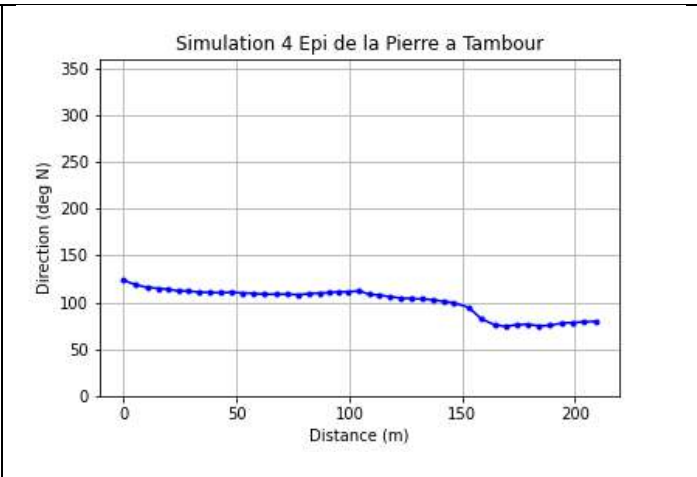
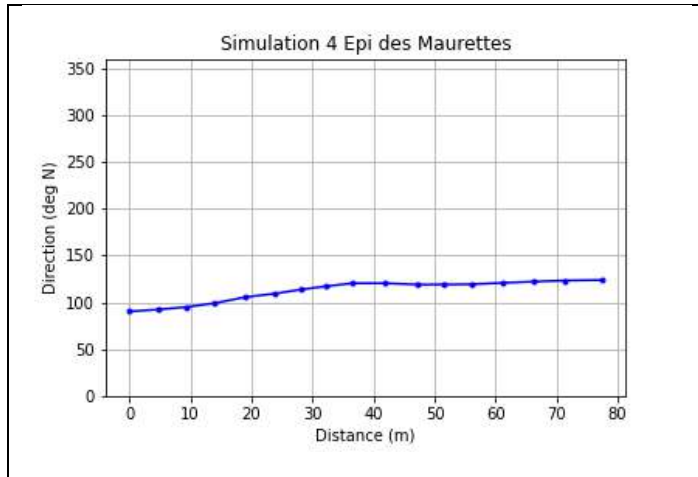




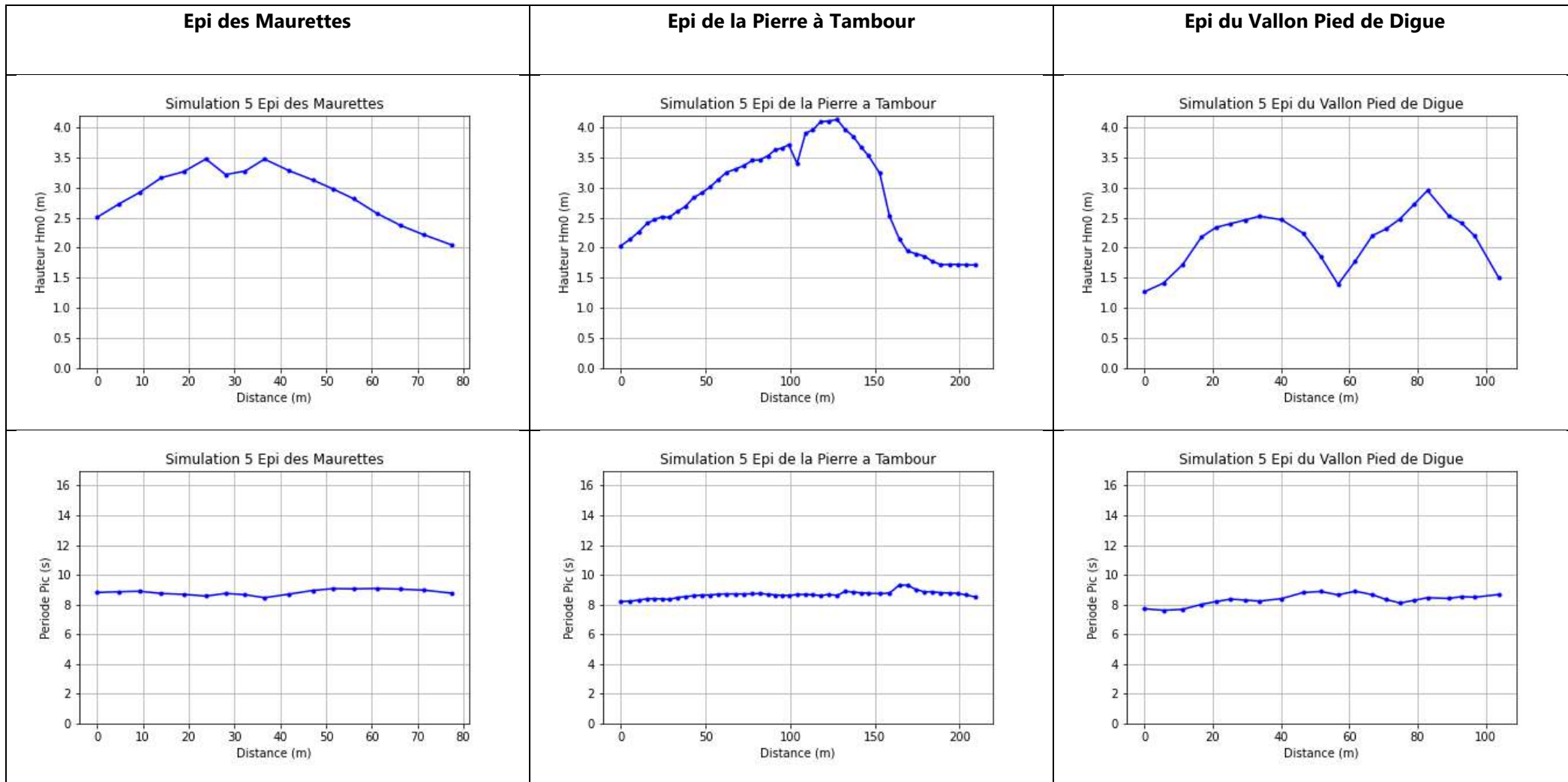


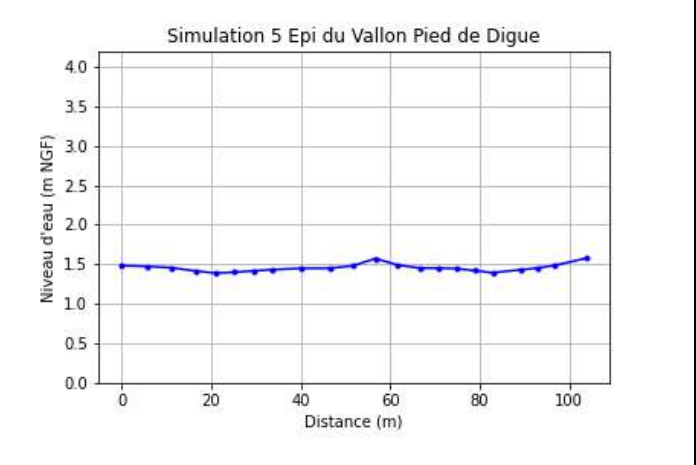
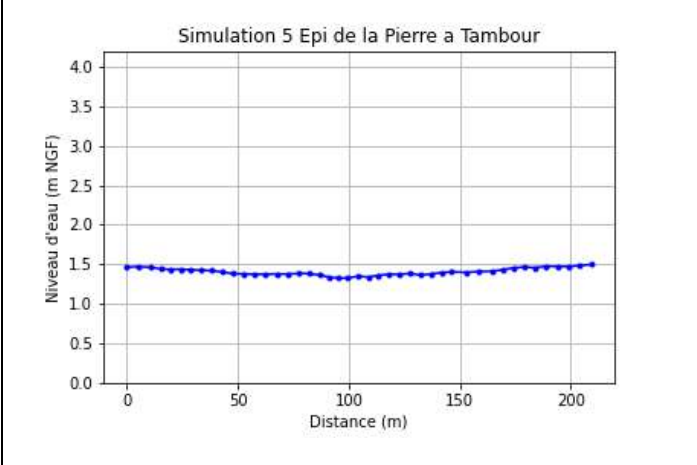
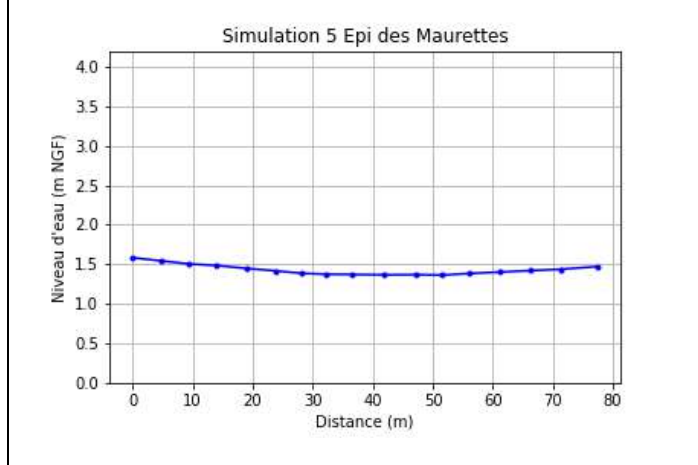
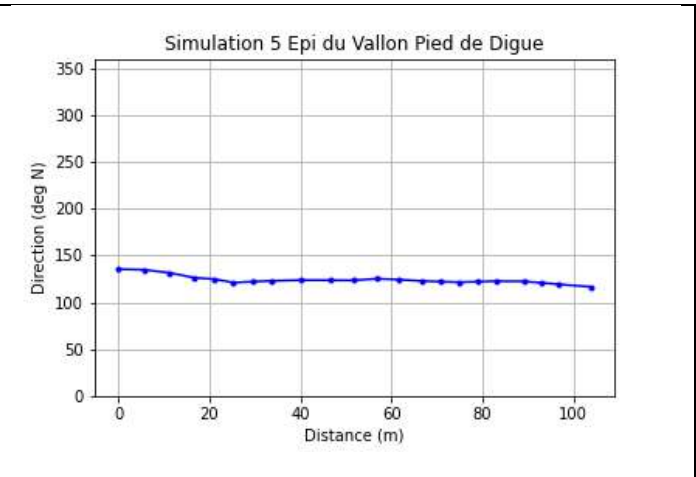
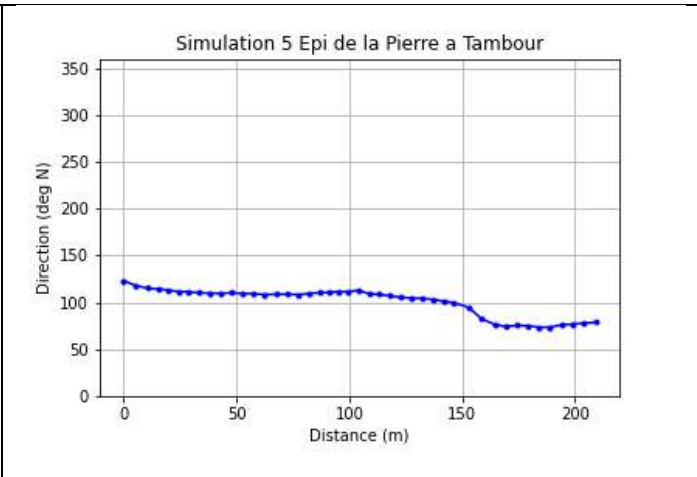
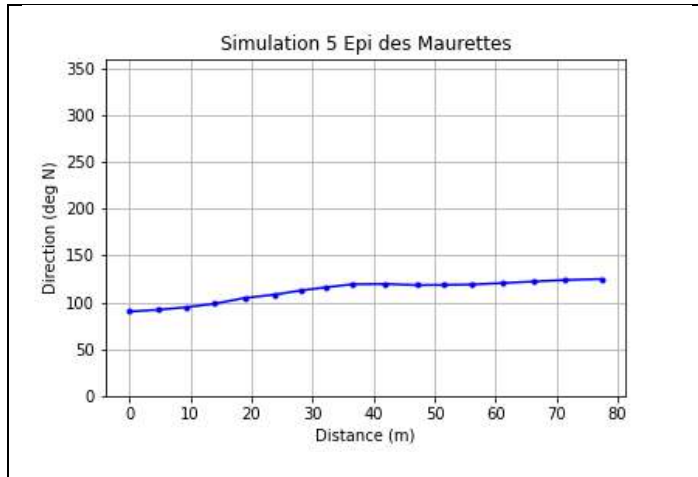
**Simulation 4 :**



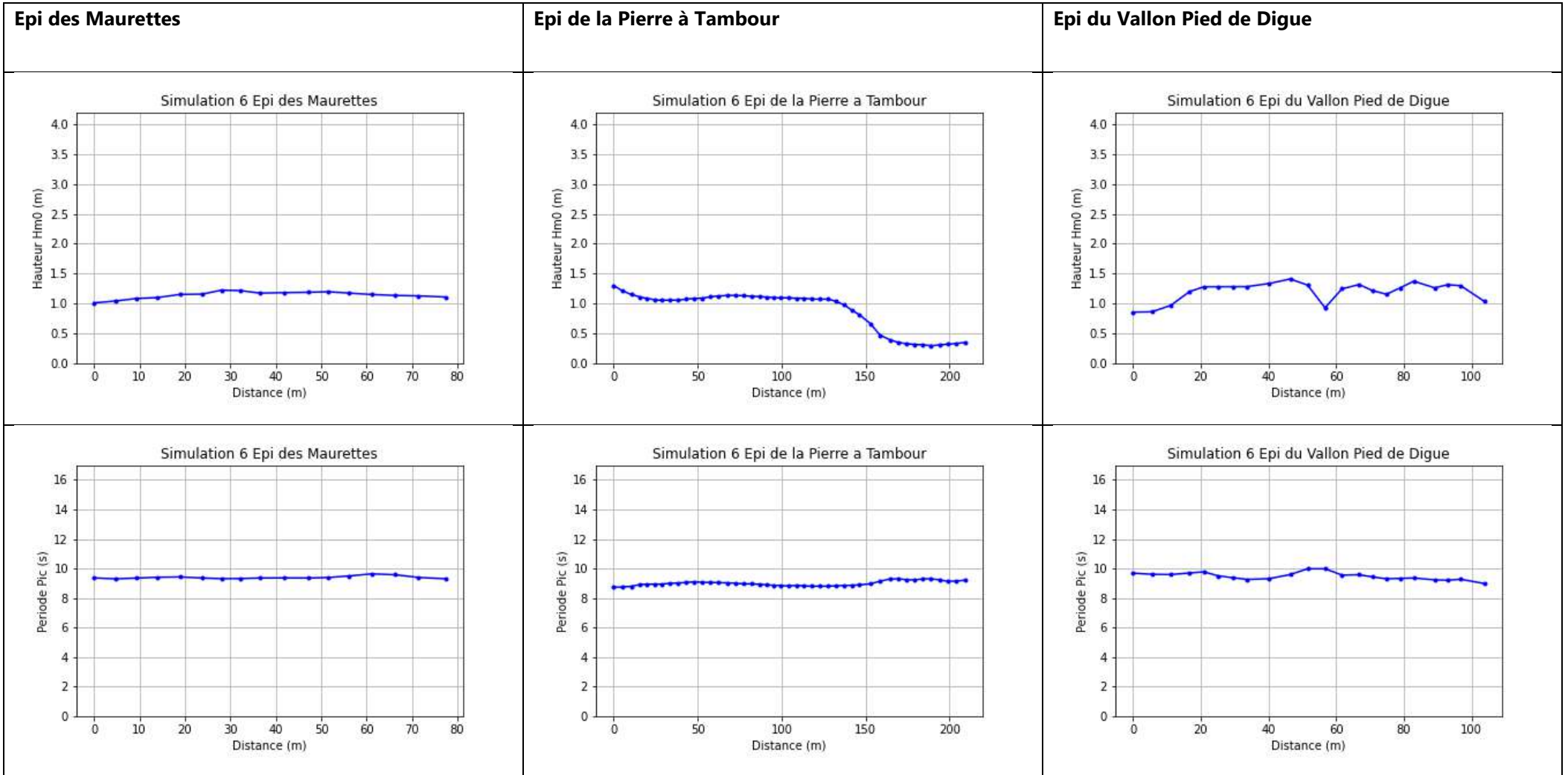


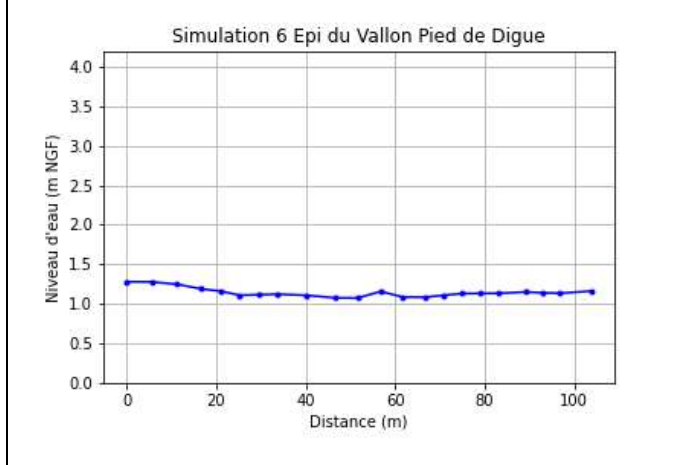
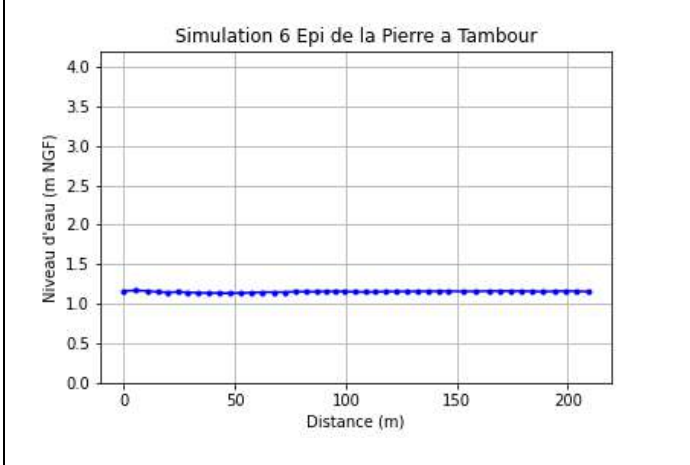
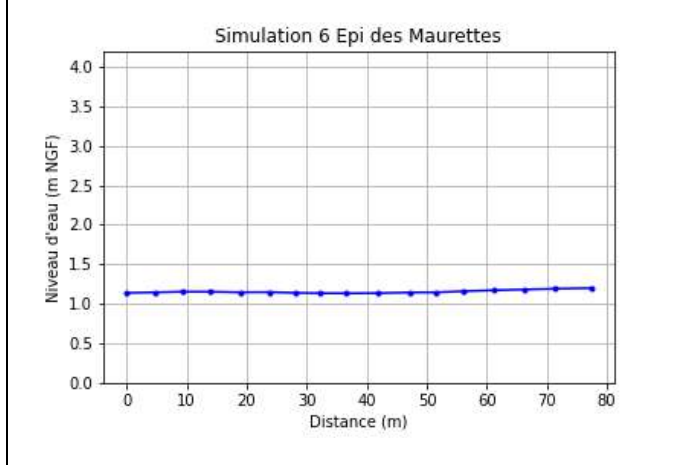
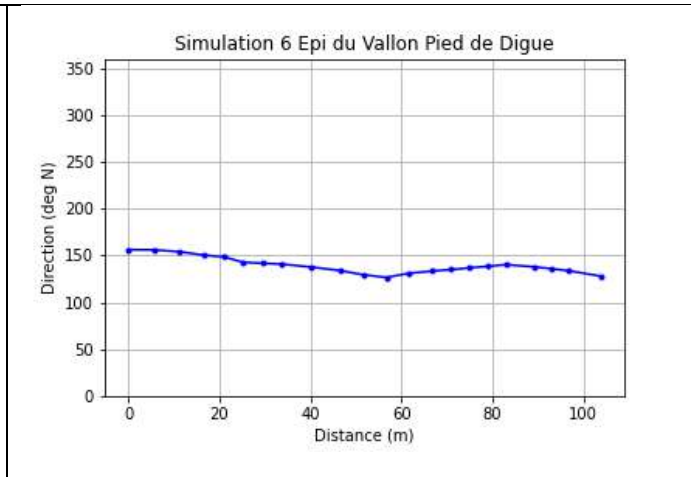
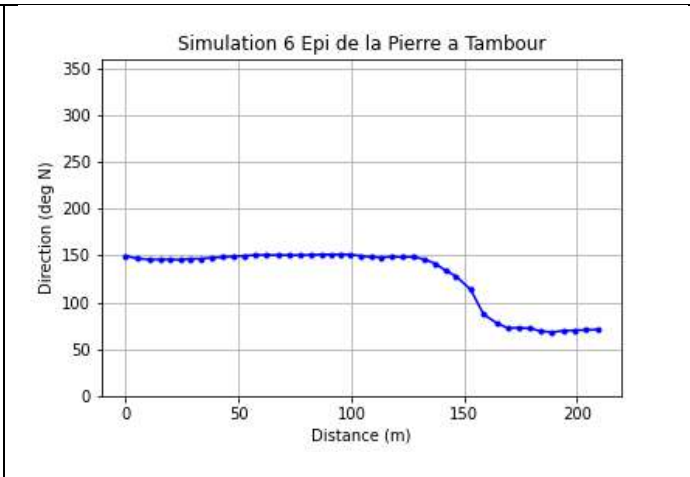
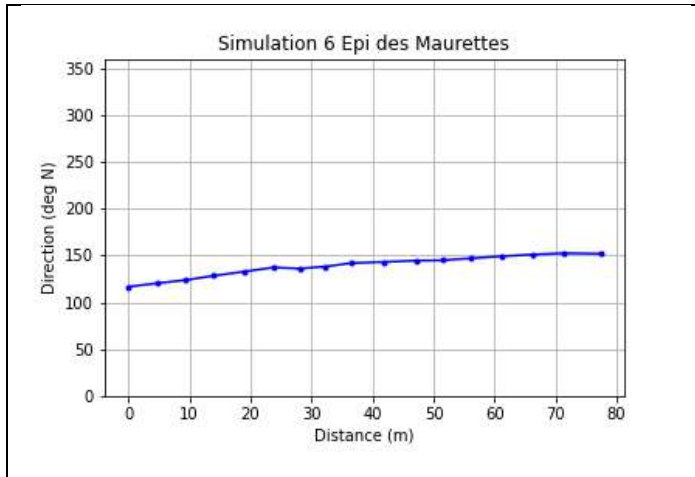
**Simulation 5 :**



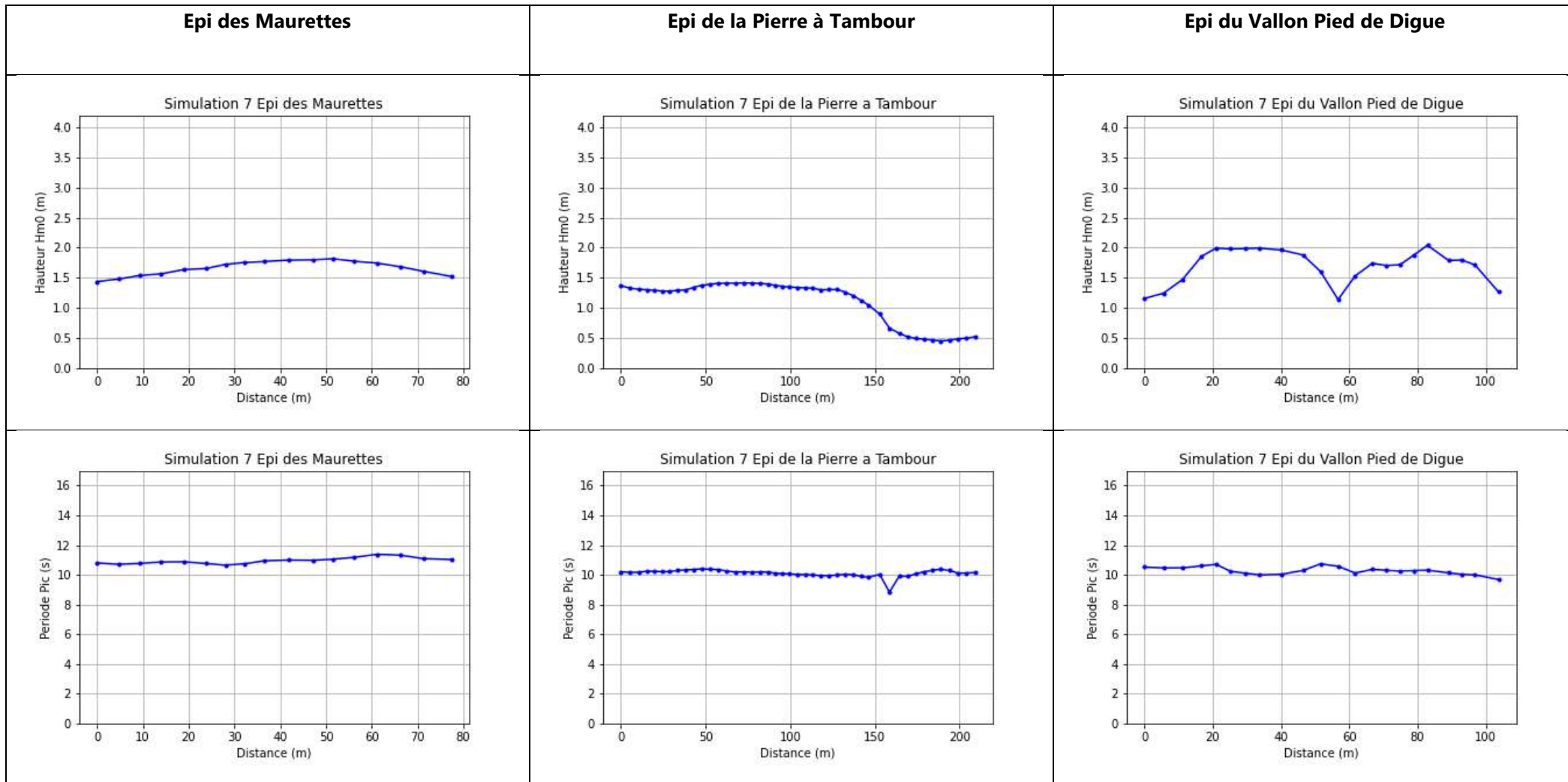


**Simulation 6 :**

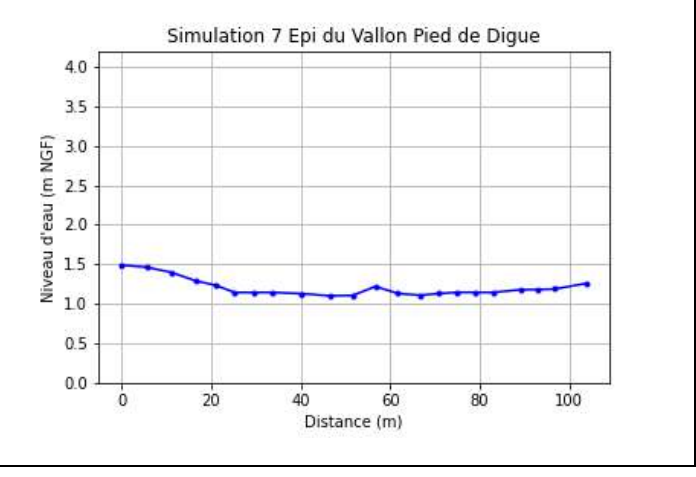
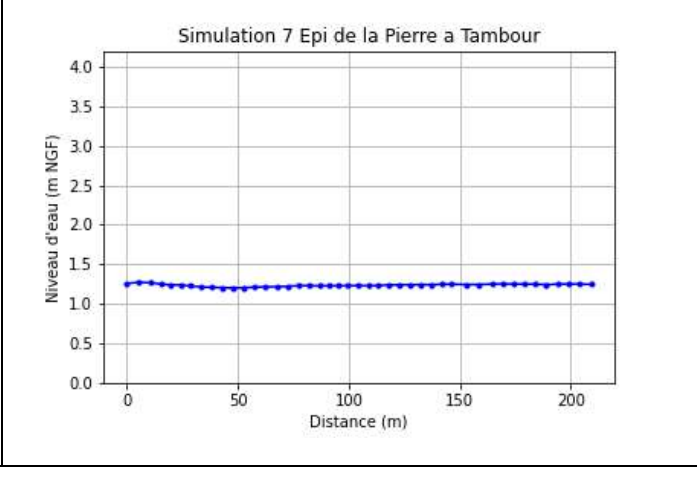
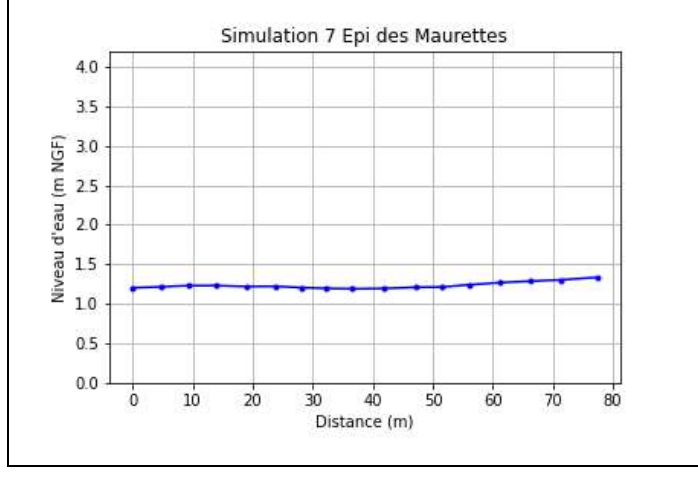
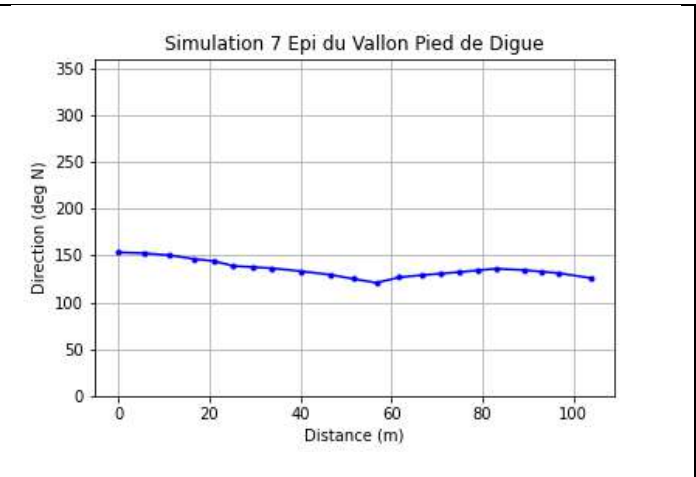
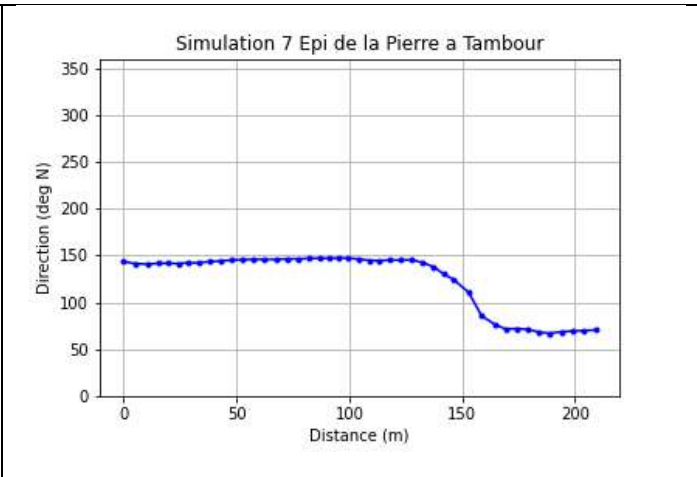
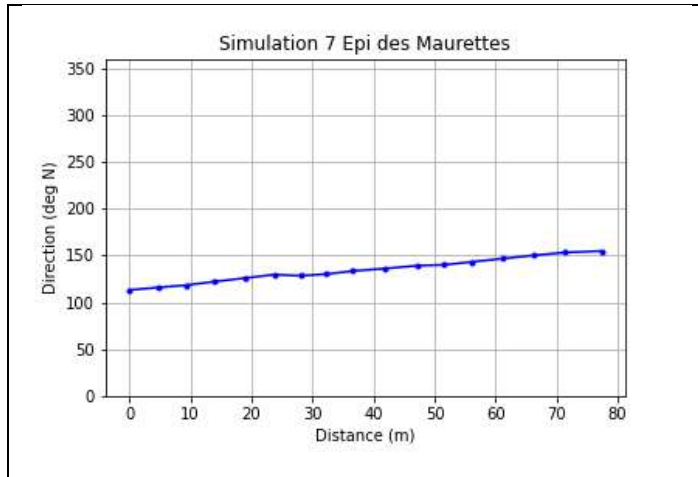




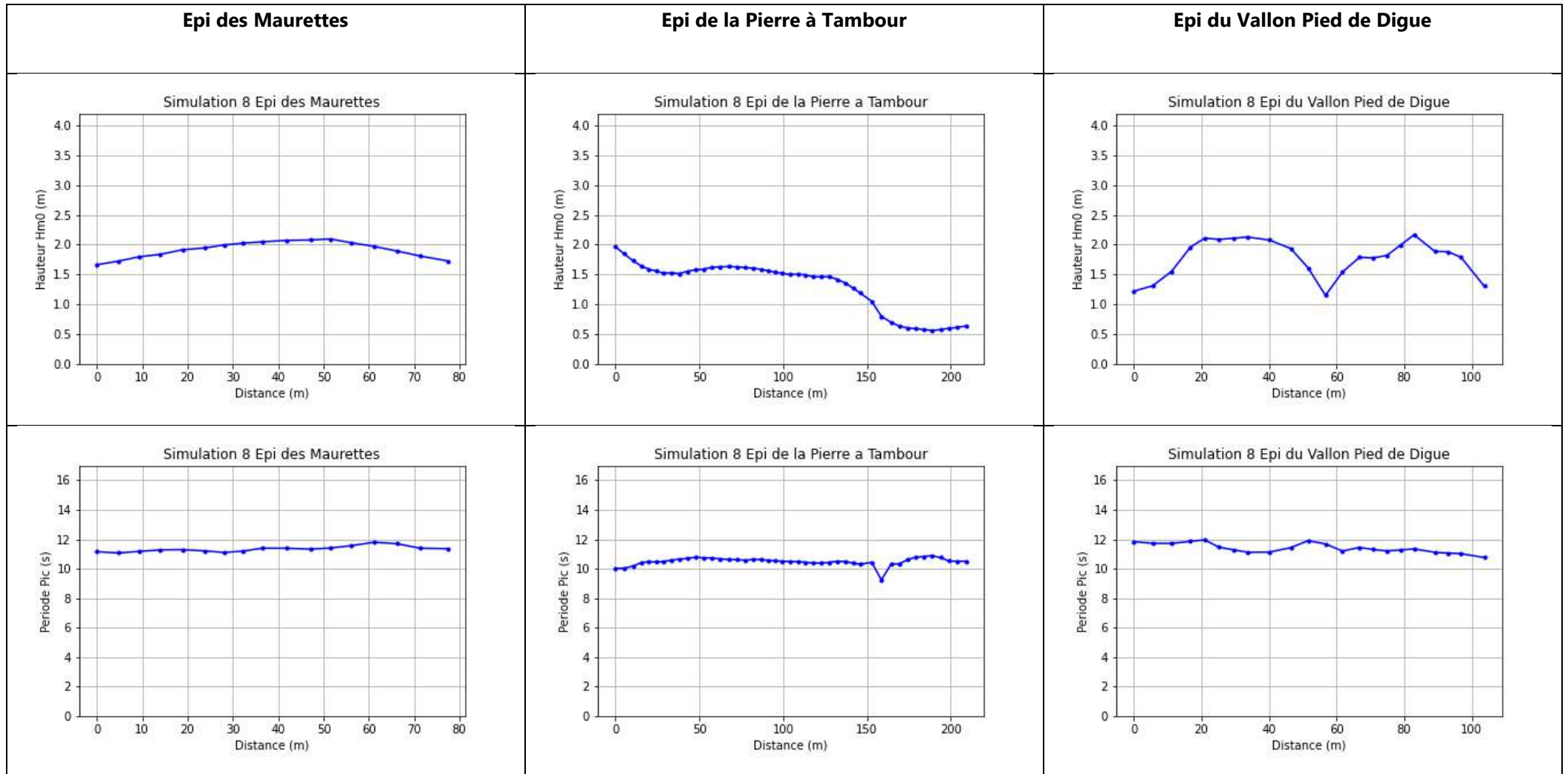
**Simulation 7 :**

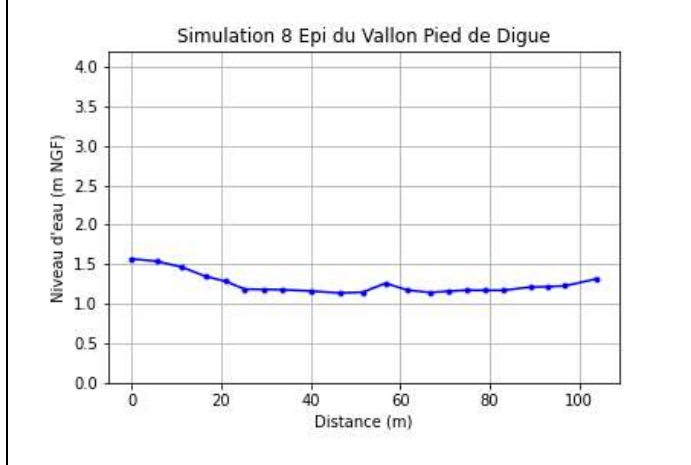
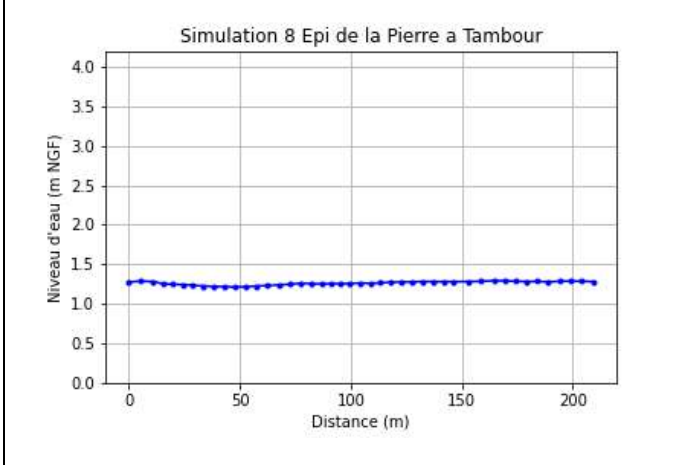
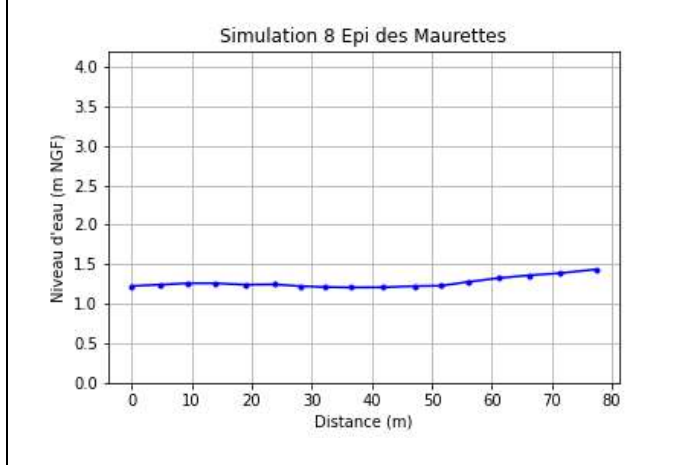
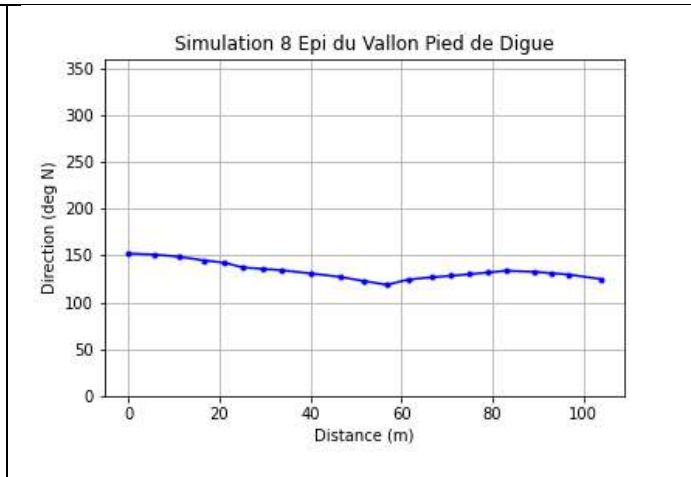
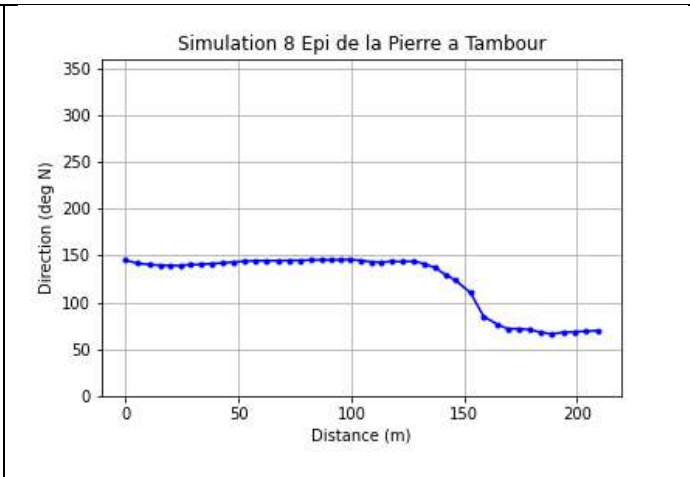
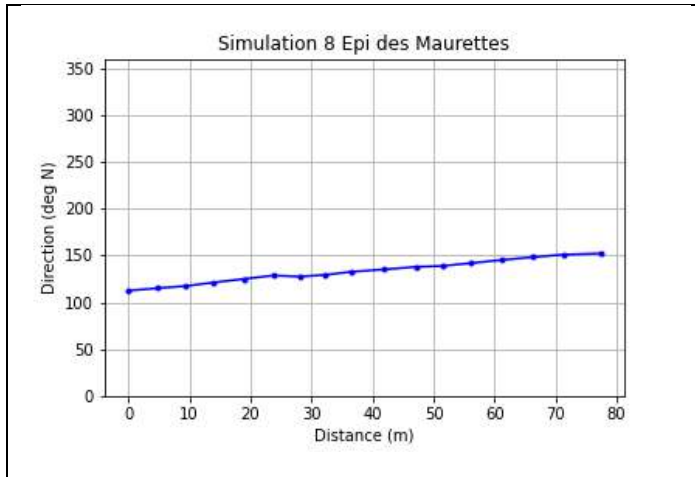




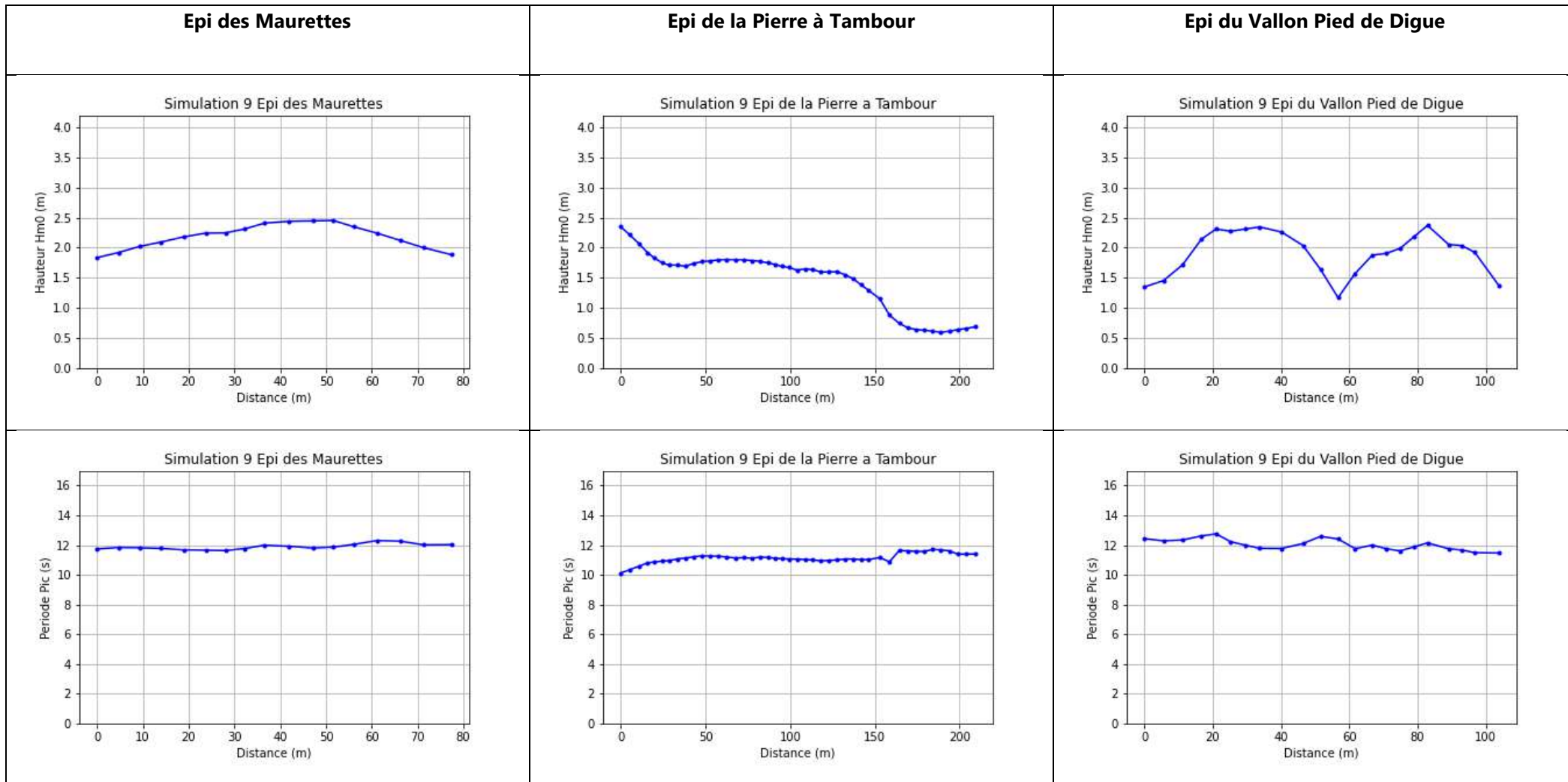


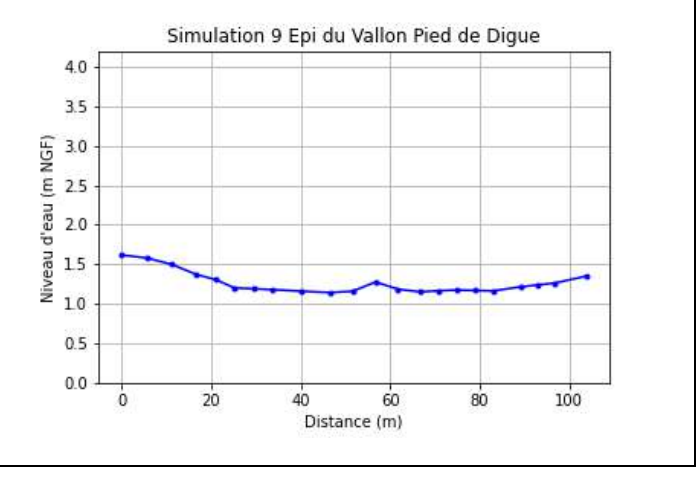
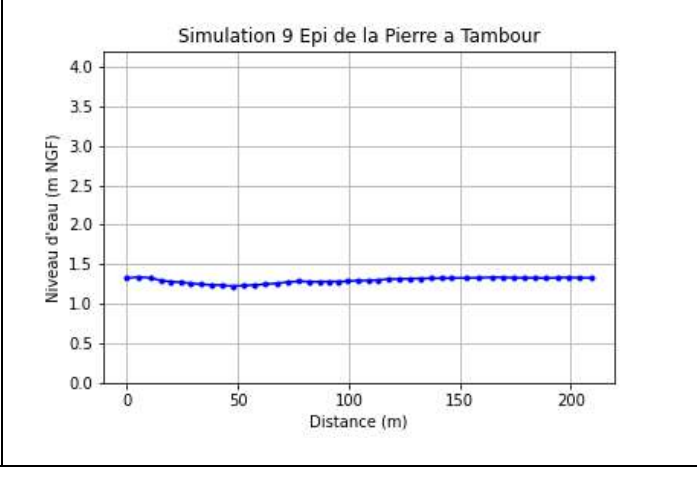
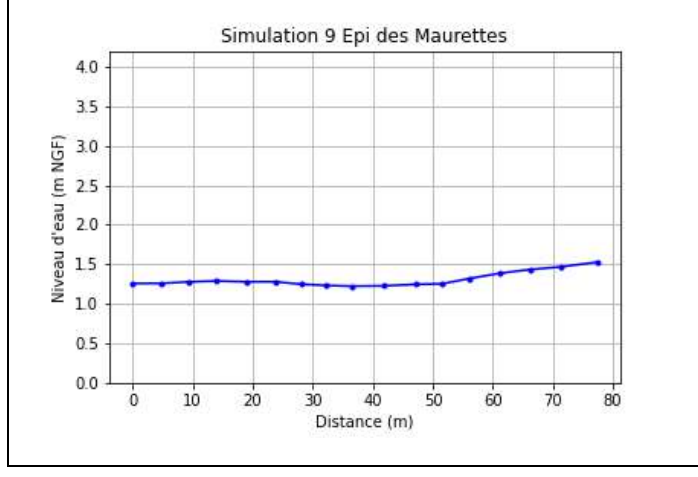
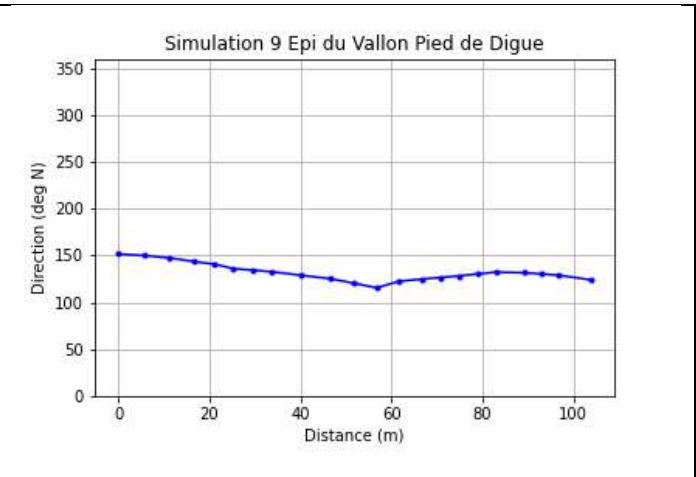
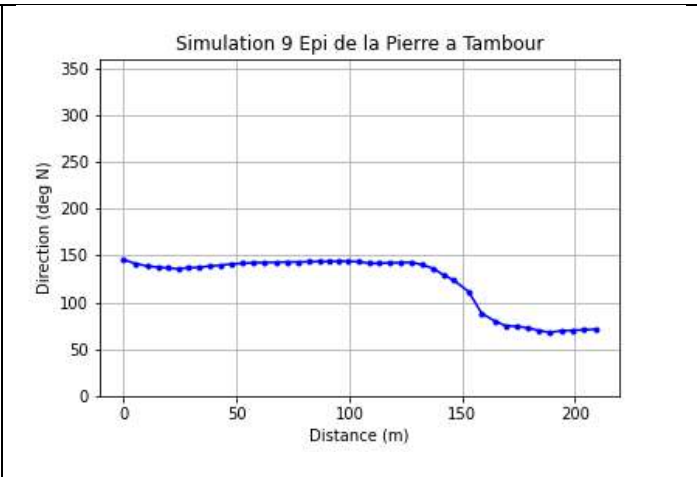
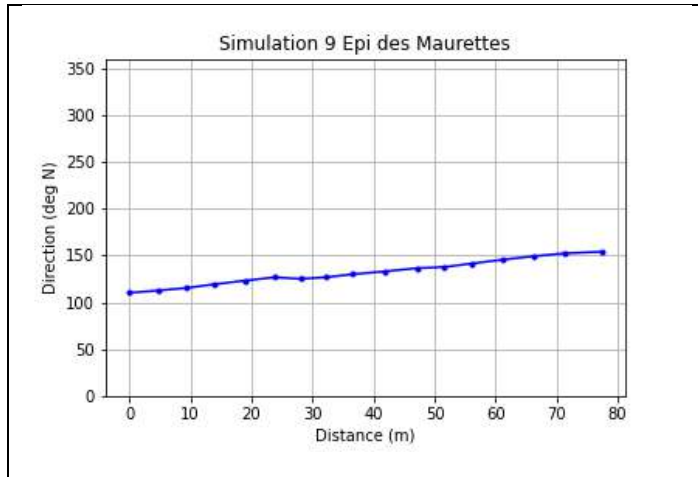
**Simulation 8 :**



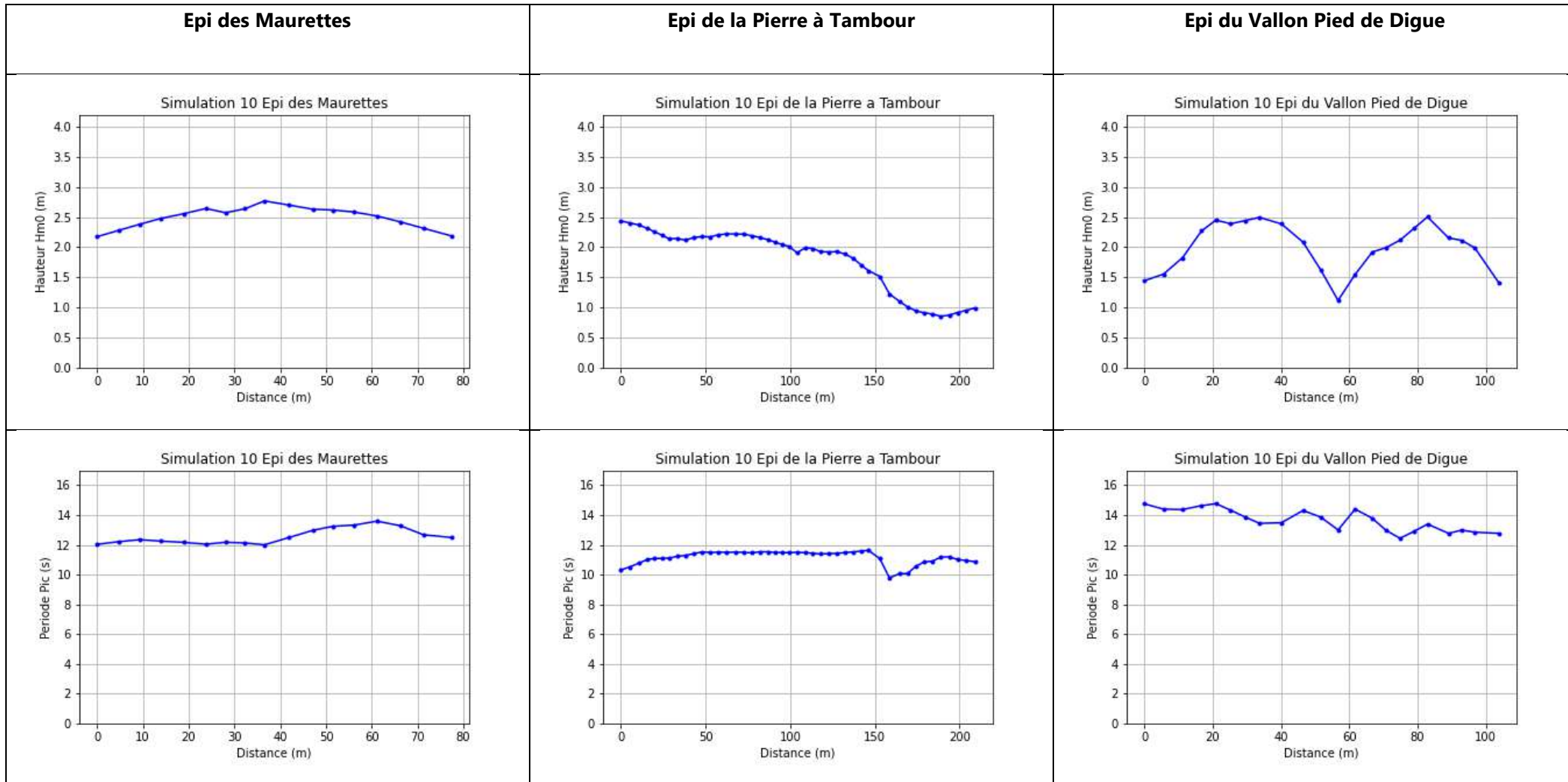


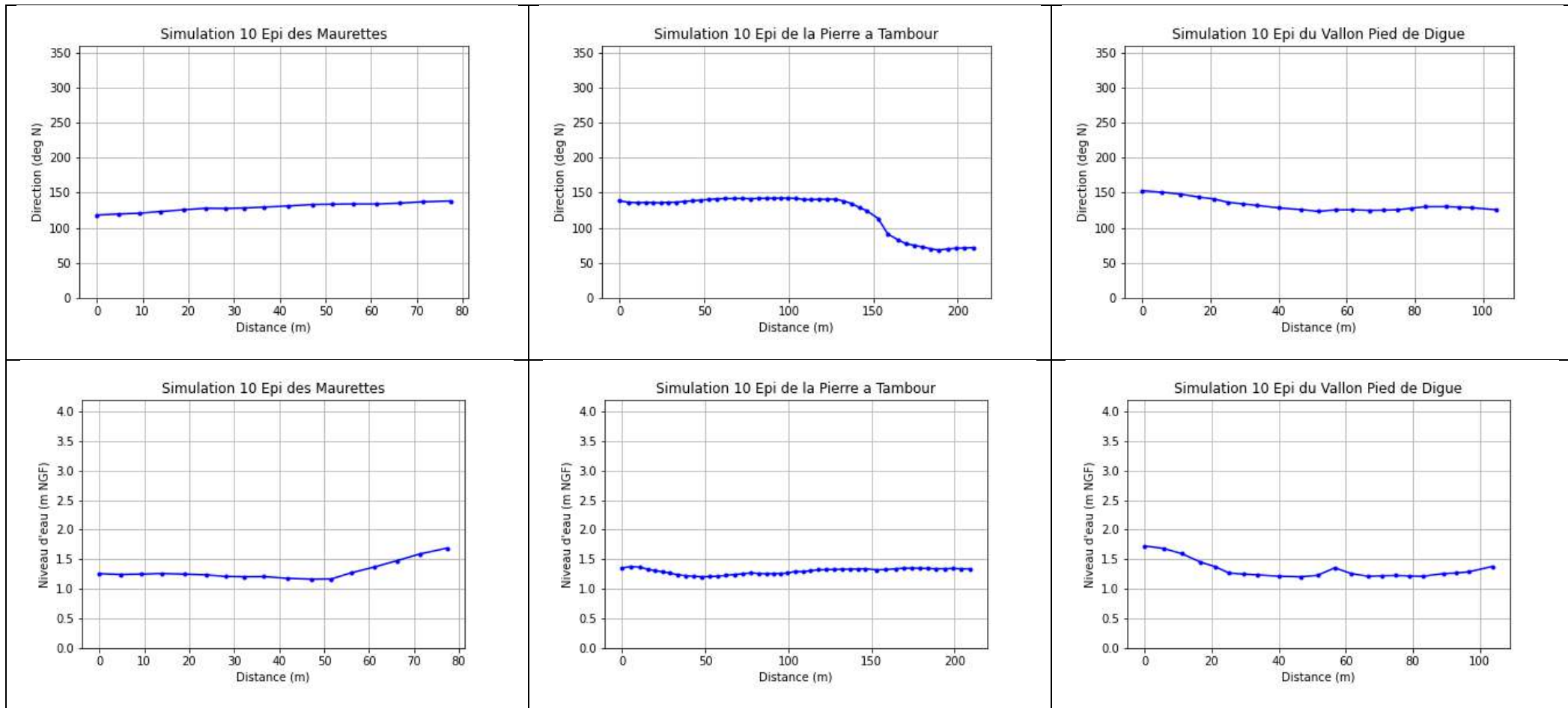
**Simulation 9 :**



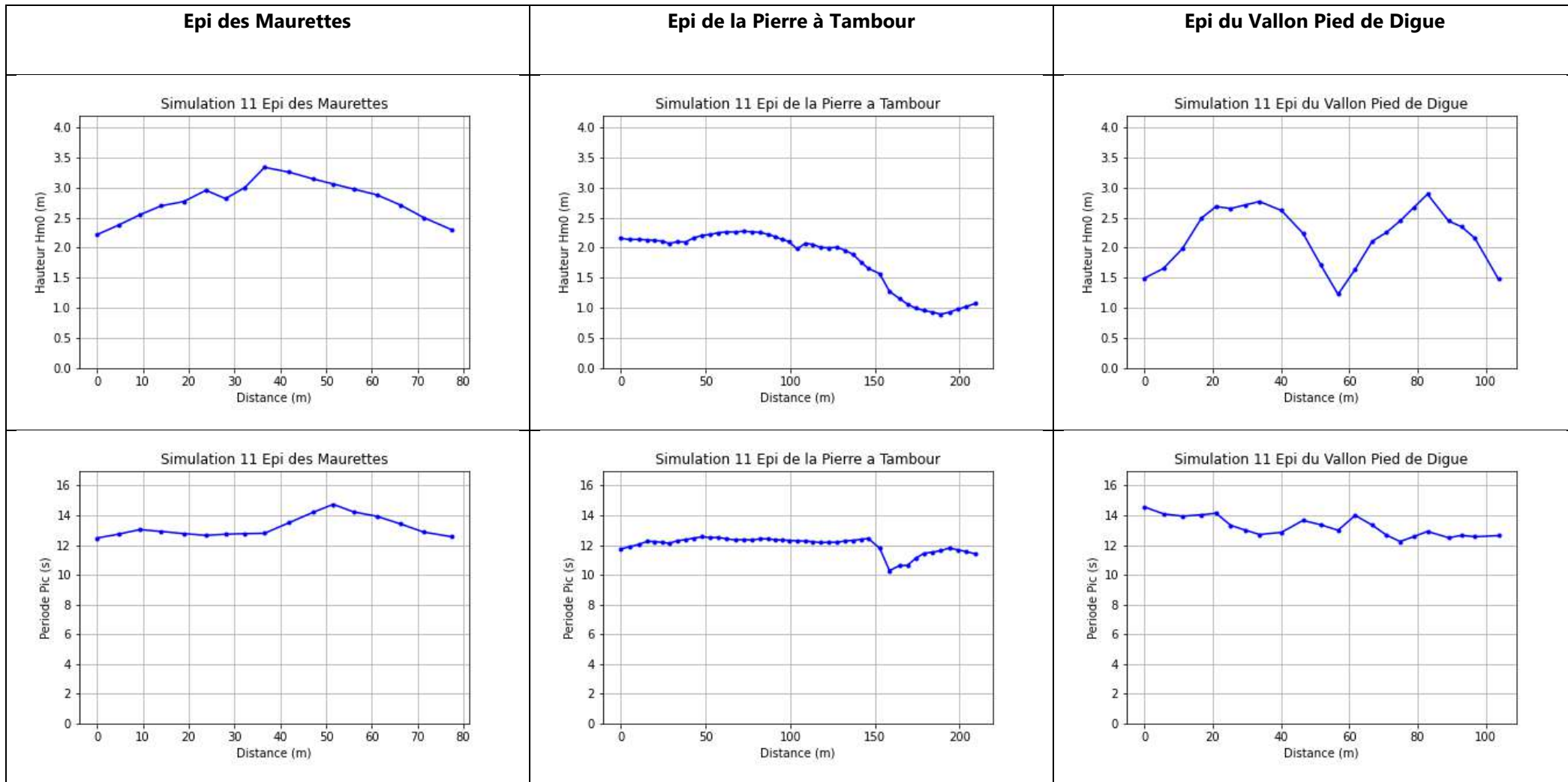


**Simulation 10 :**

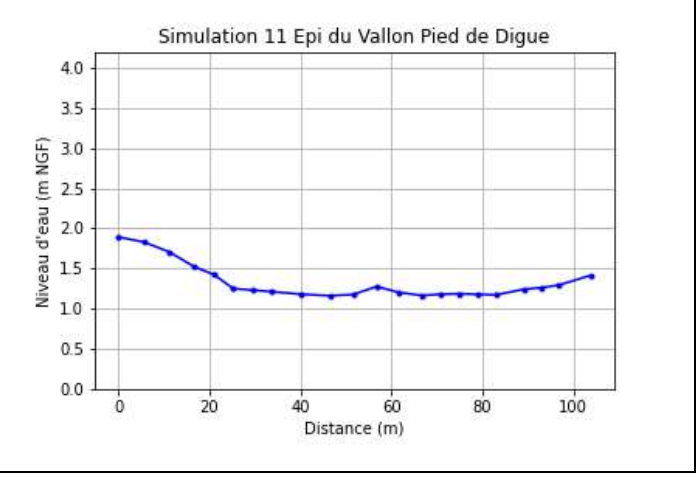
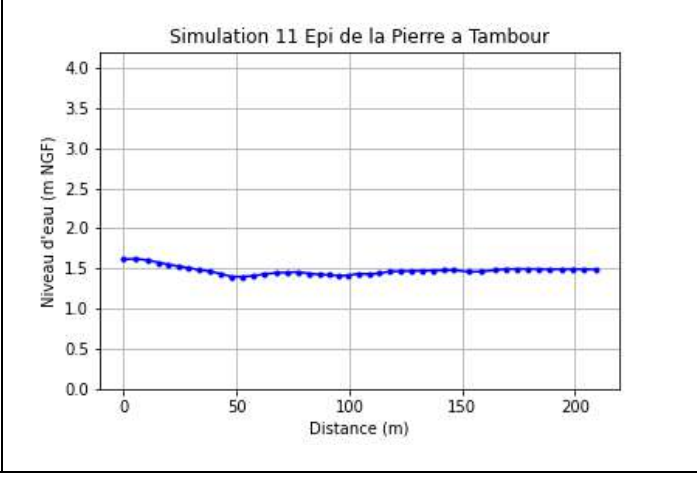
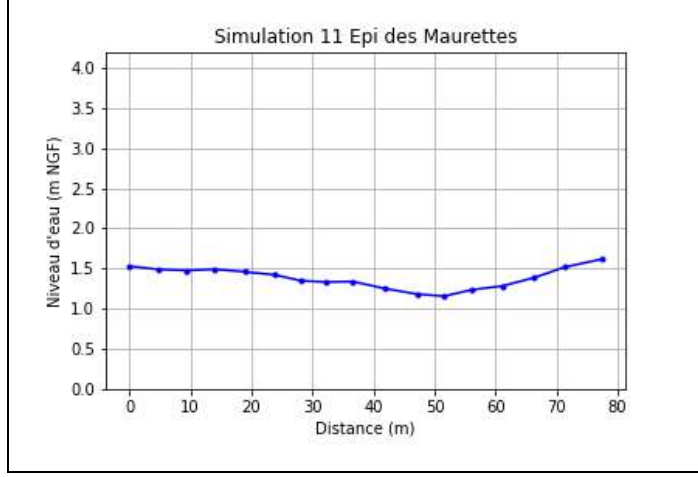
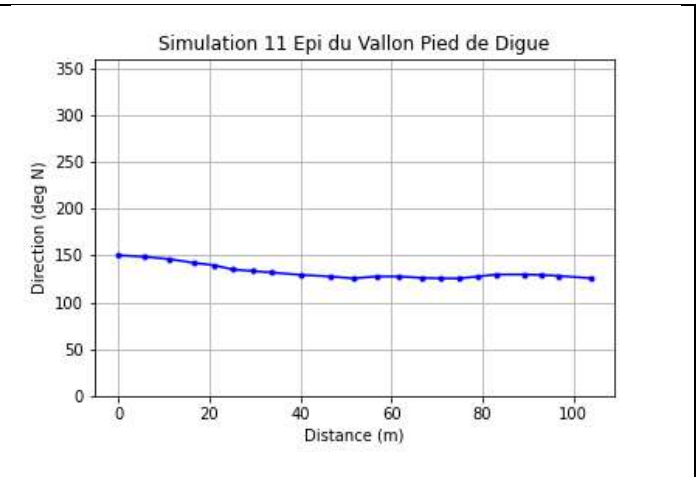
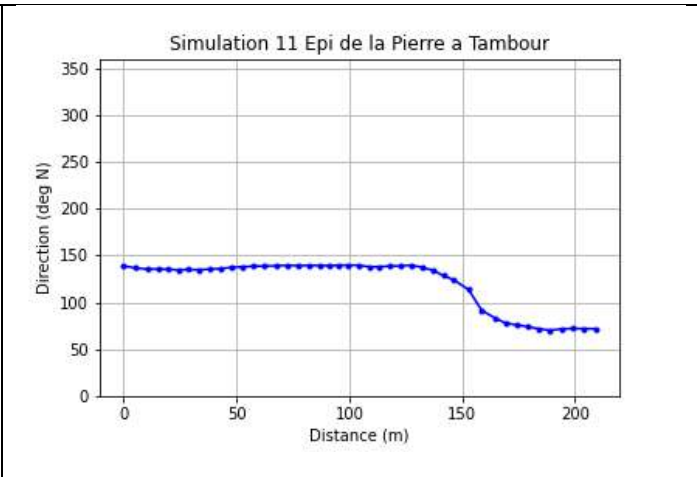
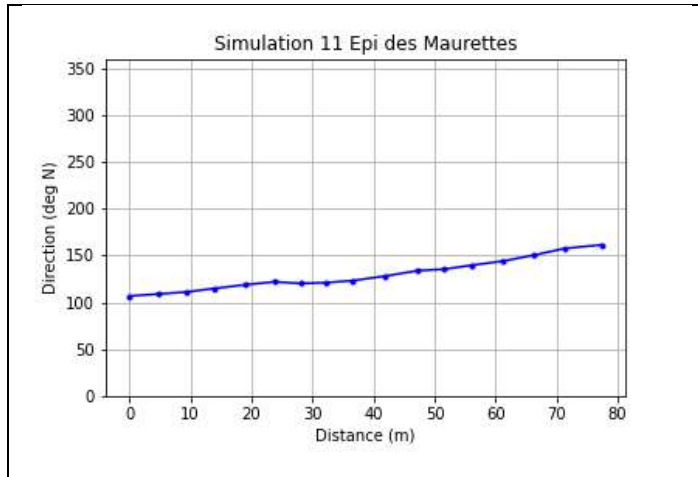




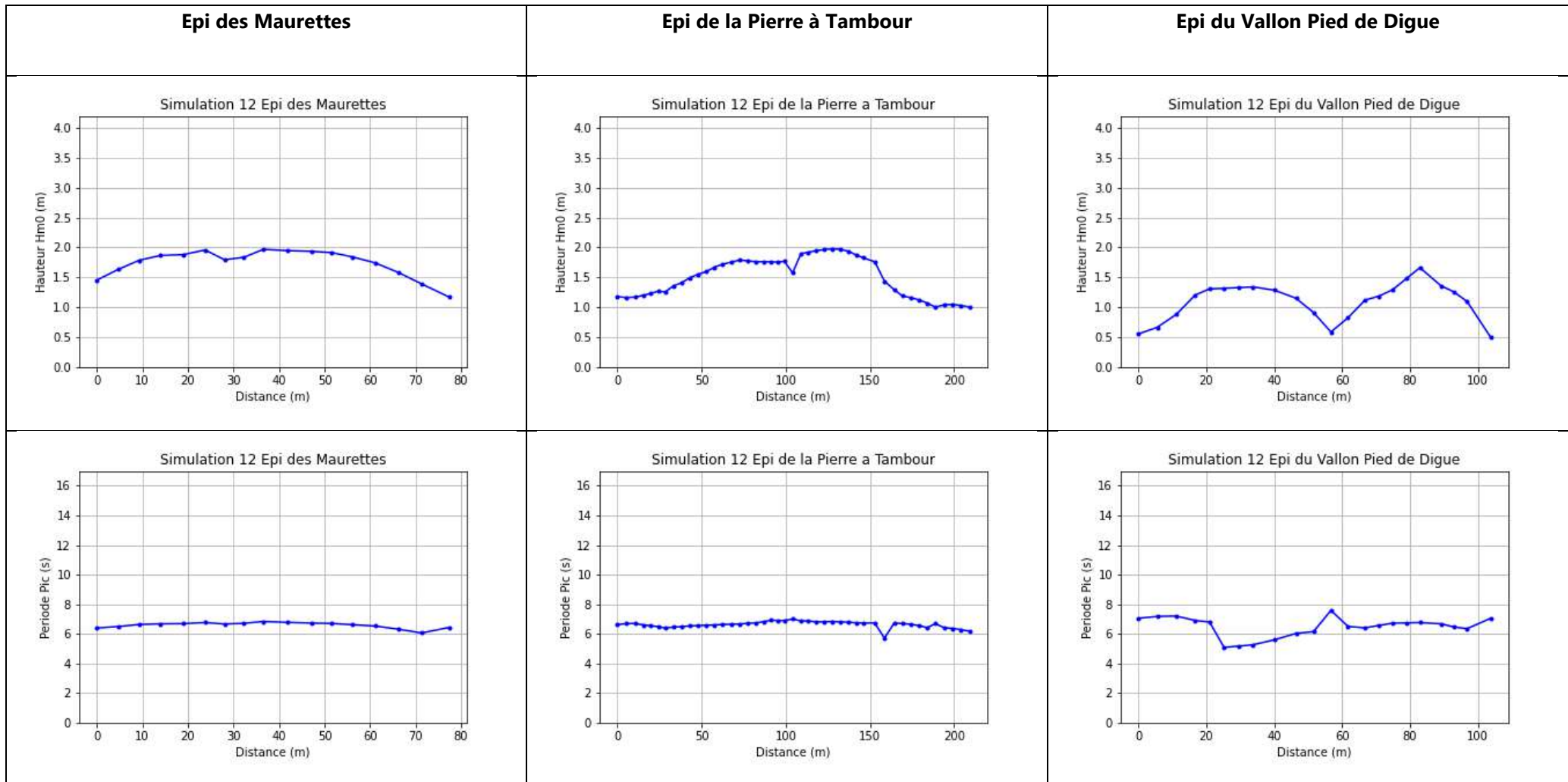
**Simulation 11 :**

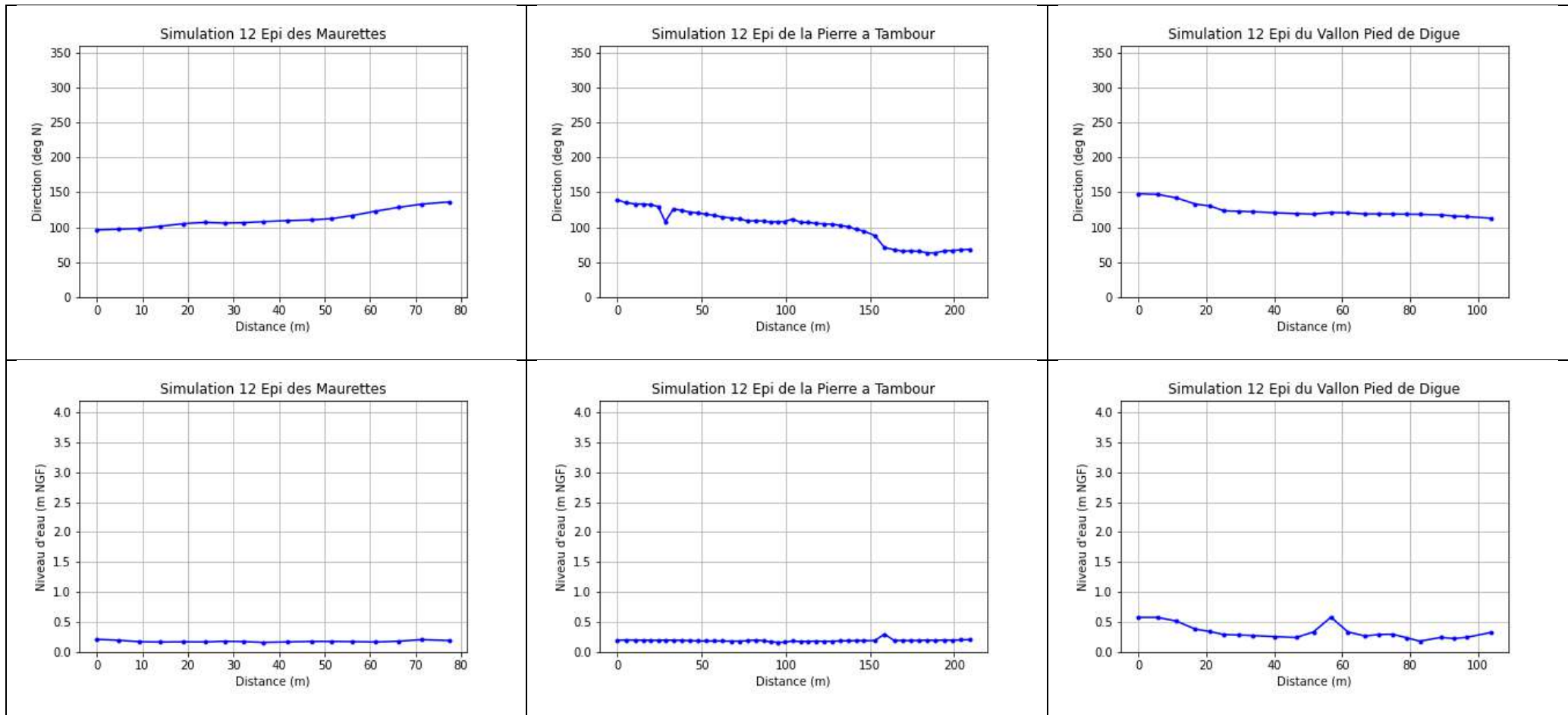




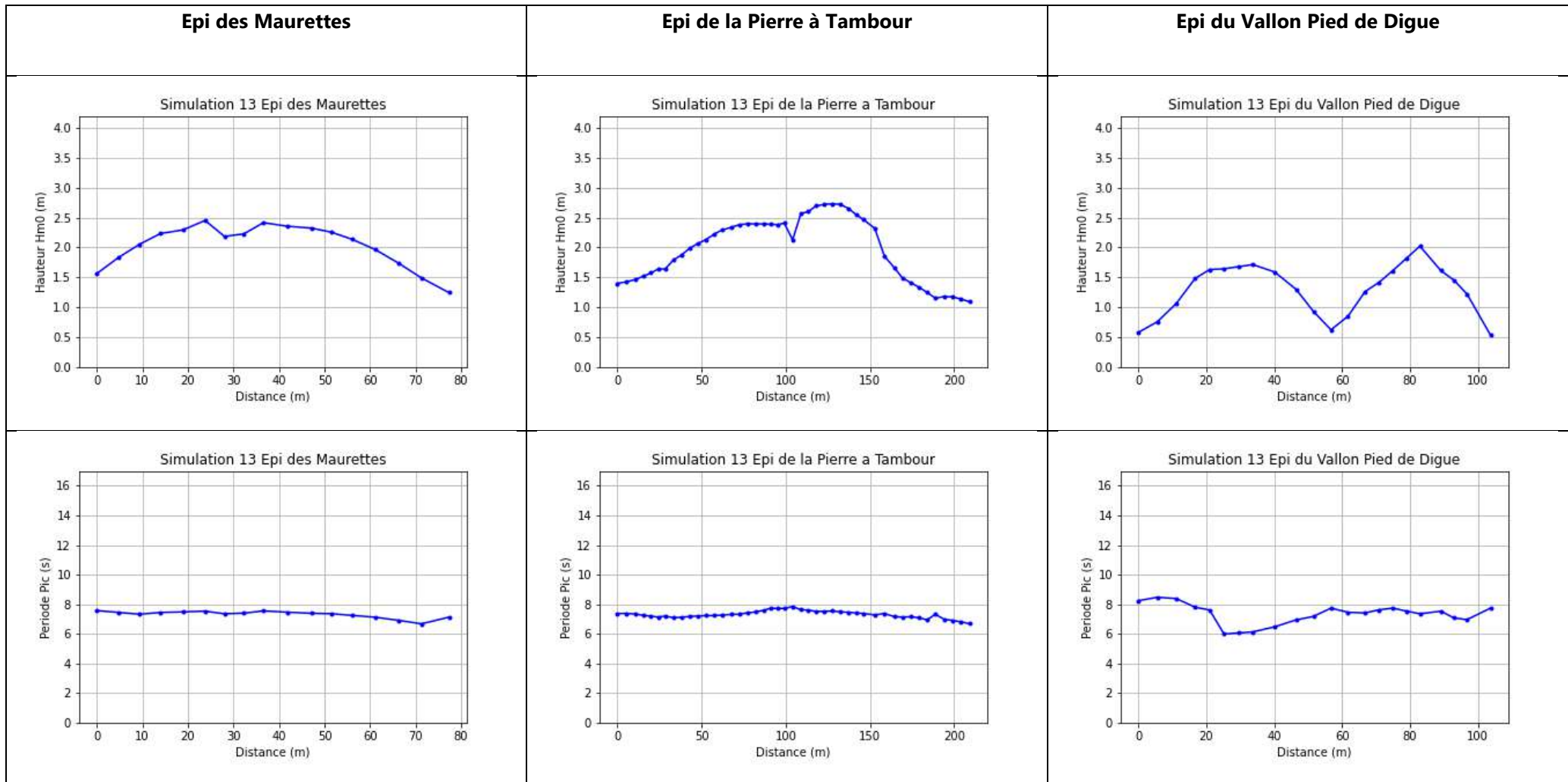


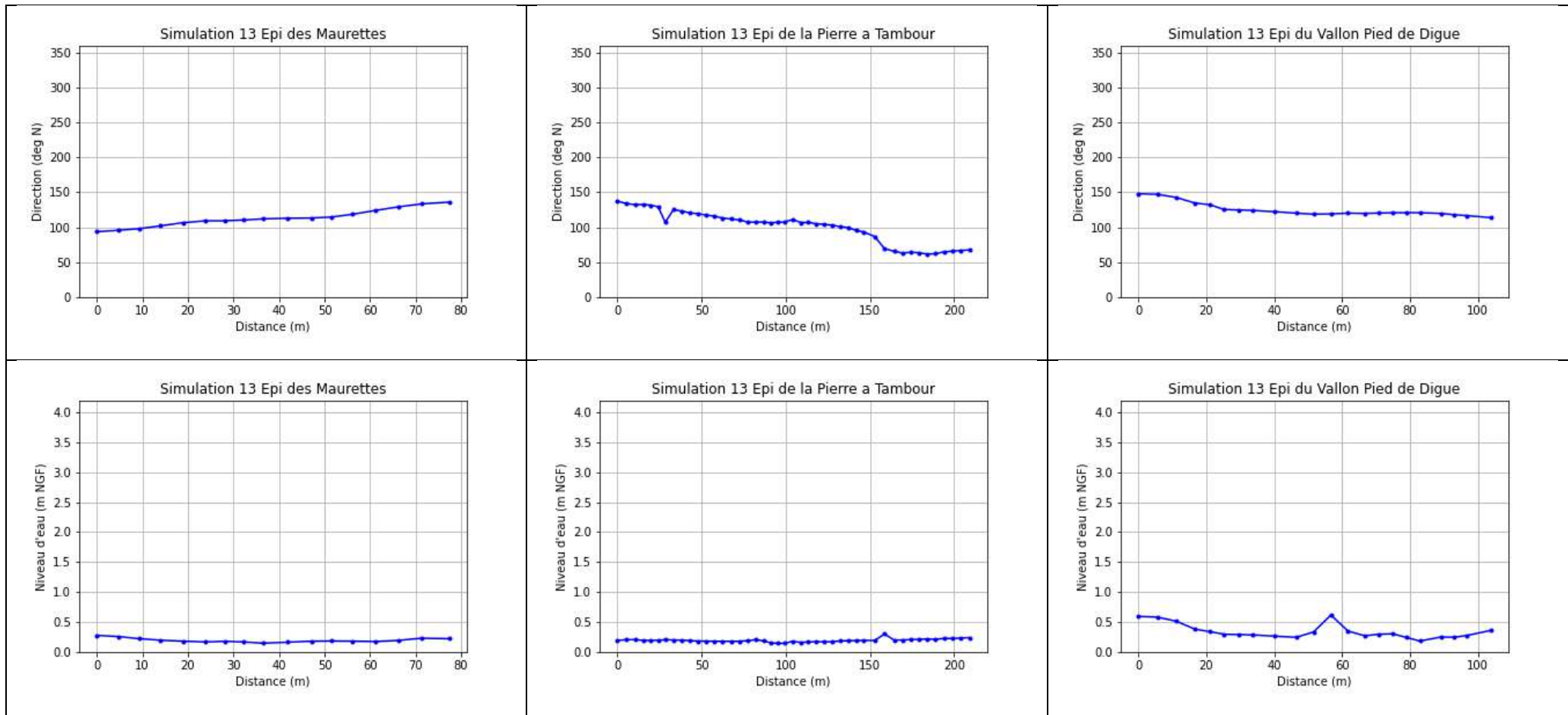
**Simulation 12 :**



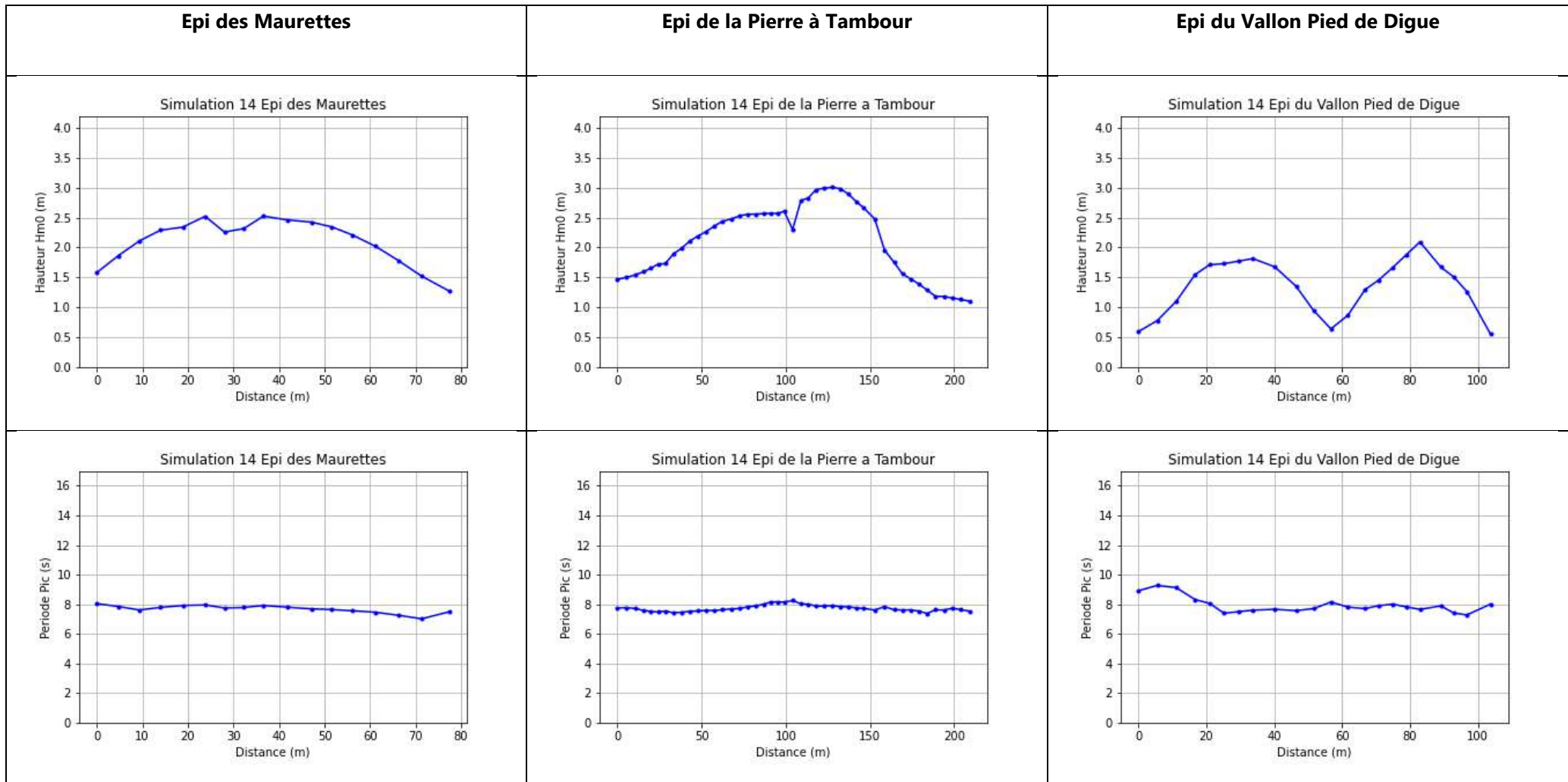


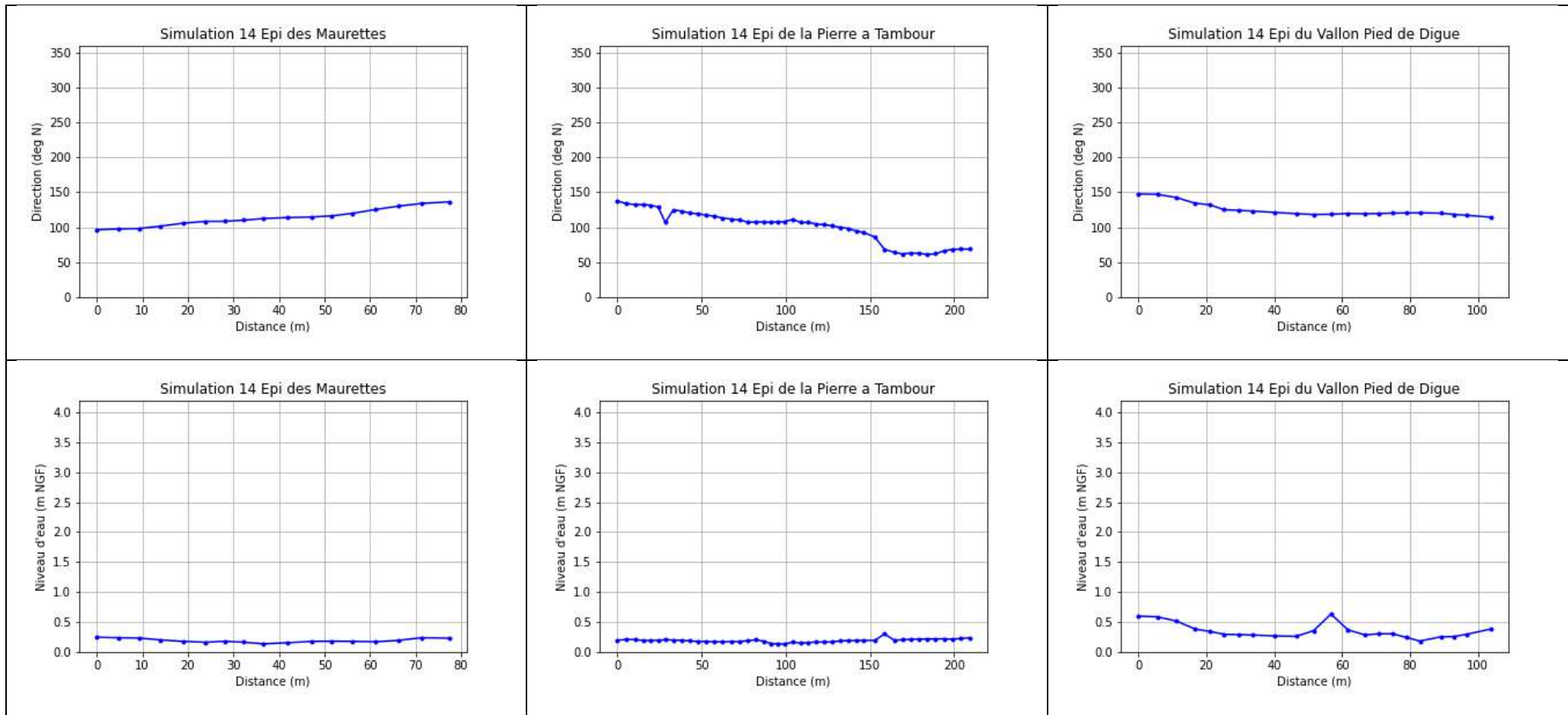
**Simulation 13 :**



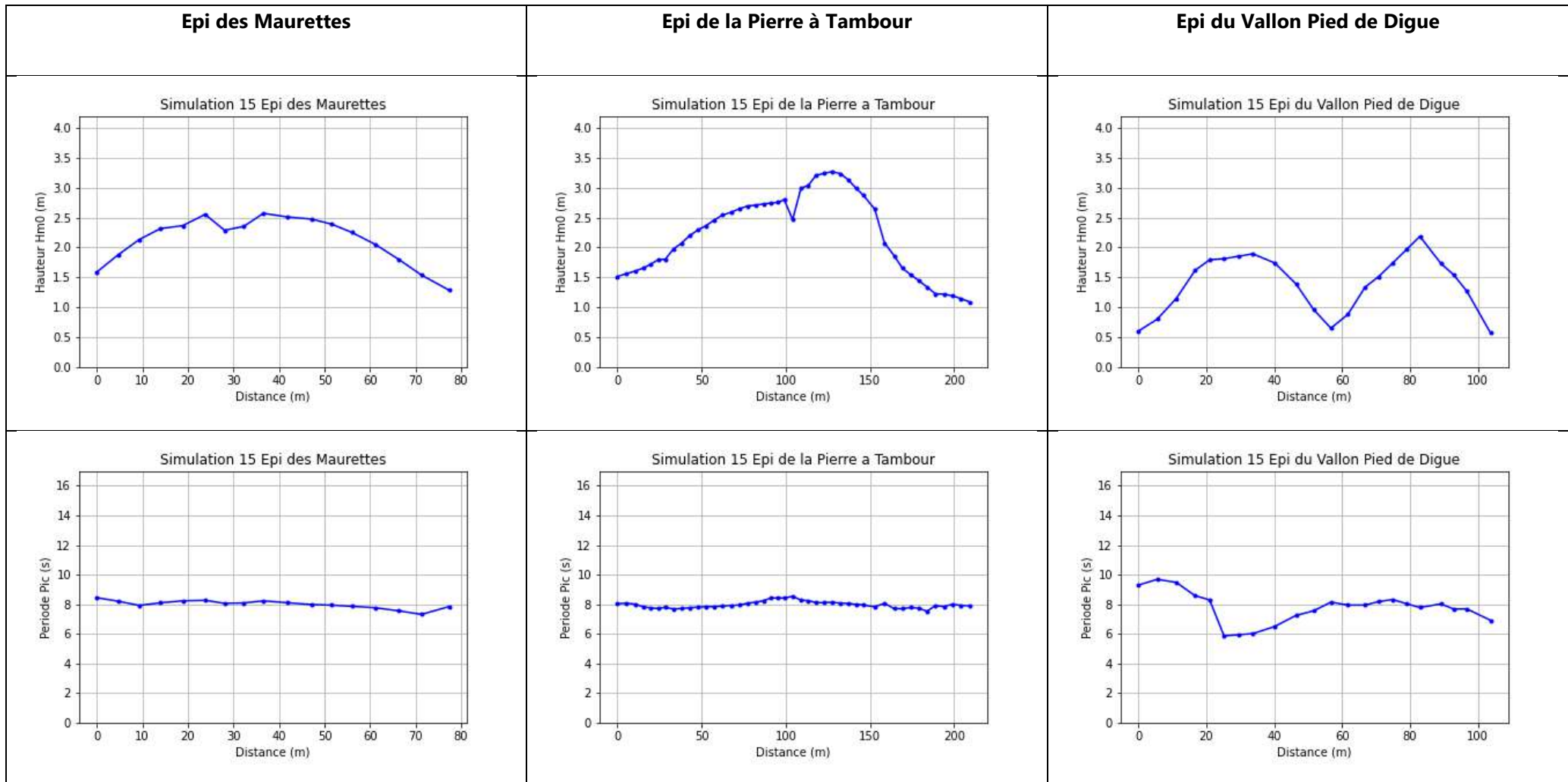


**Simulation 14 :**

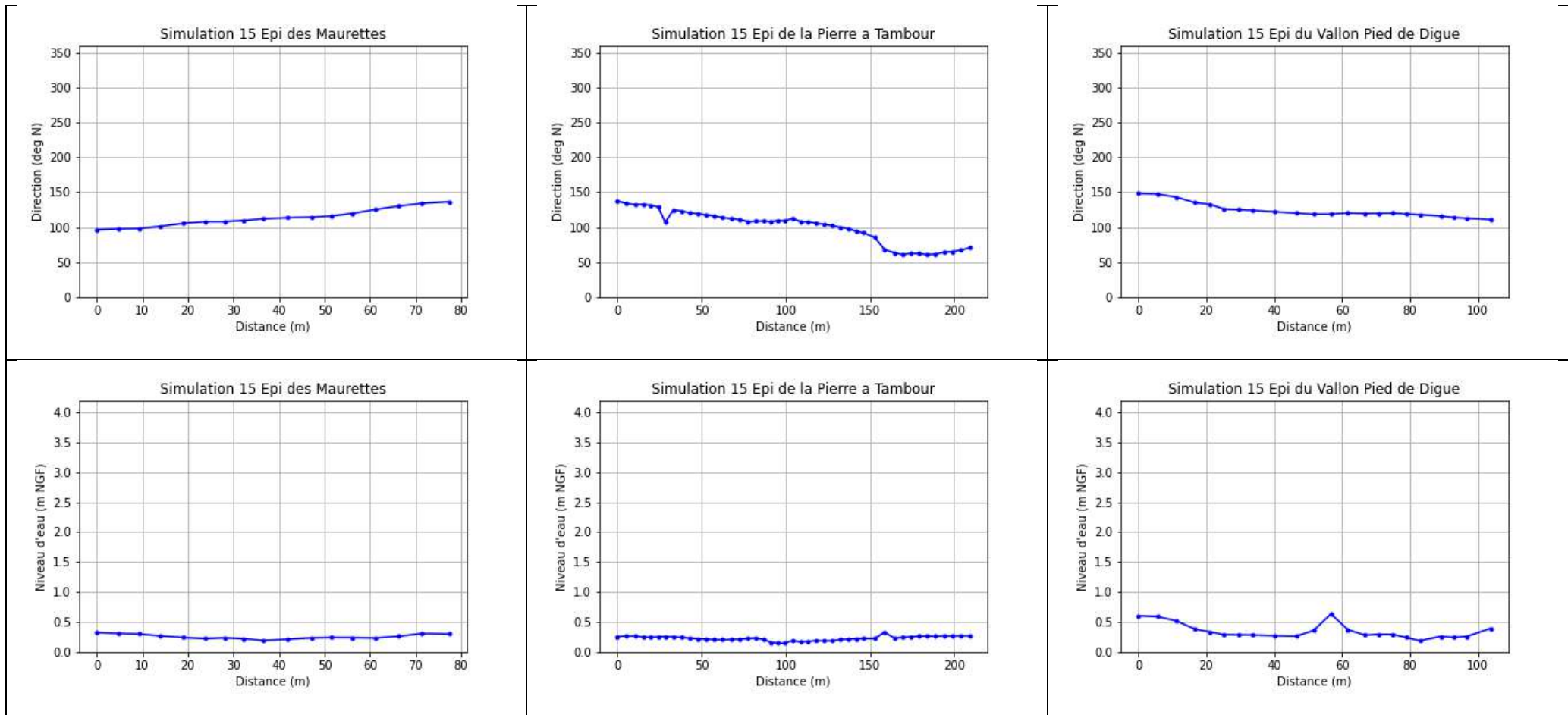




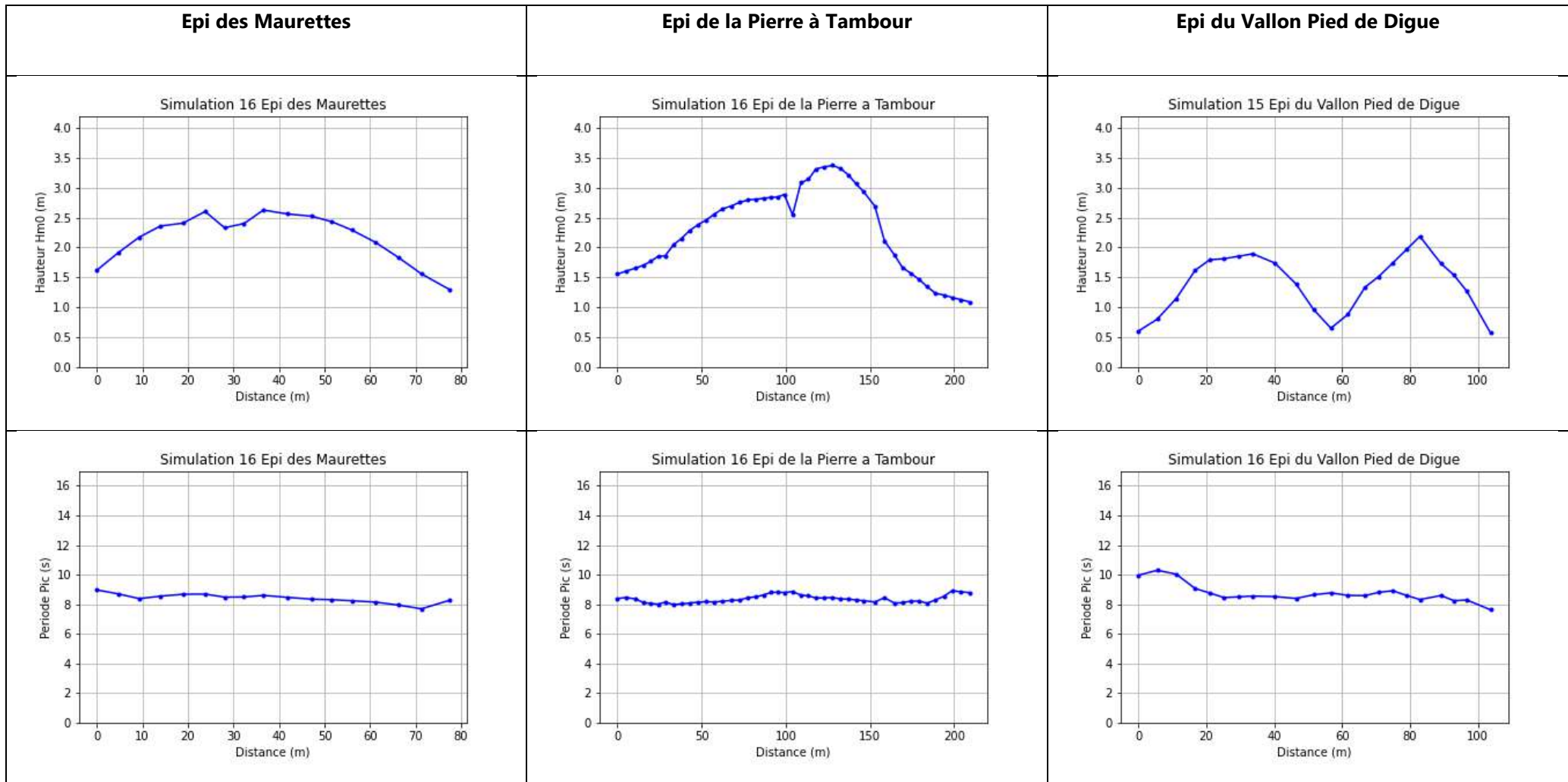
**Simulation 15 :**

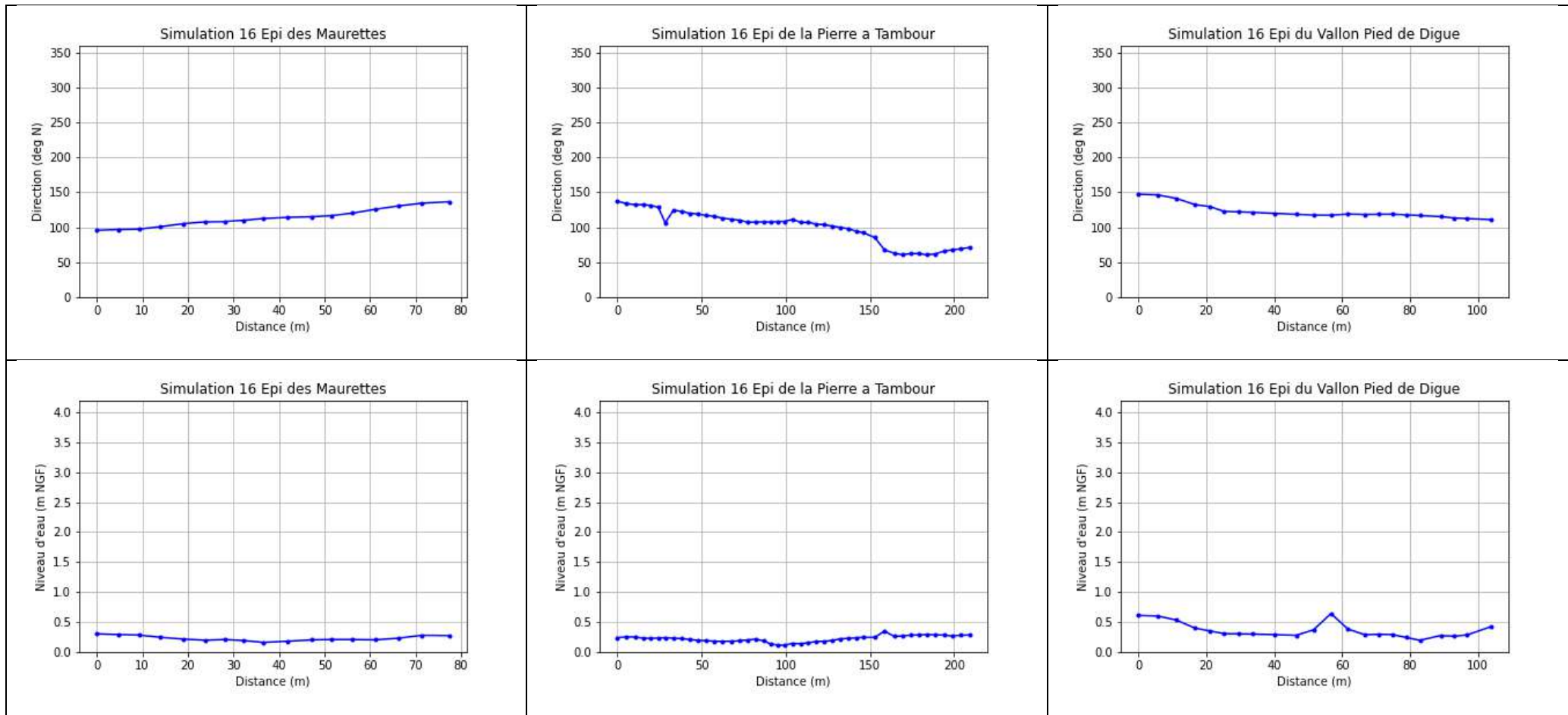




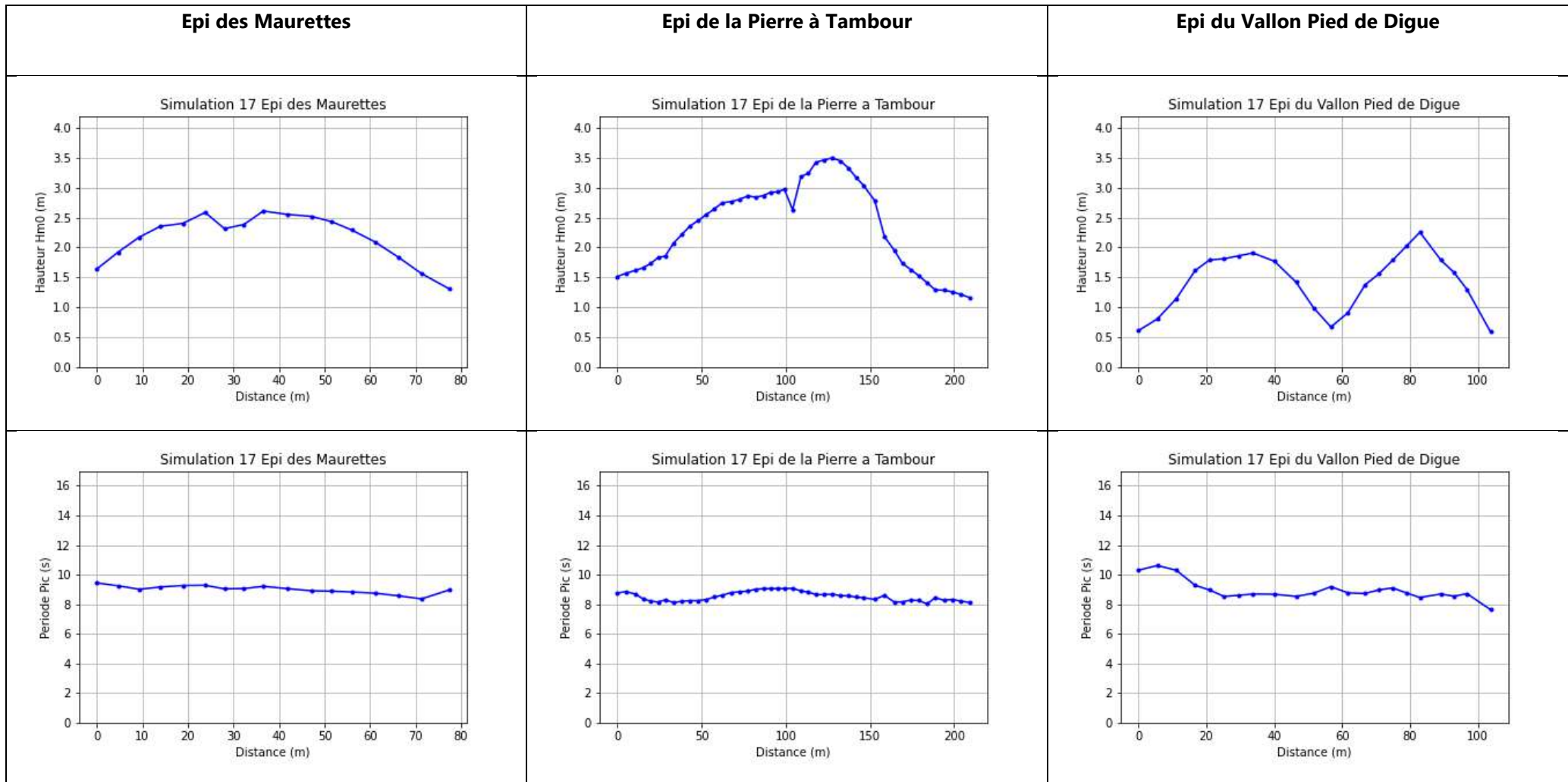


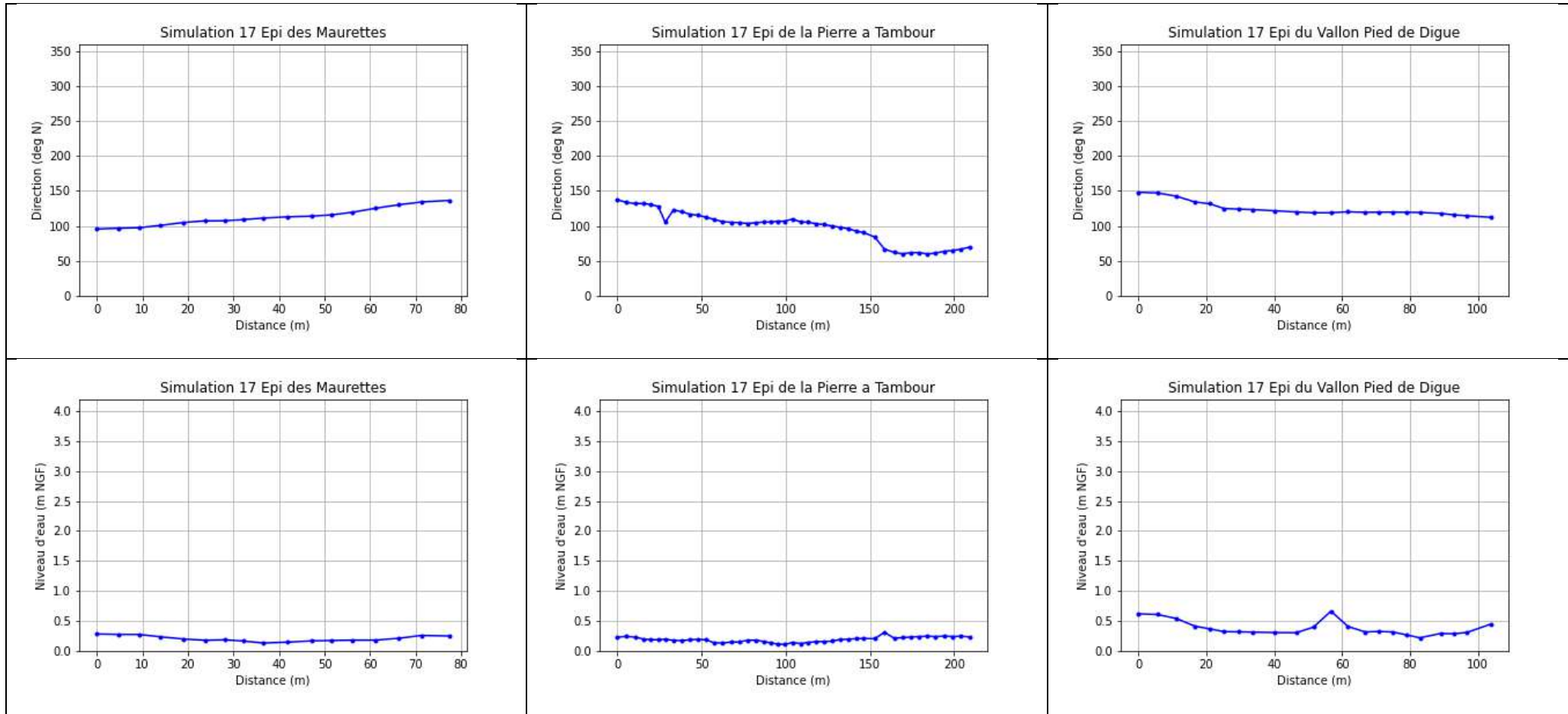
**Simulation 16 :**



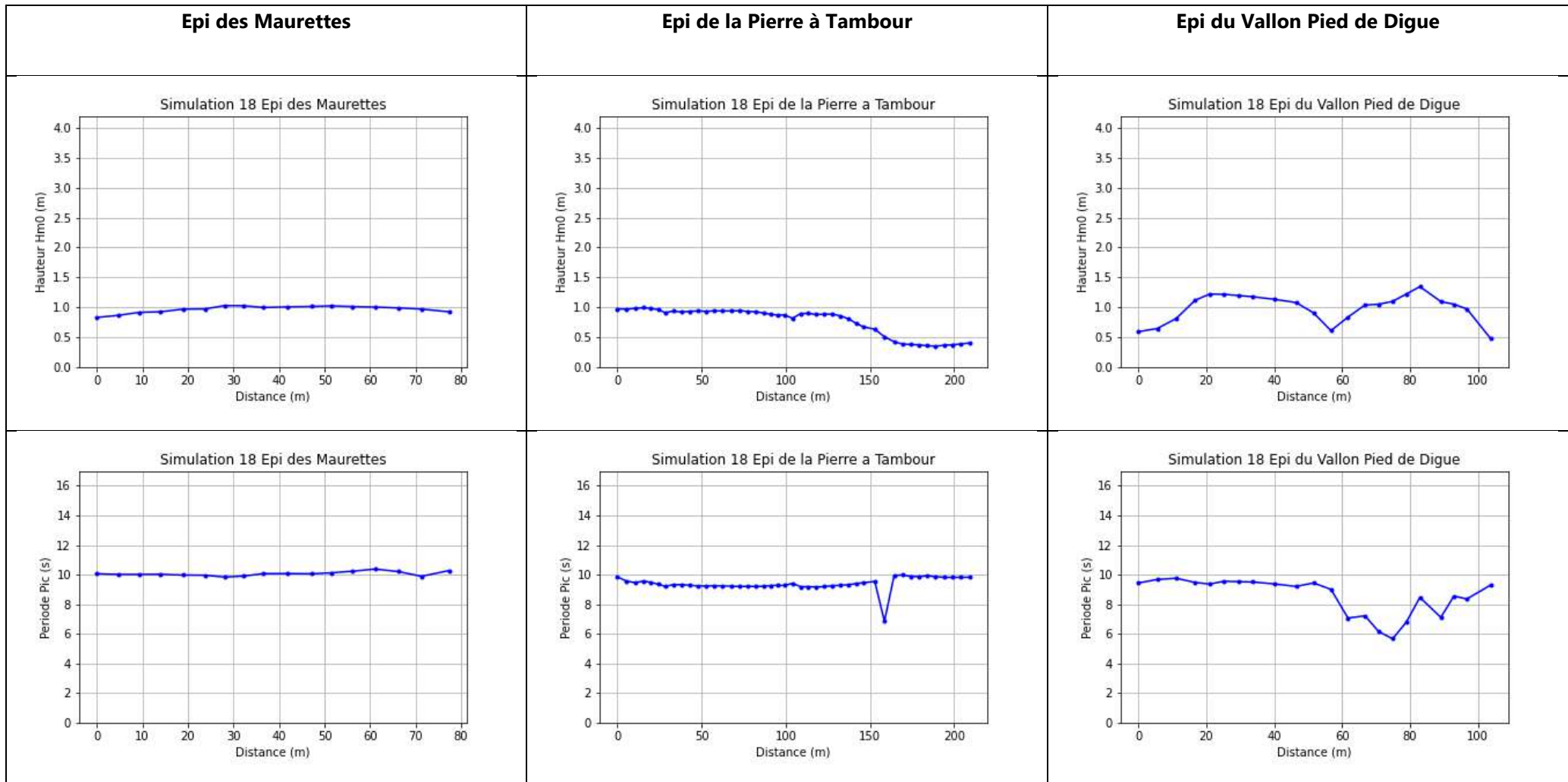


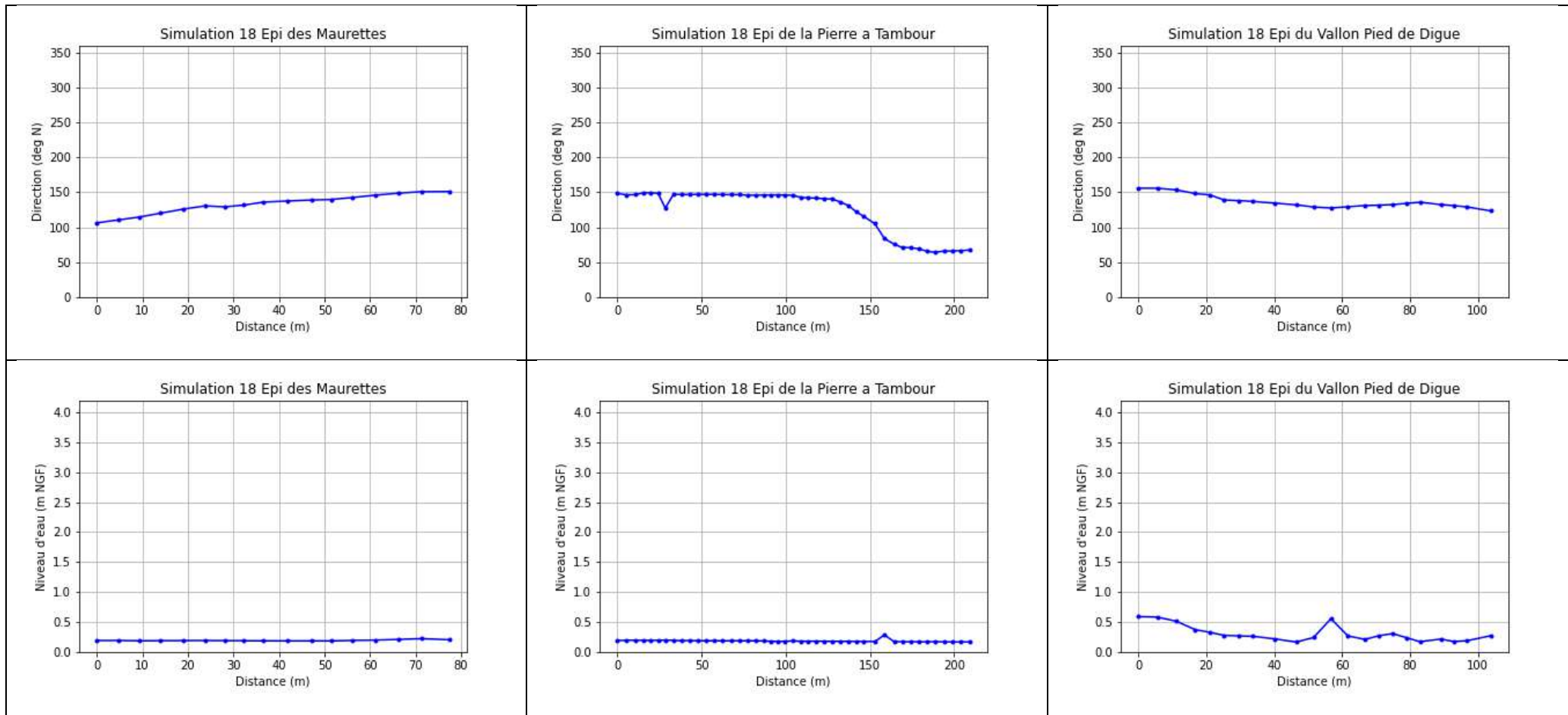
**Simulation 17 :**



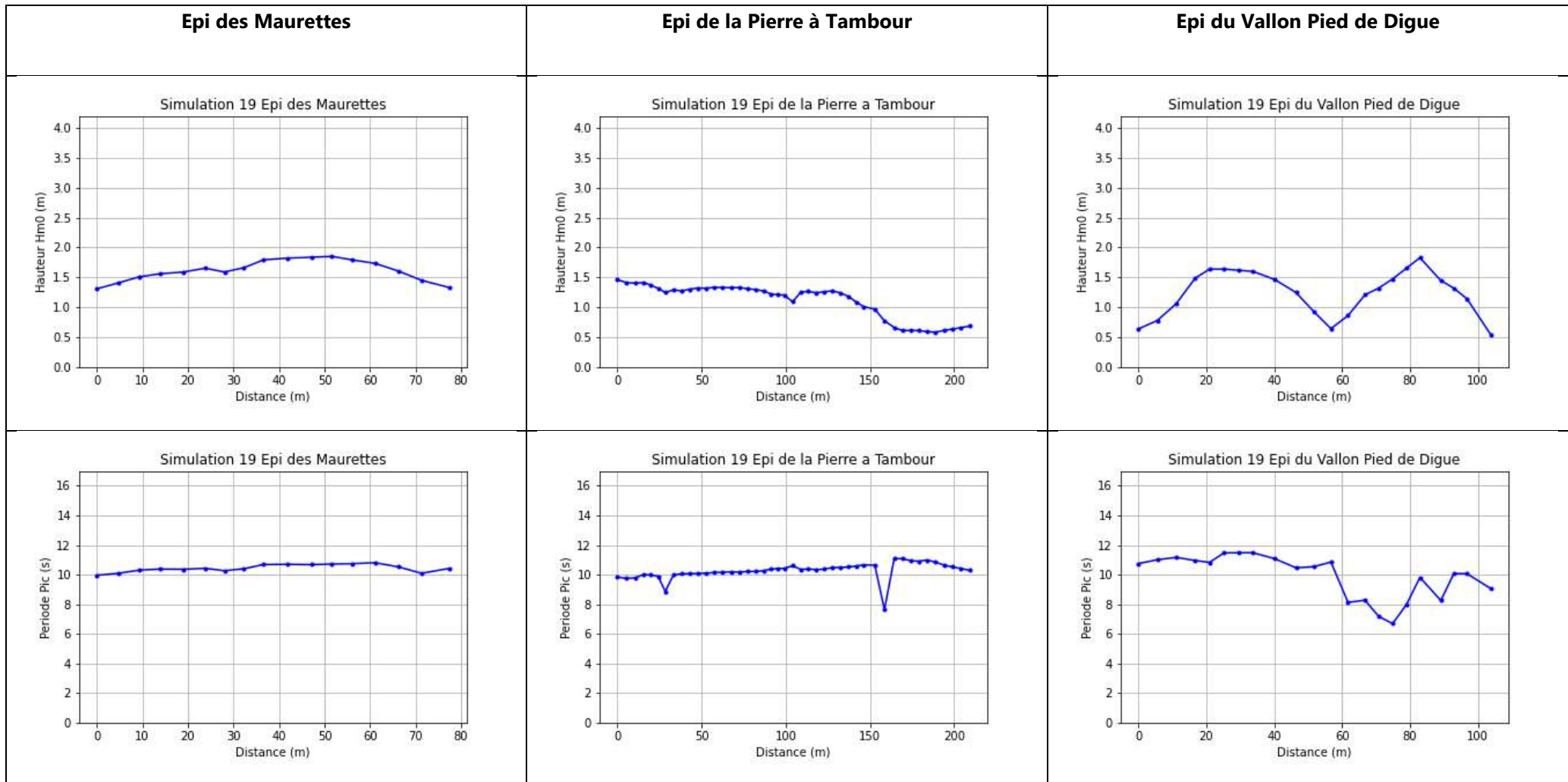


**Simulation 18 :**

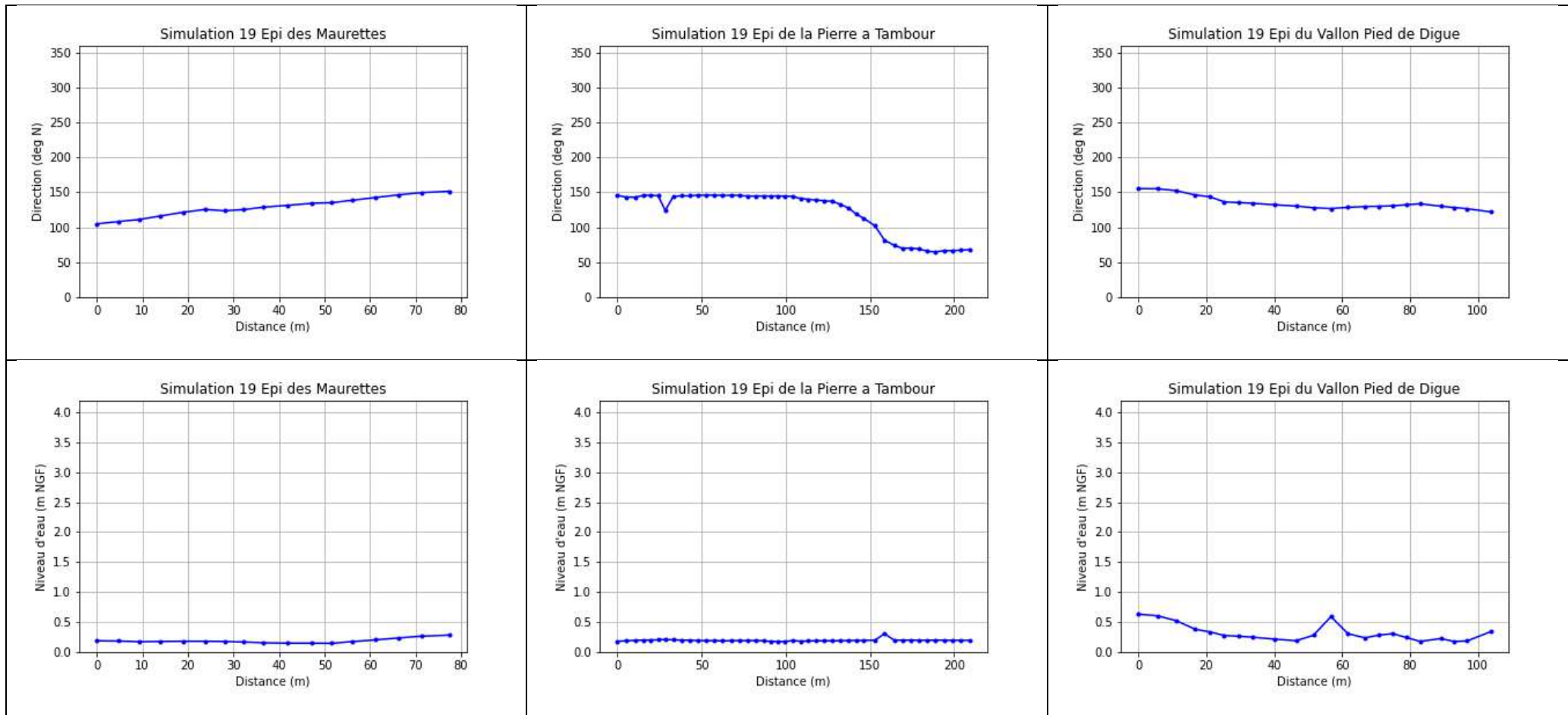




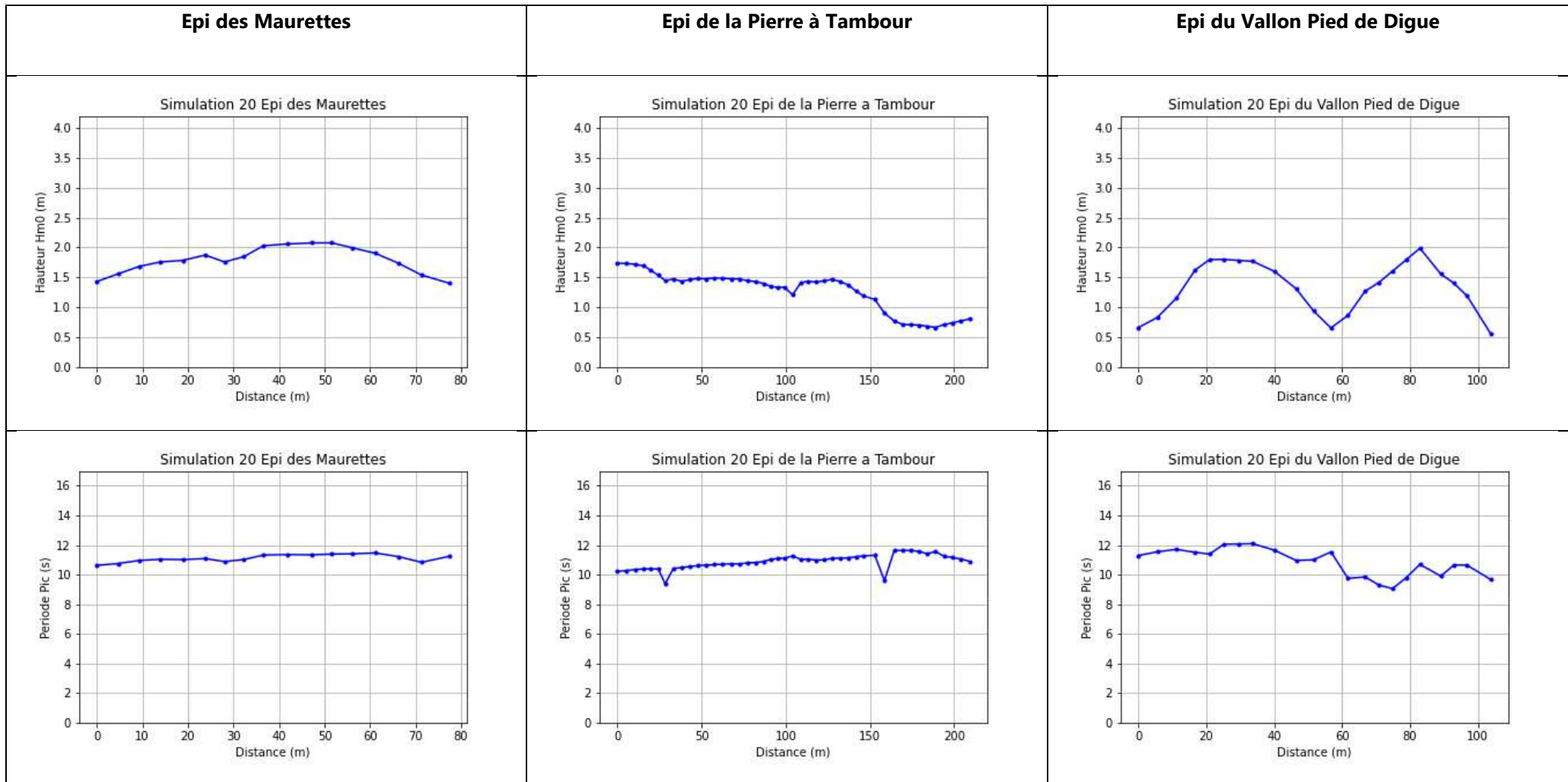
**Simulation 19 :**

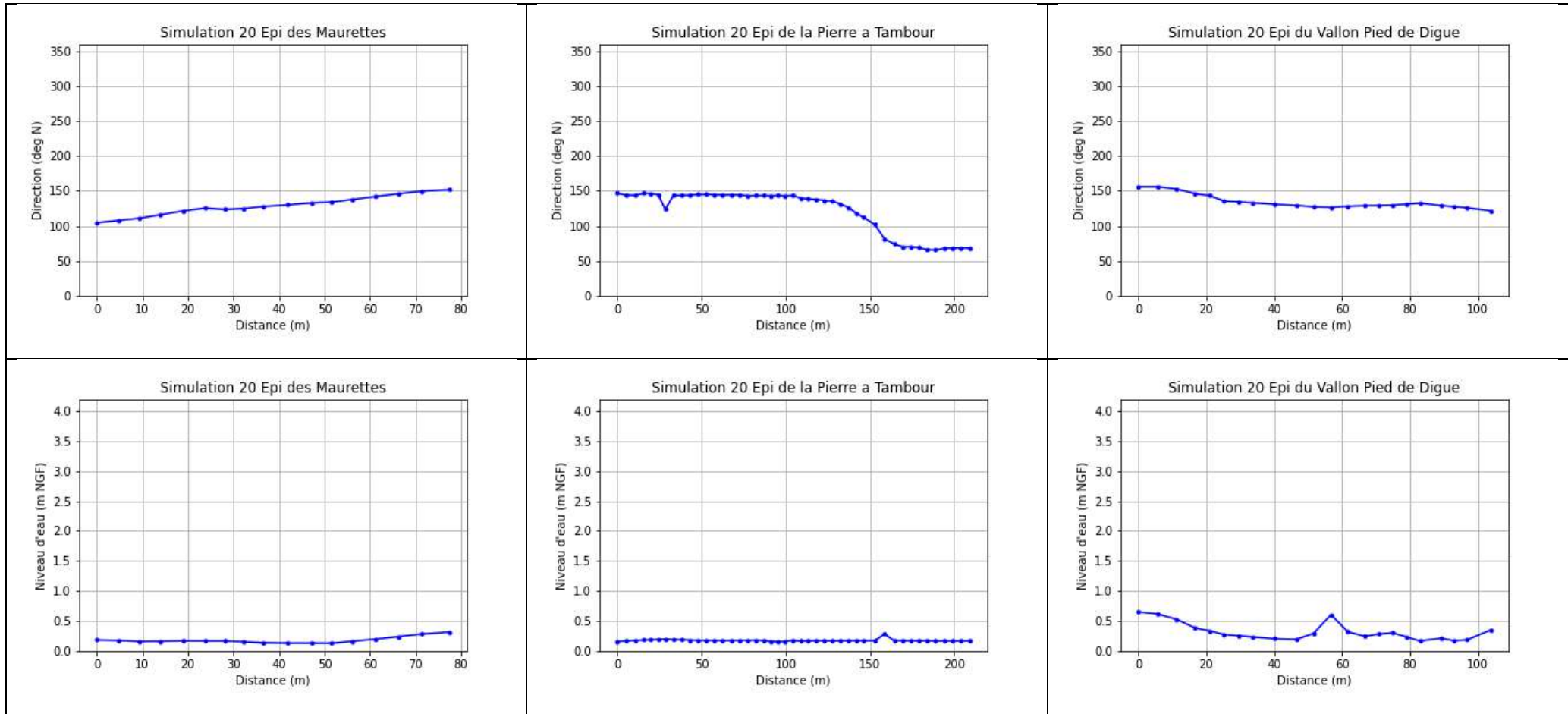




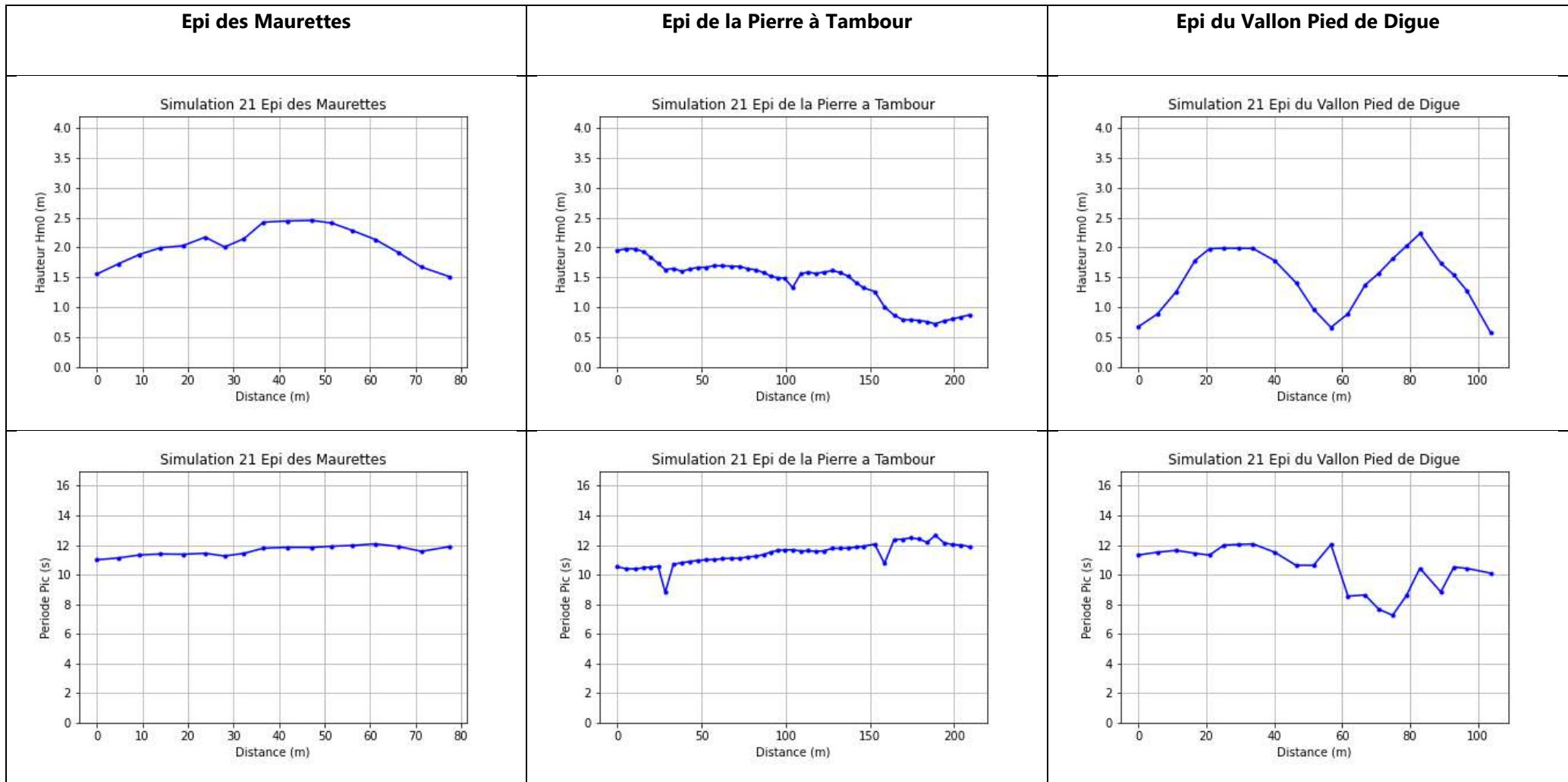


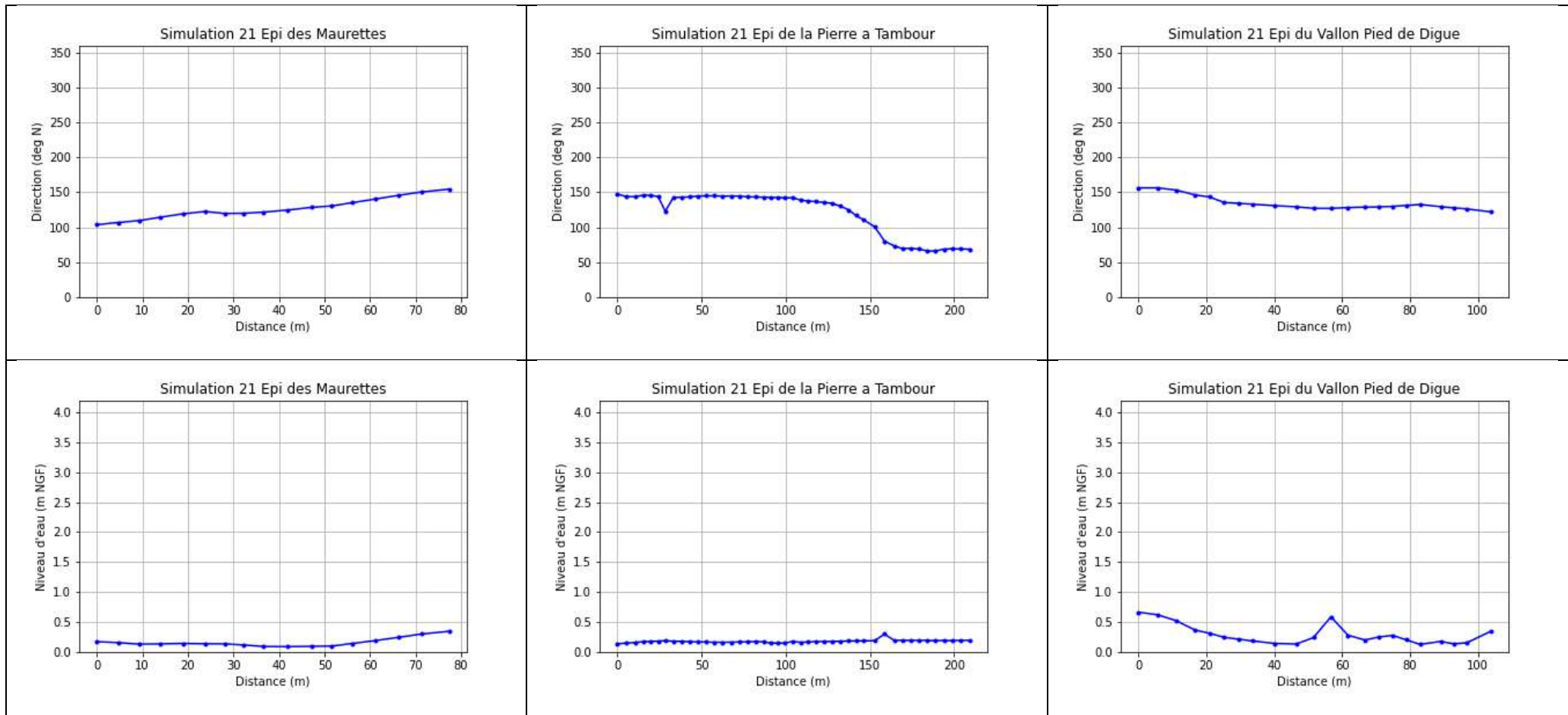
**Simulation 20 :**



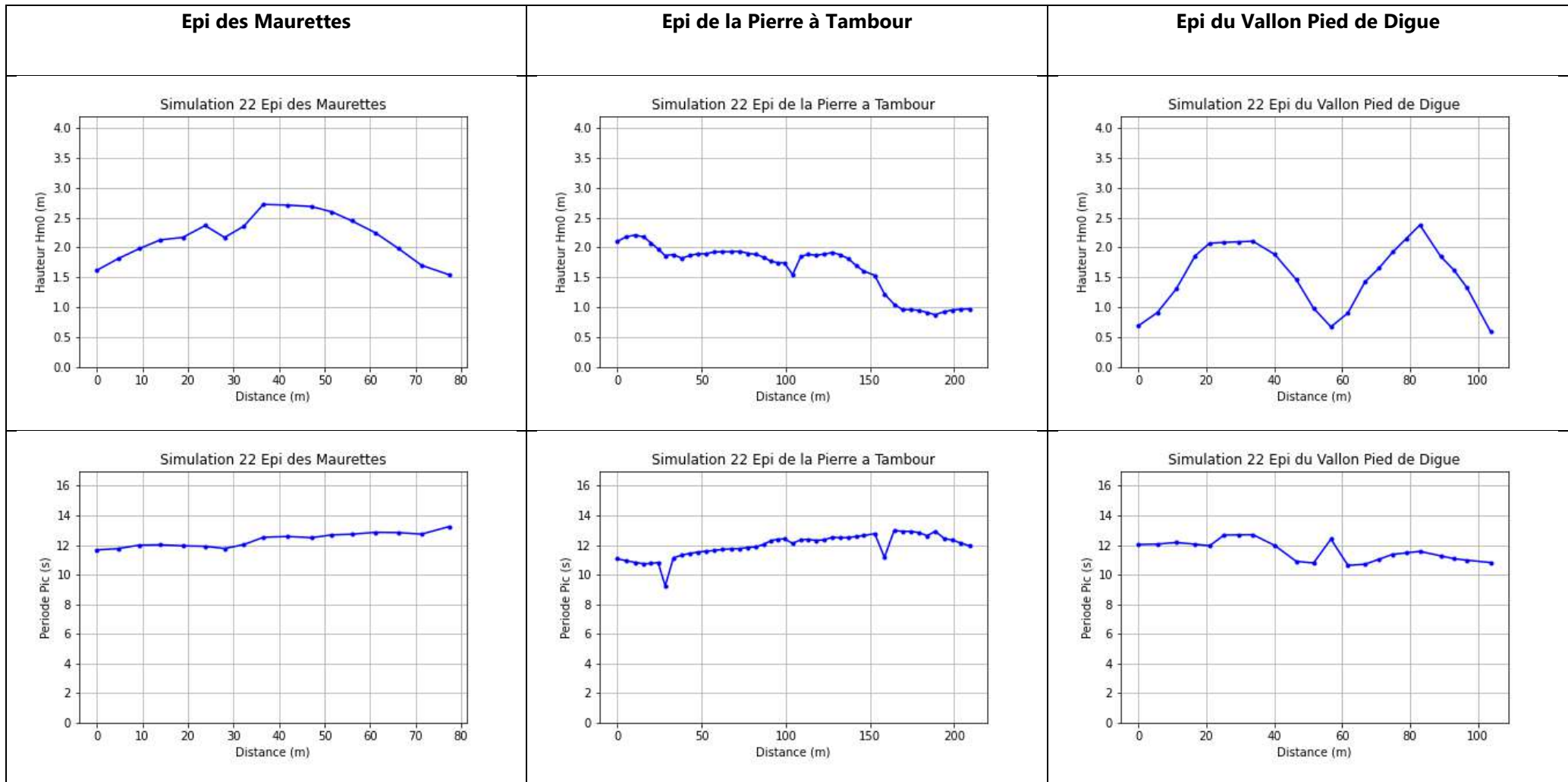


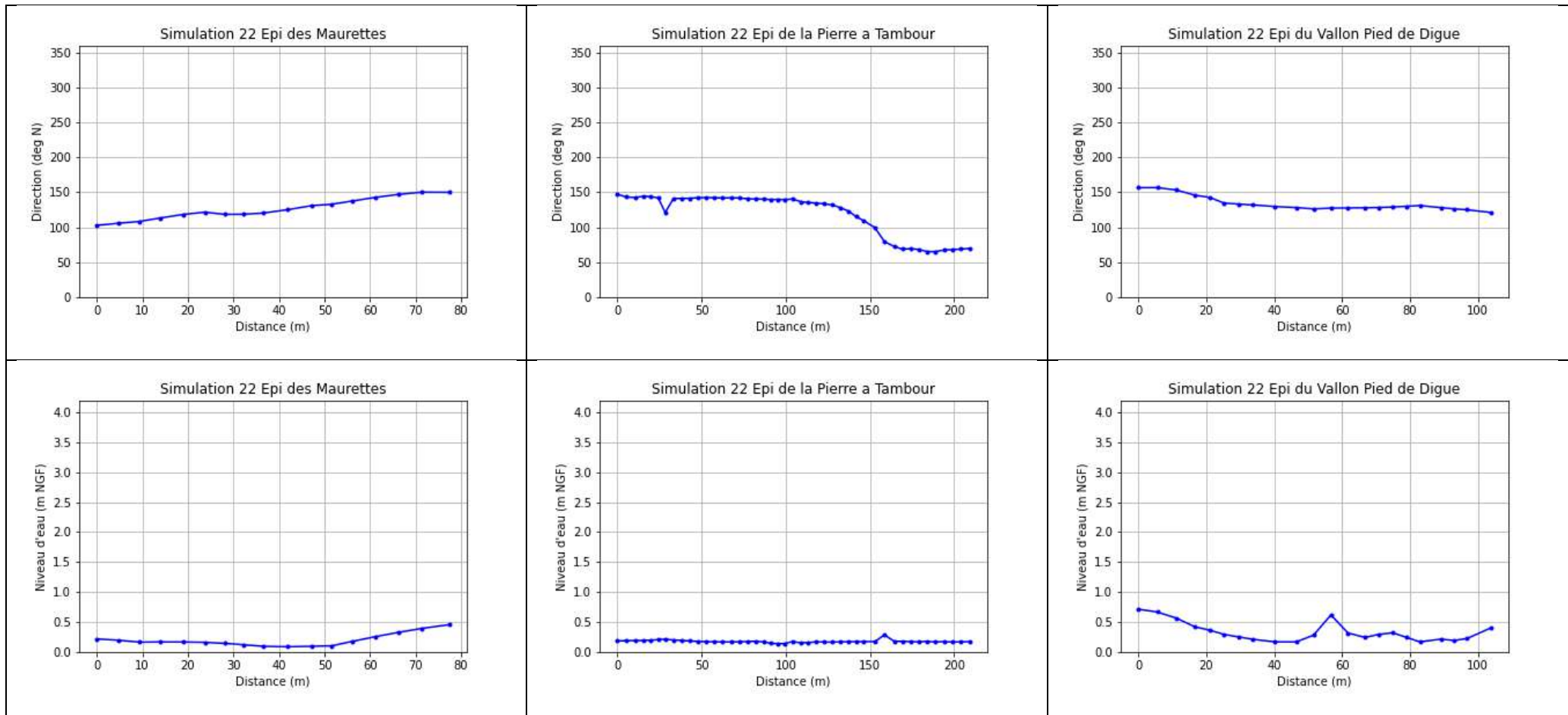
**Simulation 21 :**



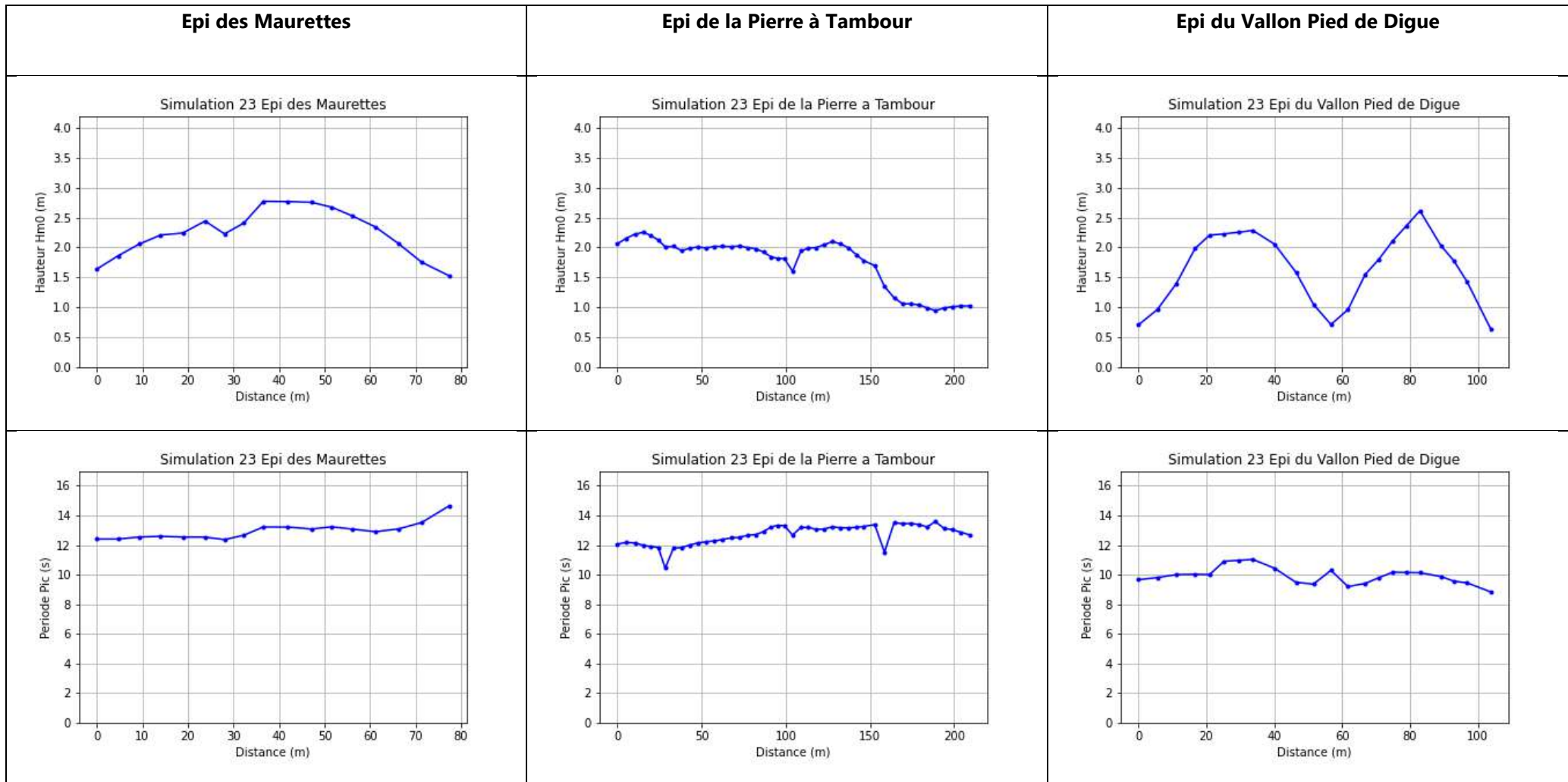


**Simulation 22 :**

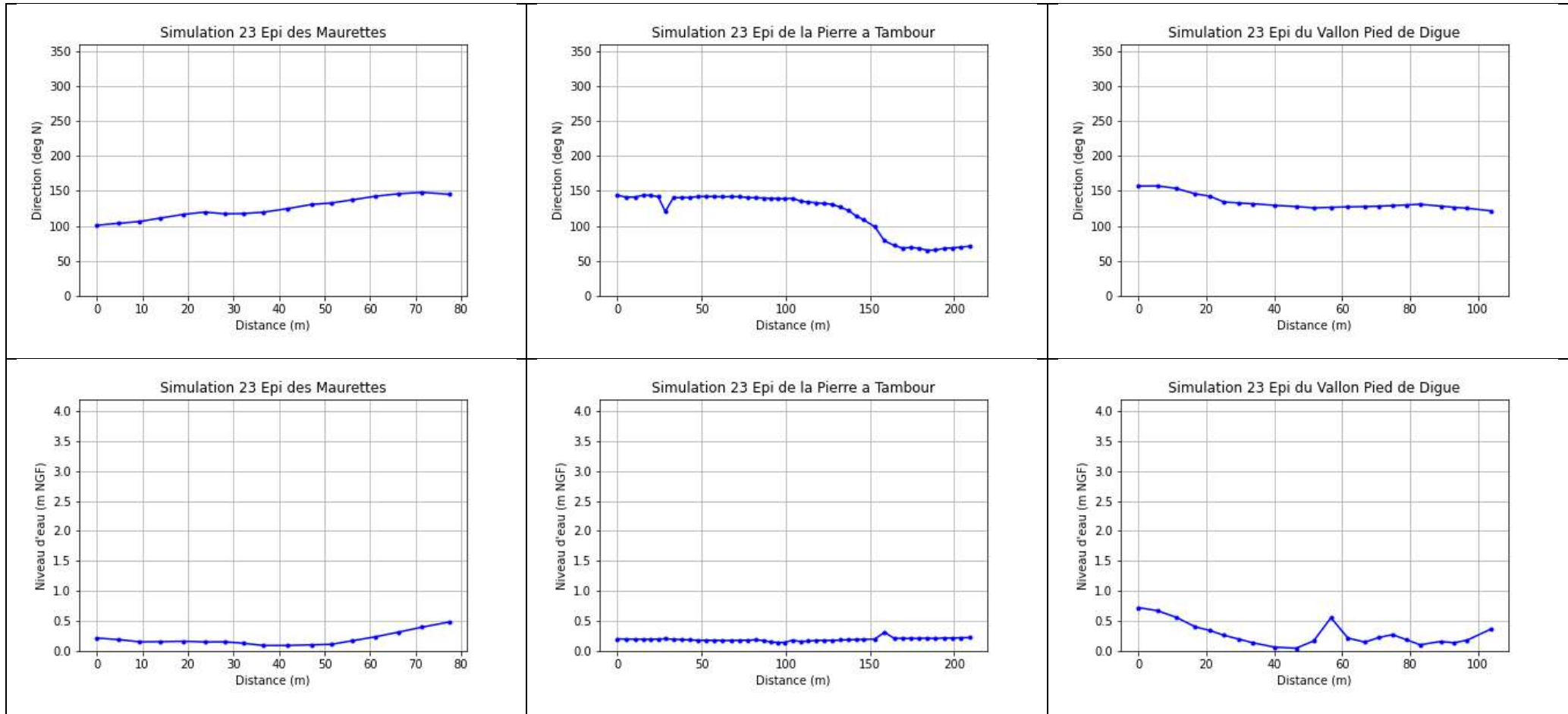




**Simulation 23 :**

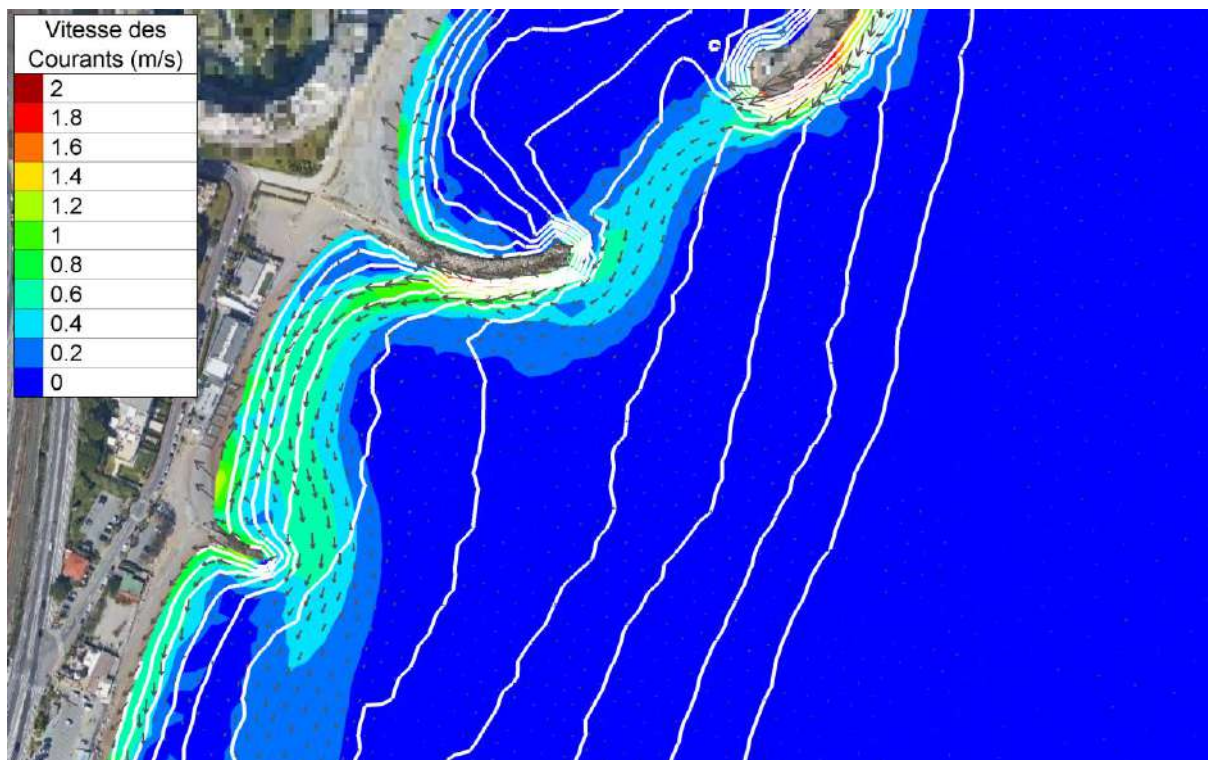
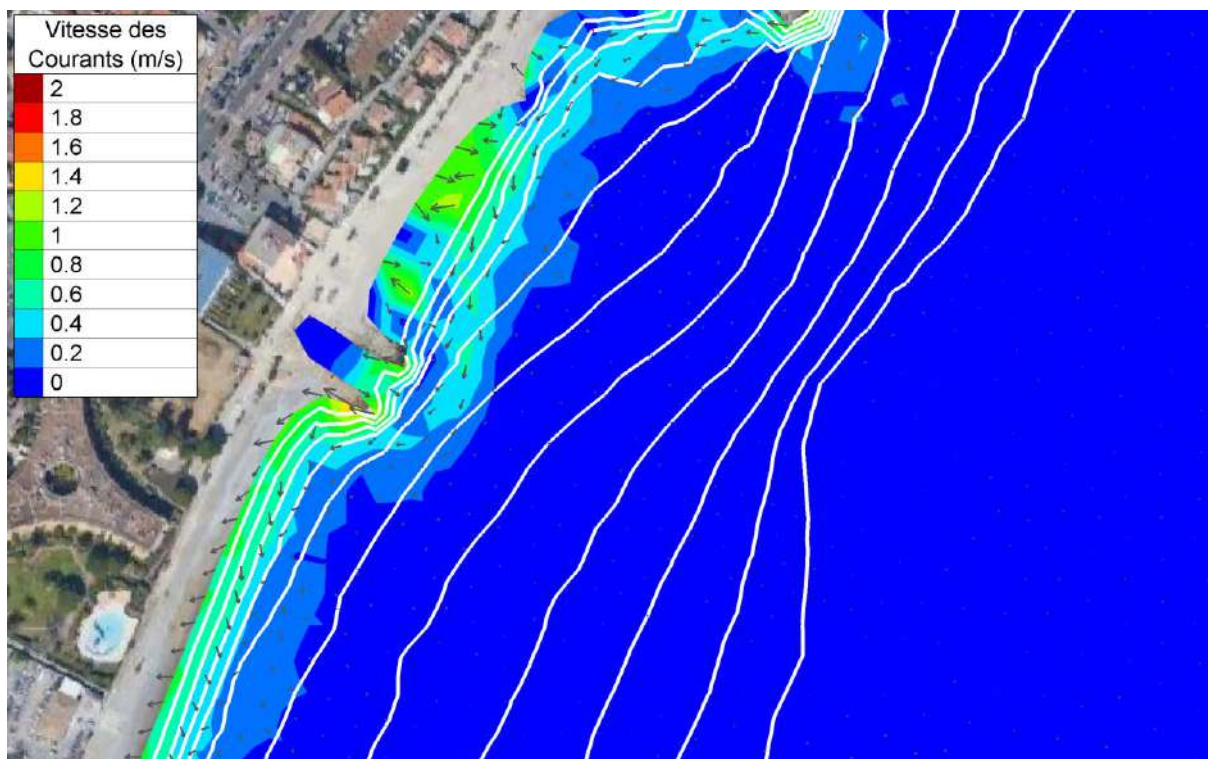




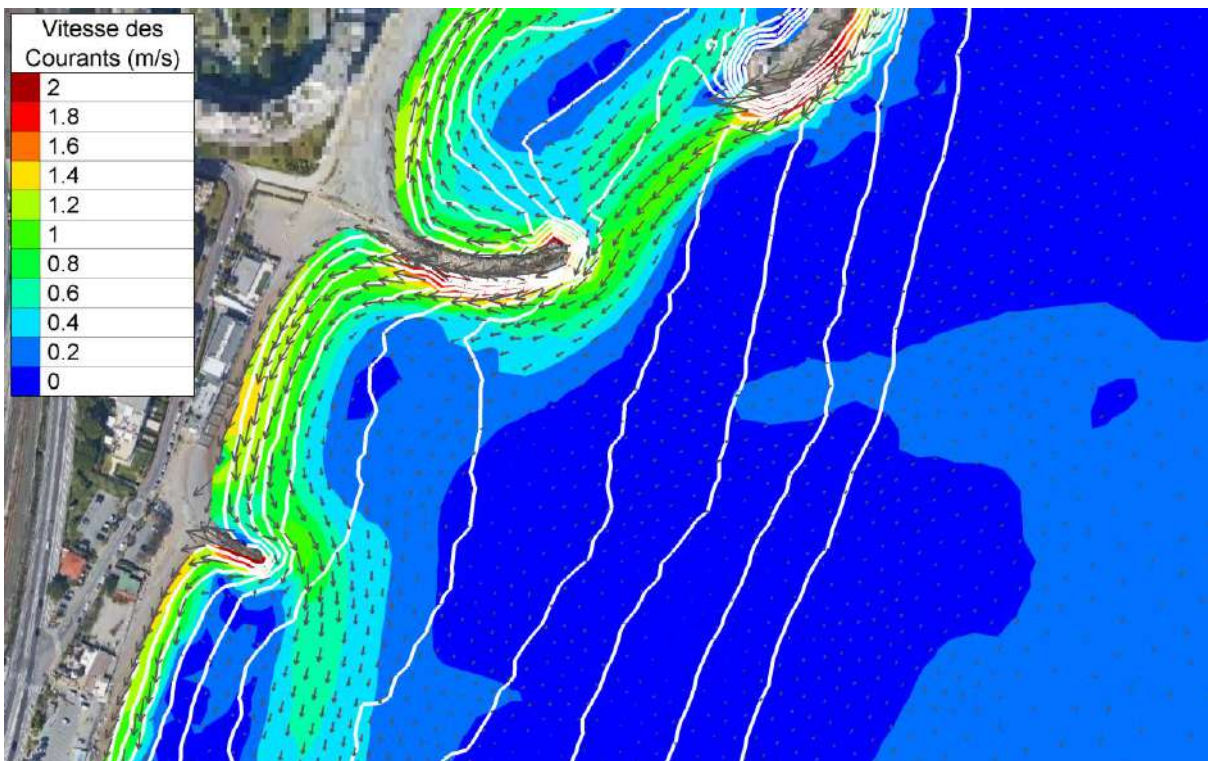
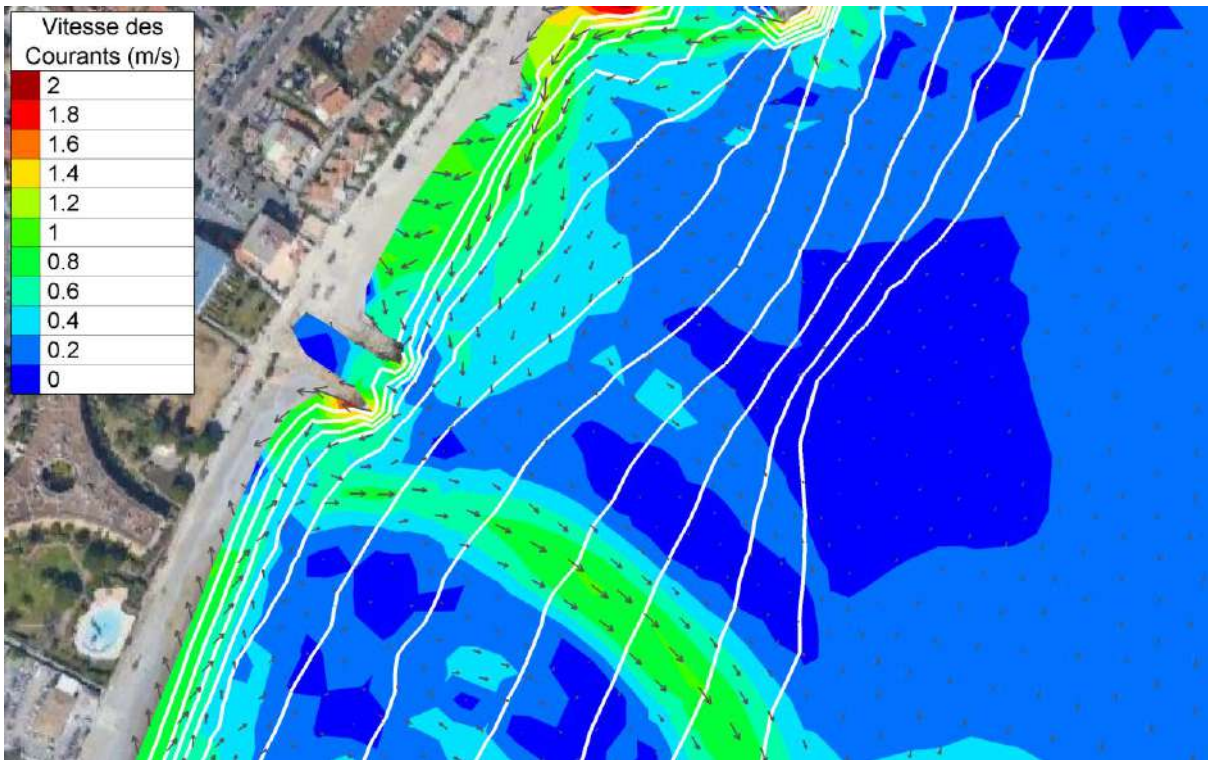


# ANNEXE IV : RESULTATS COURANTOLOGIQUES

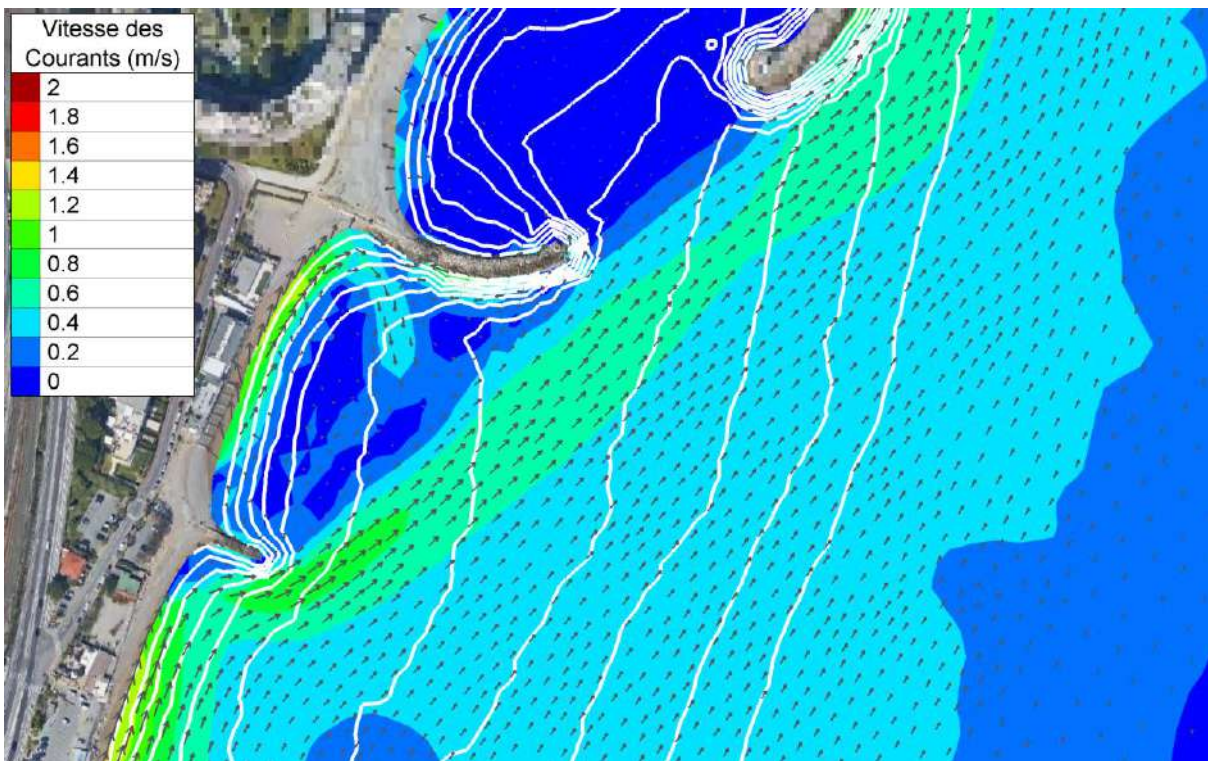
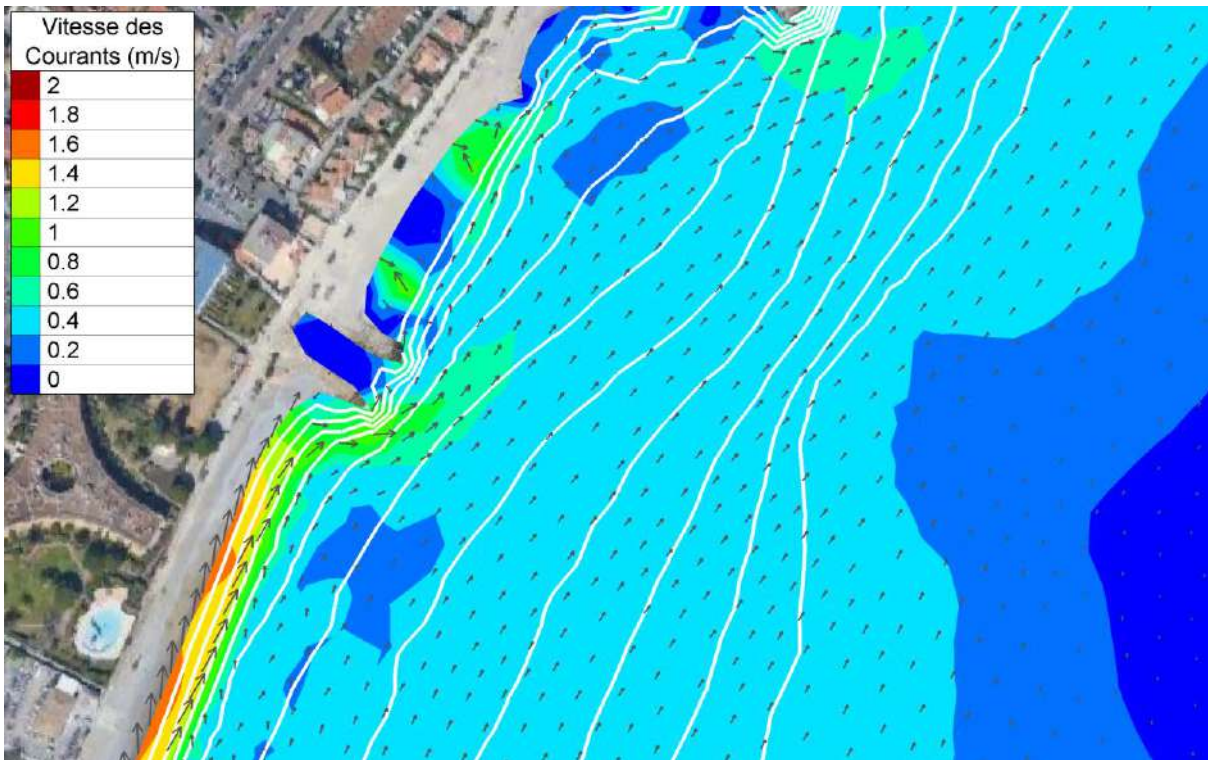
## Simulation 0 (T1 an, 80°N)



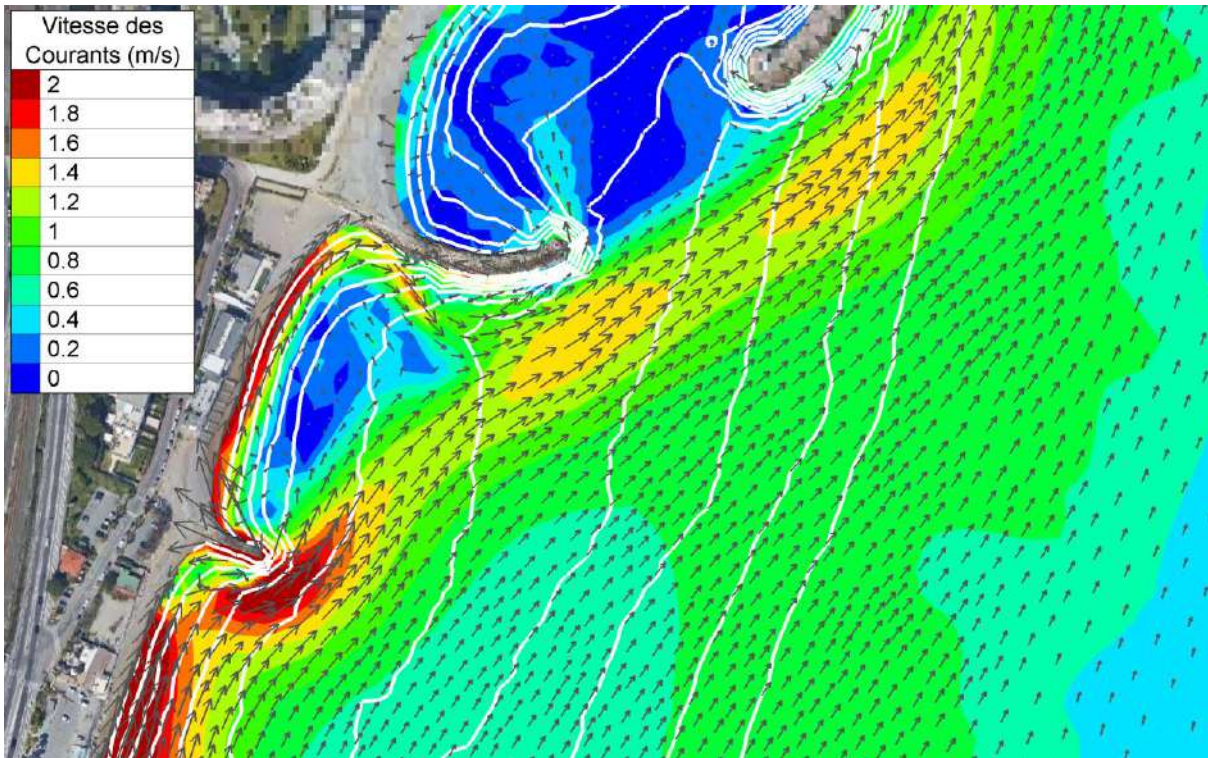
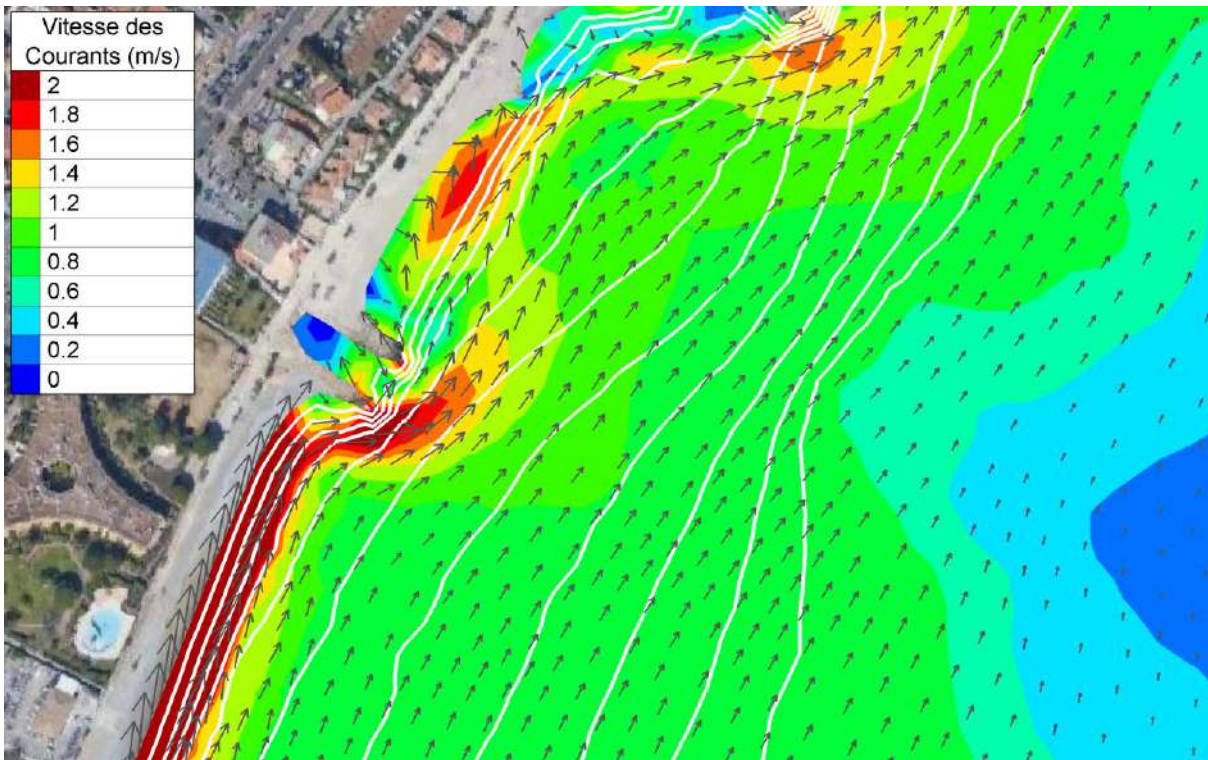
## Simulation 5 (T100 ans, 80°N)



## Simulation 6 (T1 an, 200°N)

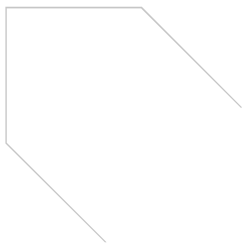


## Simulation 11 (T100 ans, 200°N)



**Egis Water & Maritime**

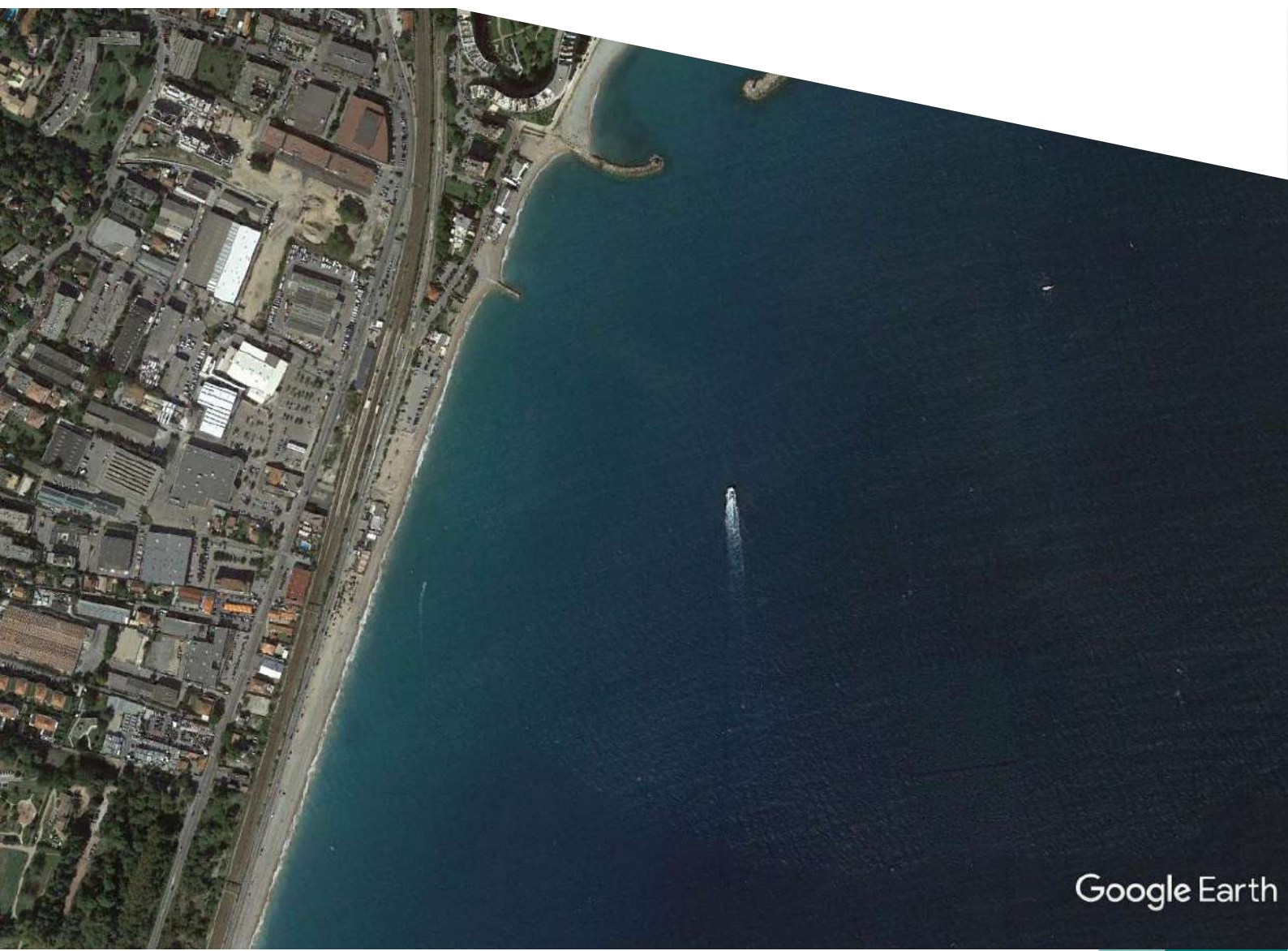
[www.egis-group.com](http://www.egis-group.com)



# RAPPORT TECHNIQUE

## ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE L'EPI DES MAURETTES SUR LA MORPHOLOGIE DES PLAGES ATTENANTES

*24 avril 2023*







## Informations relatives au document

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

<b>Auteurs</b>	NOZIERES Juliette, CAILLIBOTTE Rémi, BEUDIN Alexis
<b>Fonction</b>	Ingénieur études, Ingénieur études, Ingénieur chef de projet
<b>Volume du document</b>	MED0130
<b>Version</b>	V2
<b>Date</b>	02/05/2023

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Vérfié par</b>	<b>Fonction</b>
V1	25/04/2023	Jean-Baptiste Saulnier	Expert/Chef de projet

<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Approuvé par</b>	<b>Fonction</b>
V2	02/05/2023	Christophe Brière	Directeur

### DESTINATAIRES

<b>Nom</b>	<b>Entité</b>
------------	---------------

# SOMMAIRE

---

<b>1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>7</b>
<b>2 - CONTEXTE HYDRO-MORPHO-SEDIMENTAIRE .....</b>	<b>8</b>
2.1 - Contexte morpho-sédimentaire.....	8
2.2 - Evolutions morphologiques de la plage.....	10
2.2.1 - Analyse des photographies aériennes et satellites.....	10
2.3 - Forçages hydrodynamiques.....	12
2.3.1 - Variation du niveau d'eau.....	12
2.3.2 - Conditions de vagues et de vent.....	12
2.3.3 - Considérations sur les courants induits le long du rivage .....	13
<b>3 - MODELISATION DE L'INFLUENCE DE DIFFERENTES LONGUEURS D'EPI SUR LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE LORS D'EPISODES DE TEMPETE.....</b>	<b>15</b>
3.1 - Objectif et scénarios d'épi considérés .....	15
3.2 - Description du modèle.....	15
3.2.1 - Suite logicielle utilisée et paramétrisation.....	15
3.2.2 - Adaptation du maillage et de la bathymétrie pour les trois scénarios d'épi .....	16
3.3 - Résultats du modèle avec les trois longueurs d'épis .....	17
<b>4 - MODELISATION DE L'INFLUENCE DE LA PRESENCE DE L'EPI SUR LA DYNAMIQUE PLURI-DECENNALE DU TRAIT DE COTE .....</b>	<b>19</b>
4.1 - Objectif et scénarios d'épi considérés .....	19
4.2 - Description générale du modèle.....	19
4.3 - Entrants du modèle .....	19
4.3.1 - Paramètres d'entrée.....	19
4.3.2 - Forçages .....	20
4.3.3 - Définition des traits de côte .....	21
4.4 - Calibration du modèle.....	21
4.4.1 - Données de calibration/validation .....	21
4.4.1.1 - Evolution du trait de côte selon des transects.....	21
4.4.1.2 - Estimation du transport selon les transects .....	23
4.4.2 - Transport sédimentaire le long du rivage .....	24
4.4.3 - Evolution du trait de côte .....	25
4.5 - Projection à l'horizon 2050.....	26
<b>5 - RESUME ET DISCUSSION SUR LA LONGUEUR DE L'EPI AU REGARD DES EVOLUTIONS DES PLAGES ADJACENTES.....</b>	<b>28</b>
<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>29</b>
<b>6 - ANNEXE :.....</b>	<b>30</b>
6.1 - Vagues et contraintes sur le fond associées .....	30

6.2 - Courants et contraintes sur le fond associées ..... 34

6.3 - Taux de transport sédimentaire totale (charriage + suspension) pour différentes classes de sédiment..... 37

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Localisation de la zone de projet ..... 7

Figure 2 – Carte des fonds à une échelle élargie..... 8

Figure 3 – Photos des sédiments sur les plages (en haut A gauche) au sud de l'épi, (en haut à droite) au nord de l'épi, et au droit de l'épi (en bas) ..... 9

Figure 4 – Images aériennes (source : IGN – Remonter le temps) de la plage des Maurettes et de la plage de la Pierre au Tambour, entre 1961 et 1983..... 10

Figure 5 – Présence d'enrochements de protection devant l'hotel/restaurant situé à ~100 m de la digue sud de la Marina Baie des Anges avant (1981) et après (1994) la construction de l'épi des Maurettes (images non-géoréférencées). La dernière prise de vue Google Earth qui montre Ces enrochements date de 2006 (à droite)..... 10

Figure 6 – Images aériennes (source : IGN - Remonter le temps) de la plage des Maurettes et de la plage de la Pierre au Tambour, entre 1996 et 2004..... 11

Figure 7 – Images satellite (source : Google Earth) de la plage des Maurettes et de la plage de la Pierre au Tambour, entre 2014 et 2019..... 12

Figure 8 – (en haut) hauteur et direction de propagation des vagues de secteurs : (à gauche) ENE et (à droite) SSO ; (en bas) courants moyens sur la verticale associés ..... 14

Figure 9 – Topo-bathymétrie des trois configurations : (de gauche à droite) épi long, épi court, sans épi..... 15

Figure 10 – Densité du maillage du modèle numérique : (HAUT, gauche) modèle global, (HAUT, DROITE) modele SANS Épi, (BAS, gauche) modele avec Épi court, (BAS, droite) modele avec Épi long..... 17

Figure 11 – Elevation du fond [mNGF] en fonction de la distance cross-shore, le long des transects P18 à P27 ..... 20

Figure 12 – Localisation des points d'extraction du modèle TOMAWAC situés sur l'isobathe -8mNGF. Les 6 points au Sud sont ceux qui ont été retenus vis-à-vis de l'emprise du modèle ..... 20

Figure 13 – Position des profils le long des plages des Maurettes (P16-23), de la pierre au Tambour (P24-27) et de l'Amirale (P28-31)..... 22

Figure 14 – Position des profils le long des plages de la Siesta (Antibes, P1-11) et de Vaugrenier (P12-15)..... 22

Figure 15 – Evolution du trait de côte entre 1983 et 2019, pour les profils P17 à P31 (les traits pointillés correspondent à l'épi Maurettes et à la digue sud de la marina Baie des Anges) ..... 23

Figure 16 – Evolution du trait de côte entre 1983 et 2004 (source : SOGREA 2009) ..... 23

Figure 17 – Transport sédimentaire simulé [m3/an] avec un facteur de calibration  $q_{scal} = 0.3$ , sur l'ensemble de la zone d'application du modèle (gauche) et autour de l'épis des Maurettes (droite). La discrétisation spatiale du modèle est de 10m ..... 25

Figure 18 – Comparaison des traits de côte digitalisés et simulés avec différents facteur de calibration  $q_{scal}$  (entre 0.02 et 2), sur l'ensemble de la zone d'application du modèle (gauche) et autour de l'épis des Maurettes (droite)..... 26

Figure 19 – Projection long terme du trait de côte (2019-2050), calculé avec le modèle ShorelineS ( $q_{scal} = 0.3$ ), pour les scénarios S1 (vert, avec épis) et S2 (rouge, sans épis) ..... 27

Figure 6-1 – (Haut) régime de vagues et (bas) contraintes associées pour un forçage houle d'est et niveau actuel ..... 30

Figure 6-2 – (Haut) régime de vagues et (bas) contraintes associées pour un forçage houle d'est et niveau 2075 ..... 31

Figure 6-3 – (Haut) régime de vagues et (bas) contraintes associées pour un forçage houle de sud et niveau actuel ..... 32

Figure 6-4 – (Haut) régime de vagues et (bas) contraintes associées pour un forçage houle de sud et niveau 2075.....	33
Figure 6-5 – (Haut) Courantologie et (bas) contraintes associées pour un forçage houle d’est et niveau actuel.....	34
Figure 6-6 – (Haut) Courantologie et (bas) contraintes associées pour un forçage houle d’est et niveau 2075 .....	35
Figure 6-7 – (Haut) Courantologie et (bas) contraintes associées pour un forçage houle de sud et niveau actuel.....	36
Figure 6-8 – (Haut) Courantologie et (bas) contraintes associées pour un forçage houle de sud et niveau 2075 .....	37
Figure 6-9 – Taux de transport sédimentaire (magnitude et direction) pour un forçage houle d’est et niveau Actuel.....	38
Figure 6-10 – Taux de transport sédimentaire (magnitude et direction) pour un forçage houle d’est et niveau 2075.....	39
Figure 6-11 – Taux de transport sédimentaire (magnitude et direction) pour un forçage houle de sud et niveau Actuel.....	40
Figure 6-12 – Taux de transport sédimentaire (magnitude et direction) pour un forçage houle de sud et niveau 2075.....	41
Figure 6-13 – comparaisons des profils de transport sédimentaire le long de l’épi pour les 4 conditions hydrodynamiques – sédiments fins.....	42
Figure 6-14 – comparaisons des profils de transport sédimentaire le long de l’épi pour les 4 conditions hydrodynamiques – sédiments moyens.....	43
Figure 6-15 – comparaisons des profils de transport sédimentaire le long de l’épi pour les 4 conditions hydrodynamiques – sédiments grossiers.....	44

# 1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la **Tranche Optionnelle 1** du projet de reconstruction de l'épi des Maurettes, situé à 170 m au Sud de la marina Baie des Anges et protégeant un émissaire.



**FIGURE 1 – LOCALISATION DE LA ZONE DE PROJET**

La présente étude vise à fournir des éléments de compréhension quant à l'impact de la longueur de l'épi sur les plages attenantes (Pierre au Tambour et Maurettes). Elle comporte notamment :

- Un rappel du **contexte hydro-morpho-sédimentaire** du site,
- Une **modélisation numérique du transport sédimentaire en période de tempête** en prenant en compte l'influence d'un épi de différentes longueurs (longueur actuelle de ~50 m, réduite de moitié en mer et nulle),
- Une **modélisation numérique de la dynamique du trait de côte à l'échelle pluri-décennale** rétrospective et prospective, avec et sans épi,

détaillés ci-après.

## 2 - CONTEXTE HYDRO-MORPHO-SEDIMENTAIRE

### 2.1 - Contexte morpho-sédimentaire

La zone d'étude (Figure 1) concerne :

- la plage de la Pierre au Tambour, située entre la digue sud de la Marina Baie des Anges (construite dans les années 1970) et l'épi des Maurettes (construit au début des années 1990) ;
- la plage des Maurettes située au sud de l'épi du même nom et qui s'étend jusqu'à la limite nord de Vaugrenier.

Cette zone d'étude est située dans la Baie des Anges, à mi-distance environ de l'embouchure du Var au nord et du Cap d'Antibes au sud.

Le contexte géologique particulier de la Baie des Anges présente des cordons de galets millénaires perchés sur le rebord d'un plateau continental raide et étroit (Anthony et al., 1998) (cf. illustration des fonds devant la zone projet Figure 2).

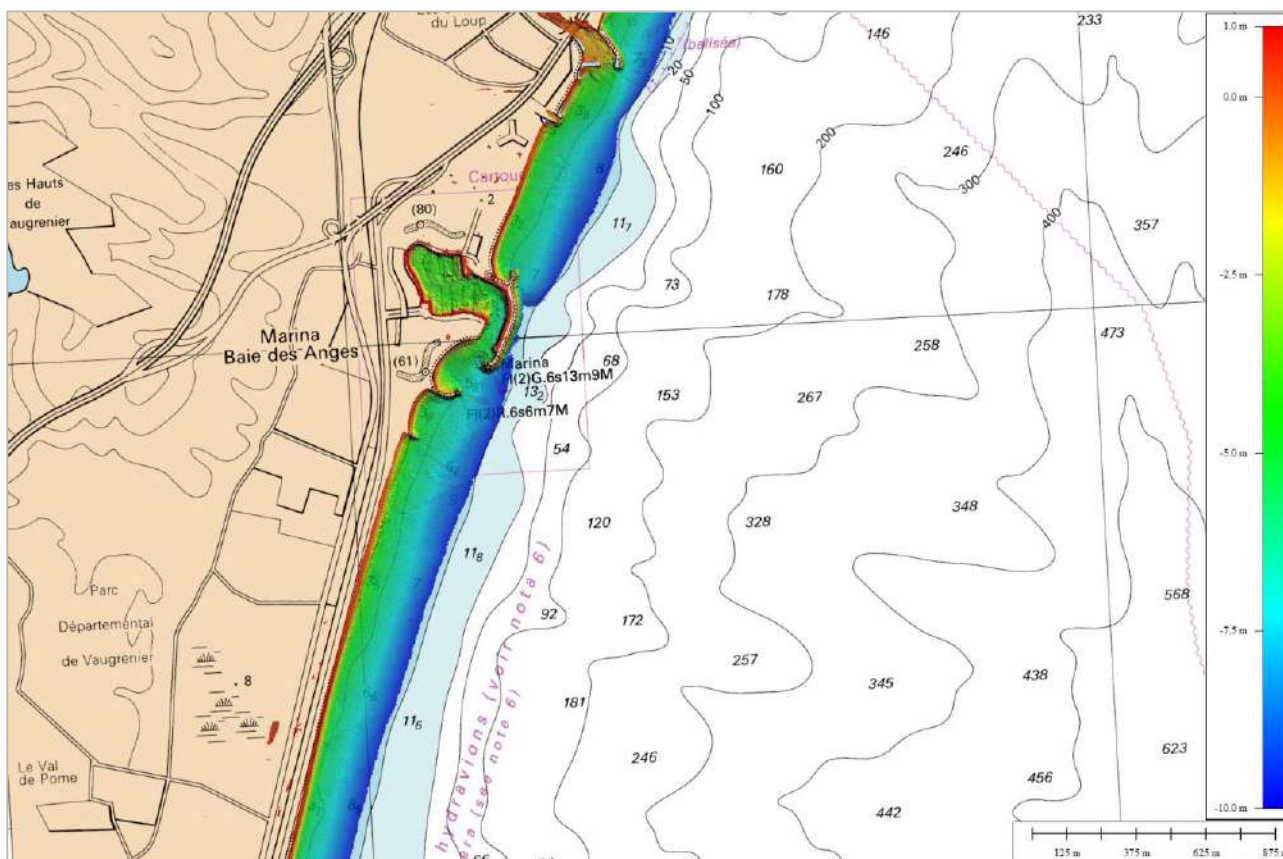


FIGURE 2 – CARTE DES FONDS A UNE ECHELLE ELARGIE

La partie visible des deux plages depuis le rivage est ainsi essentiellement constituée de galets et graviers (Figure 3), tandis que le bas de plage à quelques dizaines de mètres du musoir de l'épi semble présenter un mélange de graviers, sables et vase (Fondasol, 2023). Le site est donc marqué par une granulométrie très étendue, et une redistribution des différentes classes à différentes profondeurs variable dans le temps.



**FIGURE 3 – PHOTOS DES SEDIMENTS SUR LES PLAGES (EN HAUT A GAUCHE) AU SUD DE L'EPI, (EN HAUT A DROITE) AU NORD DE L'EPI, ET AU DROIT DE L'EPI (EN BAS)**

La pente de plage jusqu'à la profondeur limite d'influence des vagues est relativement marquée (10-15%). Ceci implique une bande de dérive littorale particulièrement étroite : l'épi bloque au moins partiellement le transit sédimentaire comme l'atteste la forme arquée des plages autour de ce dernier.

La plage sèche (située au-dessus d'un niveau de pleine mer) est globalement très étroite, voire inexistante en cas de fortes houles devant l'hôtel Villa Azur, notamment. De plus, une érosion du haut de plage est notable devant les ouvrages en enrochement protégeant le parking des Maurettes.

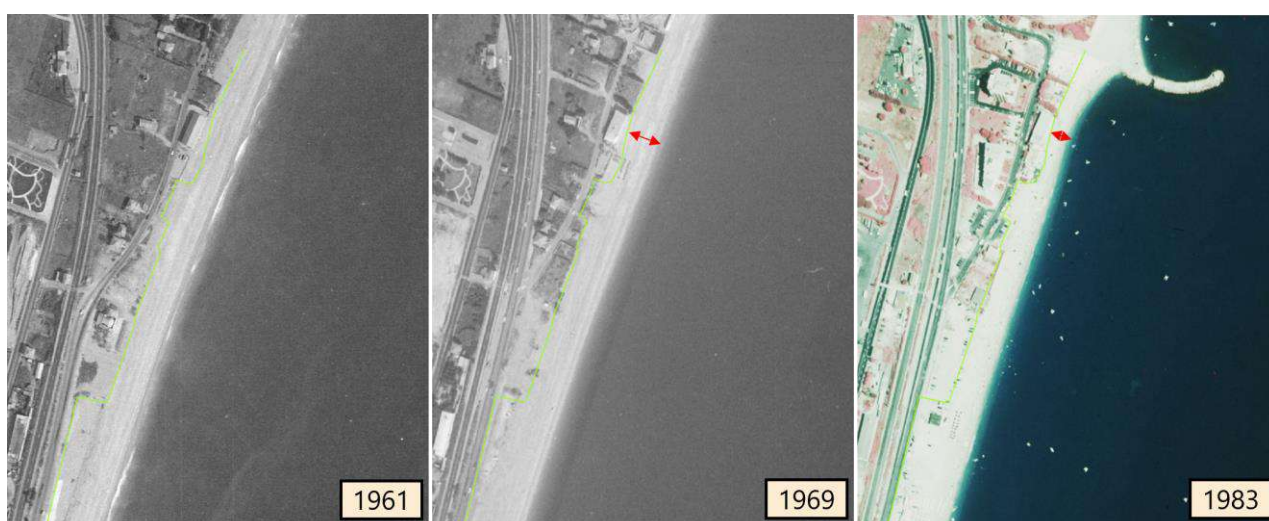
Les modalités de pertes des sédiments (galets, graviers et sables) de ces plages ont été abordées dans l'étude hydro-sédimentaire de Sogreah (2009). La présente étude se focalise sur la dynamique sédimentaire longitudinale (*long-shore*) ou dérive littorale, qui peut être impactée par la présence d'un épi perpendiculaire à la côte. Les éboulements potentiels de galets sur les pentes raides d'avant-côte, le transport des galets par le jet de rive et le transport dans le profil (*cross-shore*) qui peuvent avoir lieu lors de certains événements tempétueux ne sont pas appréhendés ici. Anthony et al. (1998) suggère d'ailleurs que ce secteur au sud du Var présente une mobilité longitudinale des galets plus marquée qu'au nord (du fait d'un linéaire de plage plus long, et d'une exposition plus favorable à des vagues à incidence oblique).

## 2.2 - Evolutions morphologiques de la plage

### 2.2.1 - Analyse des photographies aériennes et satellites

Depuis le milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, de nombreux aménagements côtiers sont venus modifier la côte de Villeneuve-Loubet et Antibes. Sur la zone qui nous intéresse dans cette étude, nous avons pu récupérer des images aériennes historiques provenant de la base de données IGN - Remonter le Temps, ainsi que des images satellites provenant de la base de données Google Earth.

La Figure 4 présente des photographies prises avant la construction de l'épis des Maurettes. Sur la photographie de 1983, on distingue la présence de la digue incurvée au sud de la marina Baie des Anges. Ces ouvrages, mis en place en 1970, ont modifié de façon importante la dérive littorale. Sur l'image de 1983, on peut noter un rétrécissement de la largeur de la plage de 5 à 10 m localement à ~100 m au sud de l'épi qui correspond à l'emplacement actuel de l'hôtel Villa Azur. Par ailleurs, on observe la présence d'enrochements de protection en haut de plage dès les années 80 en face de ce bâtiment (Figure 5). Ces enrochements ont disparu après 2006 (date de la dernière image Google Earth sur laquelle on peut les voir), et la terrasse de l'hôtel repose aujourd'hui en partie sur pilotis (Figure 3 en haut à droite).



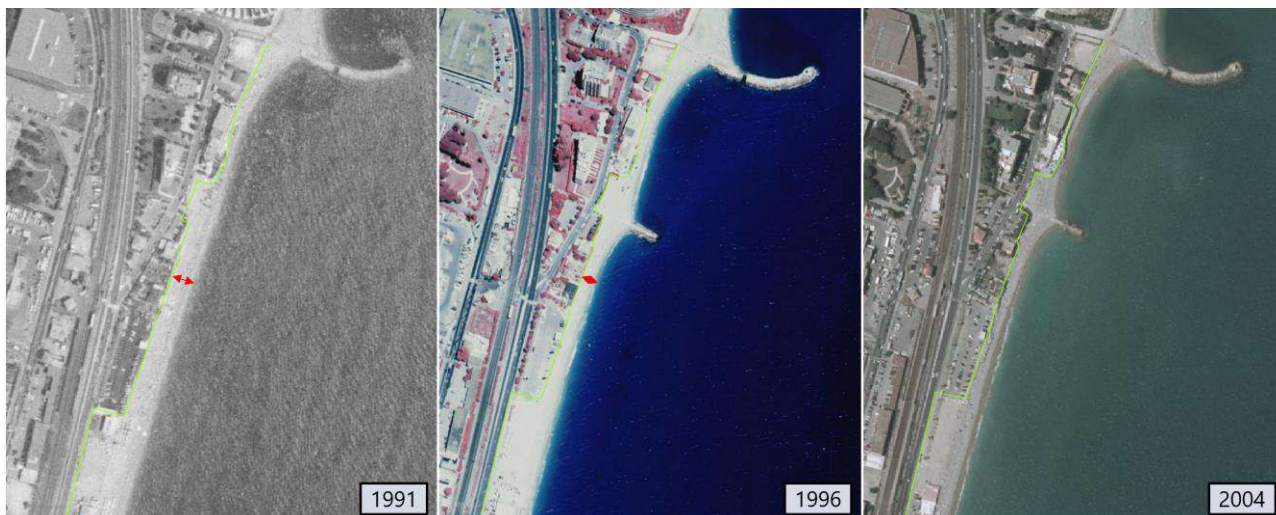
**FIGURE 4 – IMAGES AERIENNES (SOURCE : IGN – REMONTER LE TEMPS) DE LA PLAGE DES MAURETTES ET DE LA PLAGE DE LA PIERRE AU TAMBOUR, ENTRE 1961 ET 1983**



**FIGURE 5 – PRESENCE D'ENROCHEMENTS DE PROTECTION DEVANT L'HOTEL/RESTAURANT SITUE A ~100 M DE LA DIGUE SUD DE LA MARINA BAIE DES ANGES AVANT (1981) ET APRES (1994) LA CONSTRUCTION DE L'EPI DES MAURETTES (IMAGES NON-GEOREFERENCEES). LA DERNIERE PRISE DE VUE GOOGLE EARTH QUI MONTRE CES ENROCHEMENTS DATE DE 2006 (A DROITE).**



L'épi des Maquettes a été mis en place entre 1991 et 1993. En comparaison à la situation sans épi (Figure 6), on note une accrétion de sédiments de part et d'autre de l'épi, et un rétrécissement de près de la moitié de la largeur de plage à ~50 à 100 m au sud de l'épi (au niveau de la cabane Villeneuve-Loubet qui aujourd'hui protégée par des enrochements en haut de plage). La plage de la Pierre au Tambour (devant la Villa Azur) au nord de l'épi reste très étroite. Par ailleurs, on note sur les différentes images analysées qu'il y a quasiment tout le temps une symétrie du trait de côte de part et d'autre de l'épi (ou du moins une asymétrie très peu marquée), indiquant qu'il n'y a pas de dynamique long-shore prépondérante (dérive littorale relativement faible en moyenne et/ou sans prédominance du sens en raison de l'obliquité variable de la houle à la côte).



**FIGURE 6 – IMAGES AERIENNES (SOURCE : IGN - REMONTER LE TEMPS) DE LA PLAGE DES MAQUETTES ET DE LA PLAGE DE LA PIERRE AU TAMBOUR, ENTRE 1996 ET 2004**

Les évolutions plus récentes de ce littoral sont présentées sur la Figure 7. L'évolution du trait de côte entre ces dates est (très) peu marquée.

Compte-tenu :

- De la pente de la plage (10 à 15%), une variation du niveau d'eau de 10 à 15 cm (lié à la marée par exemple) peut être interprétée comme une variation métrique de la position de la ligne d'eau,
- Et des erreurs de géoréférencement liées à la qualité des images d'environ 1 à 2 m,

il est relativement difficile de statuer sur un recul du trait de côte à partir de l'observation de ces images (l'interprétation de la position du trait de côte pouvant varier de 1 à 3 m selon l'heure de la prise de vue et la qualité de l'image). Par ailleurs, la surélévation du niveau de la mer en lien avec le changement climatique sur une dizaine d'années (quelques centimètres) aura peu d'influence sur la position du trait de côte.

Cette analyse locale est d'ailleurs cohérente avec la base de données mondiale *AquaMonitor* (<https://aqua-monitor.appspot.com/?datasets=shoreline>) qui indique que le trait de côte sur la zone est relativement stable avec un recul de -0.2 et -0.5 m/an.



**FIGURE 7 – IMAGES SATELLITE (SOURCE : GOOGLE EARTH) DE LA PLAGE DES MAURETTES ET DE LA PLAGE DE LA PIERRE AU TAMBOUR, ENTRE 2014 ET 2019**

## 2.3 - Forçages hydrodynamiques

Certains éléments du rapport EGIS (2022) sont rappelés et décrits ici en tant que forçage de la dynamique sédimentaire. Les tempêtes de période de retour annuelle sont considérées ici comme évènements morphogènes de référence pour l'analyse des effets de la longueur de l'épi.

### 2.3.1 - Variation du niveau d'eau

Les niveaux marins sur le site d'étude résultent de la superposition de différents phénomènes :

- La marée astronomique,
- La surcote atmosphérique (barométrique et due au vent),
- La surcote induite par le déferlement bathymétrique des vagues (*wave setup*),
- La surélévation liée au changement climatique.

Dans la présente étude hydro-sédimentaire, deux niveaux d'eau de période de retour annuelle en condition actuel et projeté en 2075 ont été considérés dans le modèle (cf. Tableau 1) : **+0.58 mNGF** et **+1.03 mNGF**. A ces niveaux d'eau moyens, s'ajoutent la surcote induite par le déferlement des vagues à la côte d'environ 20-30 cm (simulée par le modèle hydrodynamique).

**TABLEAU 1 : SYNTHÈSE DES NIVEAUX EXTREMES (INCLUANT LA SURELEVATION LIÉE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE). EXTRAIT DU RAPPORT EGIS (2022)**

Tr [ans]	Niveau extrême [mNGF] (marée + surcote)	SLCC 2075 [m] (AR6, SSP5-8.5)	Niveau total avec SLCC [mNGF]
1	0.58	0.45	1.03
5	0.66	0.45	1.11
10	0.69	0.45	1.14
20	0.72	0.45	1.17
50	0.76	0.45	1.21
100	0.80	0.45	1.25

### 2.3.2 - Conditions de vagues et de vent

L'étude EGIS (2022) présente notamment une analyse statistique des données de réanalyse d'état de mer ANEMOC-2 Méditerranée (EDF R&D – LNHE /CEREMA), couvrant la période 1979-2010, et une modélisation de la propagation des principales conditions de vagues jusqu'à la côte, via l'application du modèle TOMAWAC, de la suite logiciel TELEMAC-MASCARET.

A partir de cette étude, deux conditions de vagues de période de retour annuelle (et d'obliquités très différentes) sont prescrites au large (à 10-15 km de la zone d'intérêt, cf. Figure 10) pour caractériser ici les flux de transport sédimentaire caractéristiques en période de tempête :

- Direction de provenance = 80°N (E) ; Hauteur significative  $Hm0= 2.85$  m et Période pic  $Tp=6.8$  s,
- Dir = 220°N (SSO) ;  $Hm0= 2.75$  m et  $Tp=9.4$  s.

Rq : Le secteur SSO est plus fréquent (~65% contre ~35% pour le secteur Est) et présente des périodes de pic plus élevées que sur le secteur E, mais la hauteur significative associée au secteur SSO est plus faible que celle du secteur E à l'approche de la zone d'étude (due à l'effet d'ombre du Cap d'Antibes) (Figure 8).

De plus, par cohérence avec l'étude hydrodynamique EGIS (2022), à ces conditions de vagues sont adjointes les conditions de vent (uniforme sur la zone) suivantes :

- Pour les tempêtes de secteur E : un vent de vitesse 16.5 m/s et direction 100°N,
- Pour les tempêtes de secteur SSO : un vent de vitesse 15.1 m/s et de direction 200°N.

Ces conditions de vent (bien que d'action secondaire par rapport à celle des vagues) ont tendance à renforcer l'intensité des courants le long du littoral.

Ces deux conditions de vent-vagues sont appliquées sur les deux niveaux d'eau moyens  $\eta = +0.58$  mNGF (actuel) et  $+1.03$  mNGF (2075), **soit quatre conditions considérées dans la modélisation** (Tableau 2).

**TABLEAU 2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CONDITIONS SIMULEES**

Conditions	Niveaux d'eau moyen (m NGF)	Vent (vitesse, direction)	Vagues ( $Hm0$ , $Tp$ , $Dm$ )
1	0.58	16.5 m/s ; 100°N	2.85 m ; 6.8 s ; 80°N
2	0.58	15.1 m/s ; 200°N	2.75 m ; 9.4 s ; 220°N
3	1.03	16.5 m/s ; 100°N	2.85 m ; 6.8 s ; 80°N
4	1.03	15.1 m/s ; 200°N	2.75 m ; 9.4 s ; 220°N

Rq : Nous avons fait le choix de considérer dans la présente étude « un coup de mer » annuel car il est communément accepté en Méditerranée que « les hivers à tempêtes fréquentes mais de moyenne intensité sont plus morphogènes que ceux plutôt calmes mais pourvus d'une tempête intense et isolée » (Brunel, 2012). De plus, les tempêtes de période de retour plus élevée (5 à 100 ans) décrites dans l'étude hydrodynamique EGIS (2022) ont statistiquement une direction identique à celle de période de retour annuelle, et les schémas de circulation littorale ne sont pas sensiblement différents (quoiqu'avec des vitesses plus intenses).

### 2.3.3 - Considérations sur les courants induits le long du rivage

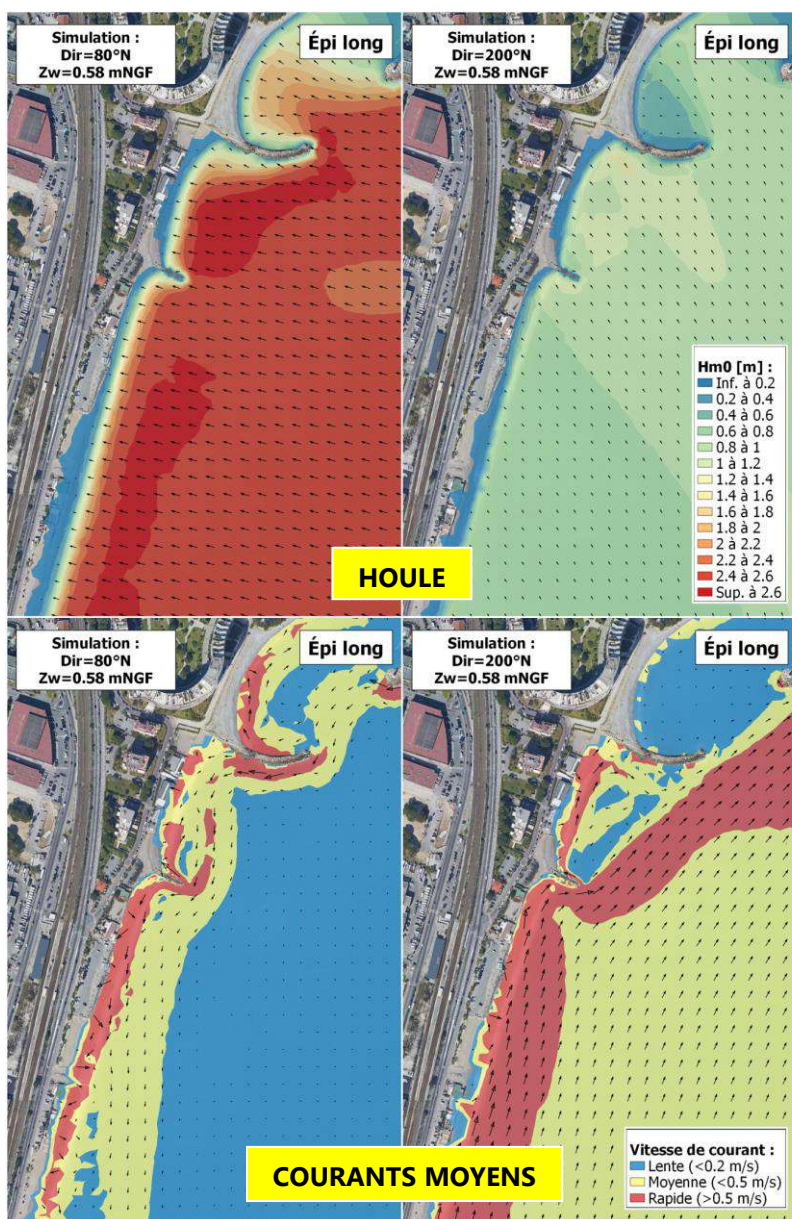
Le déferlement des vagues induit différents types de courants. Les courants le long du rivage peuvent être liés à l'obliquité des vagues incidentes et/ou à une variation latérale de l'énergie des vagues à la côte.

La normale au trait de côte est, en moyenne au droit de l'épi des Maquettes, orientée à ~120°N.

La réfraction des vagues à la côte (en lien avec la diminution de la profondeur d'eau) tend à réorienter la direction moyenne de ces dernières à ~105°N (avant déferlement, à quelques dizaines de mètres devant l'ouvrage) pour les vagues de direction 80°N au large (E) et 145°N pour les vagues de secteur 200°N au large (SSO).

Les vagues de secteur E au large ont donc une obliquité au trait de côte d'environ 15° vers le Nord, et celles de secteur SSO au large ont une obliquité au trait de côte d'environ 25° vers le Sud à proximité de la côte juste avant déferlement, comme illustré sur la Figure 8 (panneau du haut).

Si on peut difficilement se prononcer sur une orientation privilégiée de la dérive littorale dans ce secteur (dont la résiduelle dans le temps induirait une asymétrie du trait de part et d'autre de l'épi), on peut en revanche appréhender des conditions contrastées (occurrences significatives de dérive littorale dans un sens ou dans l'autre) (Figure 8). D'autant plus que les épis (celui des Maurettes et celui au sud de la marina Baie des Angés) peuvent, en fonction des niveaux d'eau, des phénomènes de réfraction et des effets d'ombrage (atténuation en arrière d'obstacles ou de hauts-fonds) moduler la distribution de l'énergie des vagues le long de la plage. Les gradients latéraux d'énergie des vagues induisent des gradients latéraux de set-up, et donc d'inclinaisons du niveau d'eau, qui sont également un forçage des circulations littorales.



**FIGURE 8 – (EN HAUT) HAUTEUR ET DIRECTION DE PROPAGATION DES VAGUES DE SECTEURS : (A GAUCHE) ENE ET (A DROITE) SSO ; (EN BAS) COURANTS MOYENS SUR LA VERTICALE ASSOCIES**

### 3 - MODELISATION DE L'INFLUENCE DE DIFFERENTES LONGUEURS D'EPI SUR LE TRANSPORT SEDIMENTAIRE LORS D'EPISODES DE TEMPETE

#### 3.1 - Objectif et scénarios d'épi considérés

La présente étude hydro-sédimentaire vise à évaluer par la modélisation numérique l'effet de la longueur de l'épi des Maurettes sur le transport de sédiments forcé par les vagues et les courants associés aux abords de ce dernier. La modélisation couplée vagues-courant avait déjà été décrite dans le rapport EGIS (2022).

Le maillage et la bathymétrie du modèle hydrodynamique EGIS (2022) ont été adaptés spécifiquement autour de l'ouvrage, de sorte que les trois scénarios suivants puissent être analysés :

- un épi long, soit la configuration actuelle (~50 m depuis le haut de plage) ;
- un épi court, soit réduit de moitié par rapport à l'épi actuel pour sa partie en eau (soit ~40 m depuis le haut de plage) ;
- sans épi.

La topo-bathymétrie des 3 configurations est présentée en Figure 9.

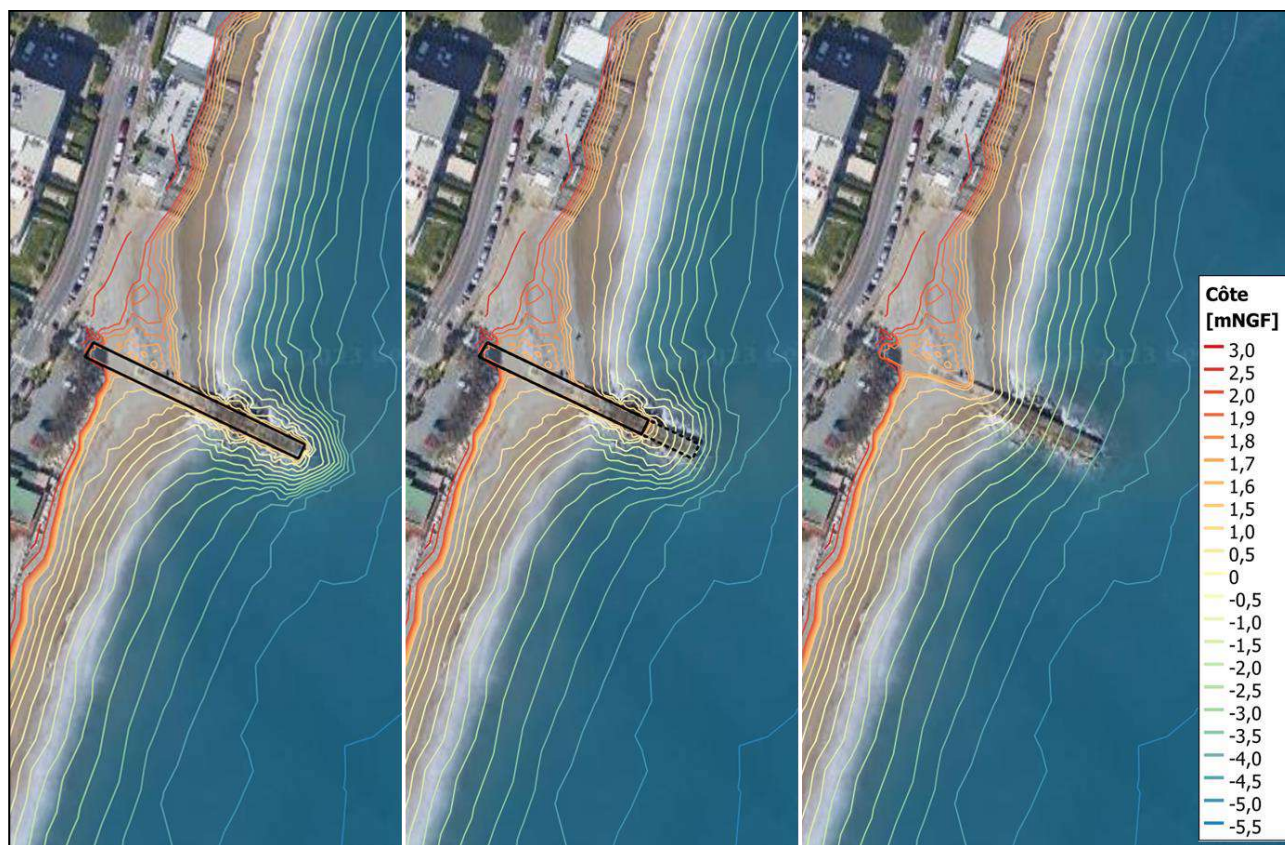


FIGURE 9 – TOPO-BATHYMETRIE DES TROIS CONFIGURATIONS : (DE GAUCHE A DROITE) EPI LONG, EPI COURT, SANS EPI

#### 3.2 - Description du modèle

##### 3.2.1 - Suite logicielle utilisée et paramétrisation

Le modèle hydro-sédimentaire autour de l'épi des Maurettes présenté ici a été réalisé à partir de la suite logicielle open **TELEMAC-MASCARET** ([opentelemac.org](http://opentelemac.org)). Le modèle spectral de propagation des vagues **TOMAWAC** a été couplé au modèle de courantologie **TELEMAC-2D** (voir description dans l'étude EGIS, 2022) et tous deux chaînés avec le modèle de transport sédimentaire **SISYPHE** (pas de rétroaction des évolutions morphologiques sur les vagues et les courants).

La formulation du transport total (charriage + suspension) selon Soulsby-van Rijn (1997) a été retenue ici car applicable sous l'action combinée des vagues et du courant. Cette dernière intègre un terme relatif à la pente du fond. Les calculs ont été réalisés pour trois classes de sédiments : 100  $\mu\text{m}$  (sable très fin), 500  $\mu\text{m}$  (sable grossier) et 2 mm (sable très grossier/gravier), afin d'évaluer la sensibilité des résultats à la taille des grains considérée (extrêmement variable sur site, cf. Figure 3). La dynamique des galets et graviers sous l'action du jet de rive sur la plage n'est pas considérée dans le présent modèle.

Rq : Le modèle de transport sédimentaire n'a pas fait l'objet d'une calibration/validation ; les résultats ci-après permettent une analyse comparative (en relatif) des effets de la longueur de l'épi sur les tendances à l'érosion ou au dépôt de sédiment.

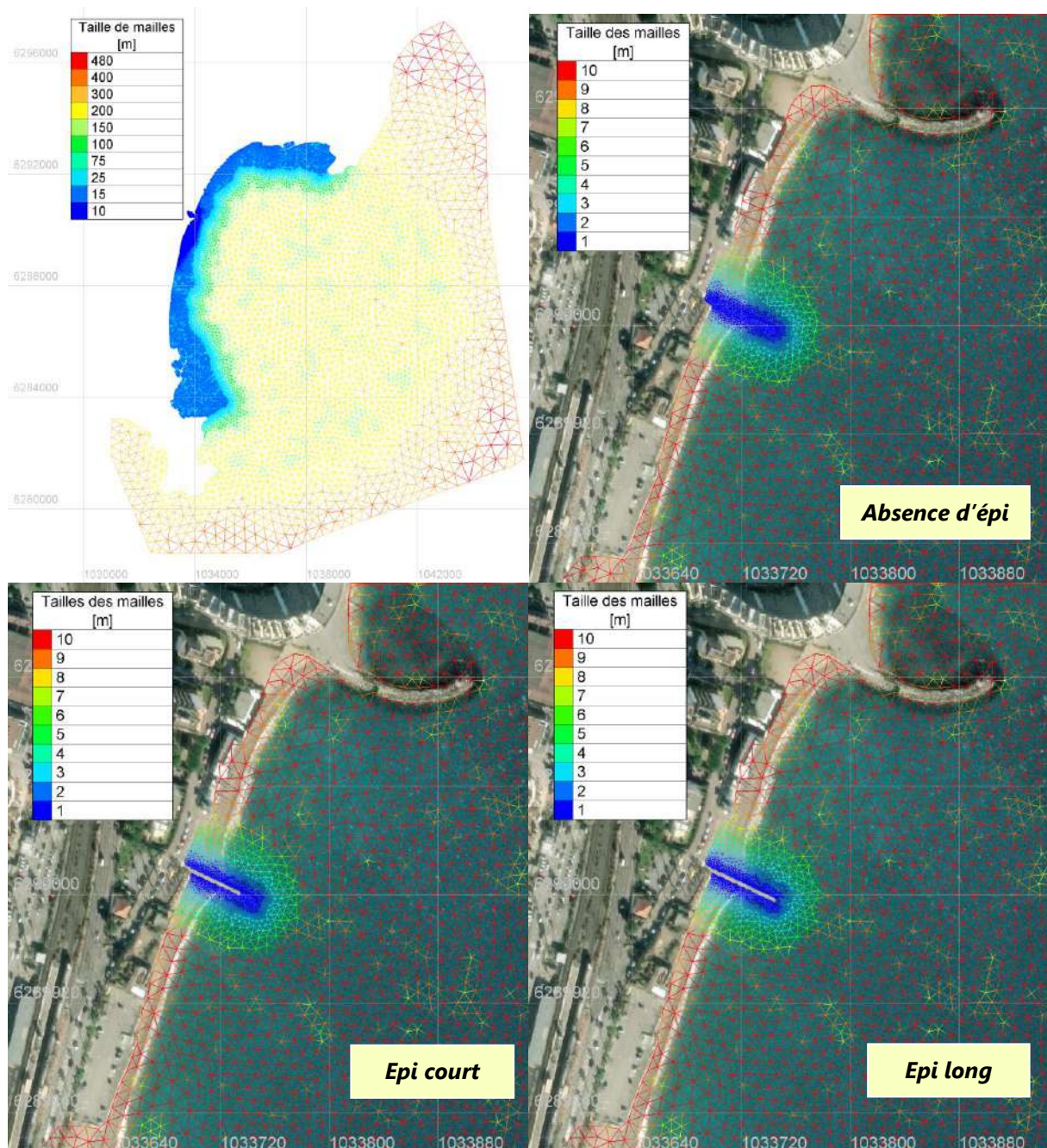
### 3.2.2 - Adaptation du maillage et de la bathymétrie pour les trois scénarios d'épi

Le maillage du modèle de l'étude EGIS (2022) a été raffiné autour de l'épi et étendu sur les plages attenantes (~1000 nœuds de plus). La Figure 10 présente le nouveau maillage avec un zoom sur la zone modifiée pour la simulation des trois configurations d'épi.

En résumé, le maillage présente la résolution suivante :

- ~200 m dans la Baie des Anges,
- inférieure à 20 m à partir de l'isobathe -50 mNGF,
- ~10 m en se rapprochant de l'épi,
- ~1 m autour de l'épi (le maillage contourne l'épi).

Les mêmes bases de données (Litto3D, Naviotics et HOMONIM) ont été concaténées pour réaliser le MNT que pour le modèle présenté dans l'étude EGIS (2022). Seulement, le semis de points Litto3D a été utilisé ici (au lieu du MNT à 5 m) autour de l'épi pour une représentation plus détaillée de la bathymétrie localement. Tout ou partie des points de l'épi a été manuellement retiré avant interpolation pour réaliser les bathymétries des configurations « sans épi » et « épi court », respectivement.



**FIGURE 10 – DENSITE DU MAILLAGE DU MODELE NUMERIQUE : (HAUT, GAUCHE) MODELE GLOBAL, (HAUT, DROITE) MODELE SANS ÉPI, (BAS, GAUCHE) MODELE AVEC ÉPI COURT, (BAS, DROITE) MODELE AVEC ÉPI LONG**

### 3.3 - Résultats du modèle avec les trois longueurs d'épis

Les résultats associés aux 4 conditions de vagues/niveaux d'eau et 3 configurations de longueur d'épi, sont regroupés en Annexes (par souci de place et de clarté). Les résultats (hauteur significative/direction de la houle et contraintes sur le fond associées, courants littoraux et contraintes sur le fond associées, transport sédimentaire potentiel total et extraction de ce dernier le long de l'axe de l'épi) sont essentiellement présentés à l'échelle de la zone projet.

Les résultats de modélisation montrent :

- Pour les vagues :
  - ▶ Une relativement faible influence de la longueur de l'épi sur les hauteurs de vagues (et contraintes sur le fond associées).

■ Pour les courants :

- ▶ **En conditions de secteur E** : une recirculation devant la plage de la Pierre au Tambour avec l'épi long à l'état actuel. Dans tous les cas, la présence d'un épi interrompt en partie ou dévie la dérive littorale N>S. Avec un niveau d'eau supérieur (projection 2075), l'influence des épis sur la largeur du couloir de dérive est plus manifeste. En particulier, avec l'épi long, on observe une double dérive (une en bord de mer et une autre, issue de la déviation par l'épi de la dérive amont, à 50-100m de la côte). La dérive "proche" est ainsi de moindre intensité qu'en l'absence d'épi.
- ▶ **En conditions de secteur SSO** : l'épi dévie une partie de la dérive Sud-Nord vers le nord-est et une gyre occupe le plan d'eau devant la plage de la Pierre au Tambour. La longueur de l'épi ne semble pas, dans cette condition hydrodynamique, influencer significativement la modification de la circulation littorale en aval dérive.

■ Pour le transport sédimentaire :

- ▶ De manière relativement similaire au courant, en présence d'un épi, une diminution globale relative du transport est observée au nord et au sud de l'épi (amont et surtout aval dérive), quelle que soit la direction de provenance des vagues, le niveau d'eau et la taille des sédiments considérée. La longueur de l'épi permet de réduire plus ou moins le flux sédimentaire devant celui-ci (le défléchir) en fonction du niveau d'eau considéré (épi long plus efficace sur niveau projeté en 2075) et selon la direction de provenance de la houle (moins d'érosion attendue par houle d'E avec l'épi long, et inversement avec l'épi moyen par houle de SSO).

**Globalement, le maintien d'un épi s'avère favorable à la stabilité des plages des Maquettes et de la Pierre au Tambour vis-à-vis de l'action des vagues et des courants longitudinaux associés. L'influence de sa longueur est de second ordre et dépend du niveau d'eau et de la direction de provenance de la houle. Dans une perspective de rehausse progressive du niveau d'eau dans les décennies à venir, et quelle que soit la classe de sédiments mobilisables considérée, l'option d'un épi long s'avérera de plus en plus pertinente pour le maintien des plages attenantes à l'épi des Maquettes.**



## 4 - MODELISATION DE L'INFLUENCE DE LA PRESENCE DE L'EPI SUR LA DYNAMIQUE PLURI-DECENNALE DU TRAIT DE COTE

### 4.1 - Objectif et scénarios d'épi considérés

L'analyse des images aériennes historiques et la modélisation des processus hydro-sédimentaire en période de tempête ont été complétées par la modélisation « long-terme » du trait de côte en considérant, ou non, la présence de l'épi dans le futur.

### 4.2 - Description générale du modèle

Afin d'estimer l'évolution long terme du trait de côte, nous avons utilisé le modèle **ShorelineS**, développé récemment par IHE Delft et Deltares. Il décrit l'action des vagues sur le littoral de façon simplifiée. Le trait de côte est représenté par un enchaînement de points définissant des sections de côtes. Ces sections peuvent être ouvertes ou fermées et peuvent interagir entre elles. Le modèle accepte une grande quantité de solutions incluant des ondulations de la côte, la formation de langues de sable, la migration d'îles, la fusion de deux sections de côtes, la formation de tombolos, etc. De récents développements ont permis d'inclure des processus complémentaires (présence de structures, interactions plage-dune, interaction avec des bassins tidaux...) nécessaires à la simulation d'évolutions du trait de côte sur des échelles décennales, compte tenu de l'impact du changement climatique et des pressions anthropiques sur le littoral.

Plusieurs formulations pour le transport sont possibles dans le modèle ShorelineS. La formulation proposée par le CERC a été utilisée ici (USACE, 1984 ; Roelvink et al. 2020) :

$$Q_s = b H_{s0}^{\frac{5}{2}} \sin(2\varphi_{loc}) \quad (1)$$

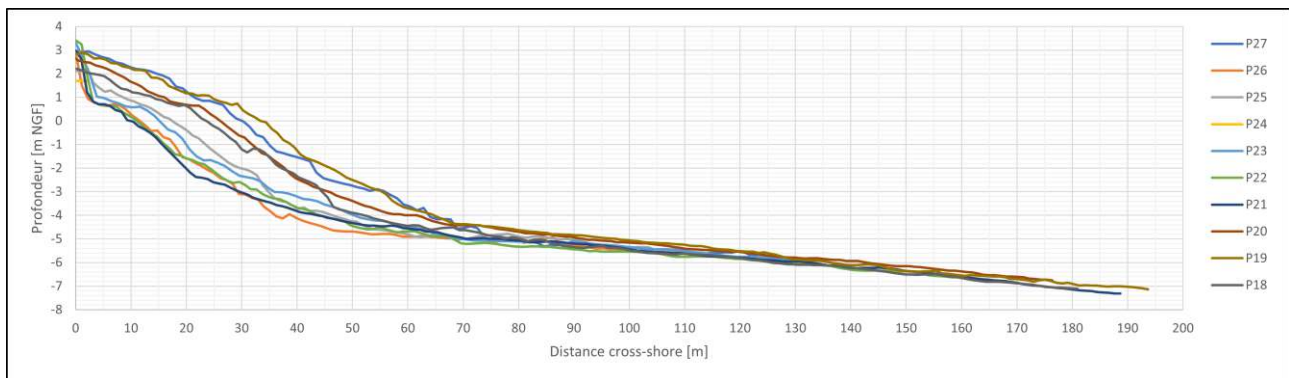
avec  $Q_s$  le transport longitudinal [ $m^3/an$ ],  $b$  le facteur de calibration (natif),  $H_{s0}$  la hauteur significative des vagues au large [m] et  $\varphi_{loc}$  l'incidence des vagues au large. Dans l'approche suivie dans cette étude, nous avons fait le choix d'utiliser les caractéristiques de houle à la côte (par propagation depuis le large avec TOMAWAC, cf. §4.3.2 - ) pour le calcul des transports, et non les caractéristiques du large – le facteur de calibration étant adapté en conséquence.

Dans un premier temps, une simulation de la période 1996-2004 est réalisée afin de calibrer le modèle. Cette période est postérieure à la construction de l'épi. A la suite de cette calibration, la projection long-terme du trait de côte estimé en 2019 à l'horizon 2050 a été calculée par le modèle. L'emprise spatiale s'étend de la marina Baie des Anges au Nord au port Vauban d'Antibes au Sud.

### 4.3 - Entrants du modèle

#### 4.3.1 - Paramètres d'entrée

Le modèle nécessite plusieurs paramètres d'entrée. Par hypothèse, le transport longitudinal a lieu entre la hauteur de berme et la profondeur de fermeture. La différence entre la hauteur de berme et la profondeur de fermeture définit la hauteur du profil actif, zone d'action des vagues sur le transport sédimentaire. Ces deux grandeurs sont définies en analysant les profils de plages sur différents transects. La Figure 11 présente la profondeur selon les différents profils situés autour de l'épi des Maurettes (Figure 13). Les données topobathymétriques affichées proviennent du Litto3D et sont exprimées par rapport à la référence verticale IGN69 (NGF).



**FIGURE 11 – ELEVATION DU FOND [MNGF] EN FONCTION DE LA DISTANCE CROSS-SHORE, LE LONG DES TRANSECTS P18 A P27**

On peut constater sur ces profils la zone où la pente de la plage peut varier spatialement et où les profils se rejoignent. Ainsi, la hauteur de berme est fixée à environ +2.5 mNGF et la profondeur de fermeture à -6 mNGF (en cohérence avec l'étude SOGREAH-2009, et la formule empirique d'Hallermeier-1981).

Pour calibrer la formule (1) du CERC, dans ShorelineS, un paramètre de calibration alternatif ( $q_{scal}$ ) – en facteur de cette formule – est utilisé préférentiellement au paramètre natif  $b$  (fixé lui-même à 2150).

La montée du niveau de la mer dû au changement climatique (*Sea Level Rise, SLR*) est prise en compte dans les simulations avec un taux constant d'évolution. Pour notre étude, on considère +0.24 m d'évolution entre l'échéance 2019 et l'horizon 2050. L'érosion qui en résulte est calculé suivant la règle de Bruun (1962), en considérant une pente de plage de 10%. La règle de Bruun prévoit un recul d'autant plus important que la pente est faible. La valeur de 10% est donc conservative par rapport aux pentes des plages du littoral considéré (10 à 15%).

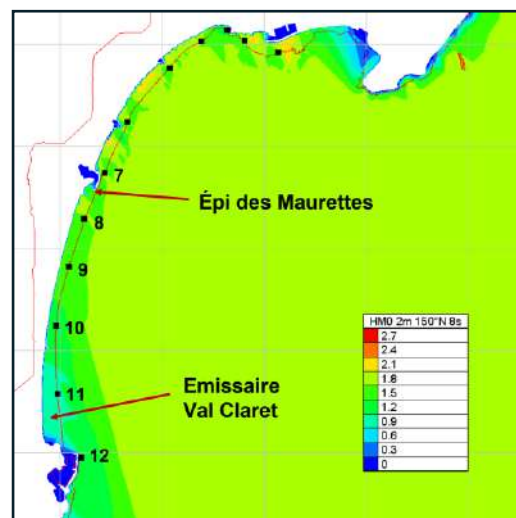
Les épis (Maquettes et Brague) sont pris en compte et considérés comme fixes sur la période de modélisation (pas de modification de leur morphologie/emprise).

Enfin, la côte est discrétisée avec une résolution de 10 m et le pas de temps est fixé à 1 jour. Les forçages de vagues disponibles toutes les heures sont agrégés pour être représentatifs sur une journée, sur la base d'une équivalence énergétique.

#### 4.3.2 - Forçages

En ce qui concerne les forçages du modèle, les vagues au large ont été propagées jusqu'à la côte via le modèle TOMAWAC de la suite TELEMAC. Pour le modèle ShorelineS, nous avons fixé plusieurs points d'extraction situés le long de l'isobathe -8mNGF, environ 100 m au-devant du trait de côte, et visibles sur la Figure 12.

Les données d'entrée du modèle TOMAWAC proviennent de la base de données ANEMOC-2 (1979-2010). Ces données ont été décrites précédemment (EGIS, 2022). Cette propagation a été mise en place afin d'avoir une meilleure représentation des caractéristiques des vagues à la côte. En particulier, la réfraction des vagues est mieux appréhendée à l'aide d'un modèle spectral tel que TOMAWAC plutôt qu'avec l'approche par défaut de ShorelineS (de type Snell-Descartes). Les séries temporelles utilisées par ShorelineS correspondent donc à la reconstruction des séries temporelles ANEMOC-2 à la côte.



**FIGURE 12 – LOCALISATION DES POINTS D'EXTRACTION DU MODELE TOMAWAC SITUÉS SUR L'ISOBATHE -8mNGF. LES 6 POINTS AU SUD SONT CEUX QUI ONT ÉTÉ RETENUS VIS-A-VIS DE L'EMPRISE DU MODELE**

Les prévisions à échéance 2050 réutilisent les chroniques passées (1988-2010) en intégrant une hausse du niveau marin dû au changement climatique de +7.7 mm/an (+24 cm à l'horizon 2050, scénario du GIEC SSP5-8.5).

### 4.3.3 - Définition des traits de côte

En entrée du modèle, il est indispensable de définir un trait de côte. Pour la partie calibration, le trait de côte de 1996 a été digitalisé depuis les photographies aériennes de la base de données IGN – Remonter le temps, préalablement géoréférencées (Figure 6). Afin de calibrer et valider le modèle sur une période suffisamment longue, le trait de côte de 2004 a été digitalisé suivant la même méthode. Enfin, pour mettre en place la projection à l'horizon 2050, le trait de côte de 2019 a également été digitalisé.

## 4.4 - Calibration du modèle

La calibration du modèle ShorelineS s'effectue en deux étapes :

- (1) Suite à l'estimation des transports sédimentaires nets, le facteur de calibration  $qscal$  est estimé grossièrement en minimisant l'écart entre ces valeurs et les résultats du calcul effectué par le modèle.
- (2) Après digitalisation des traits de côtes et l'estimation des évolutions le long de transects, la valeur du facteur de calibration  $qscal$  est affinée.

### 4.4.1 - Données de calibration/validation

Pour effectuer la calibration, il a été nécessaire d'estimer préalablement les évolutions du trait de côte (recul/avancée) et des flux de transport sédimentaire associés sur toute la zone.

#### 4.4.1.1 - Evolution du trait de côte selon des transects

Afin de quantifier l'évolution historique du trait de côte, nous avons défini des profils/transects le long du littoral entre la marina de la baie des Angès (Nord) et le port Vauban d'Antibes (Sud). Ce travail faisant suite à une étude effectuée par SOGREAH (2009) avec le logiciel GENESIS, nous avons suivi une méthode d'échantillonnage similaire pour les définir (Figure 13 et Figure 14). Les transects sont numérotés arbitrairement de 1 à 31 entre l'embouchure de la Brague et la marina de la baie des Angès.

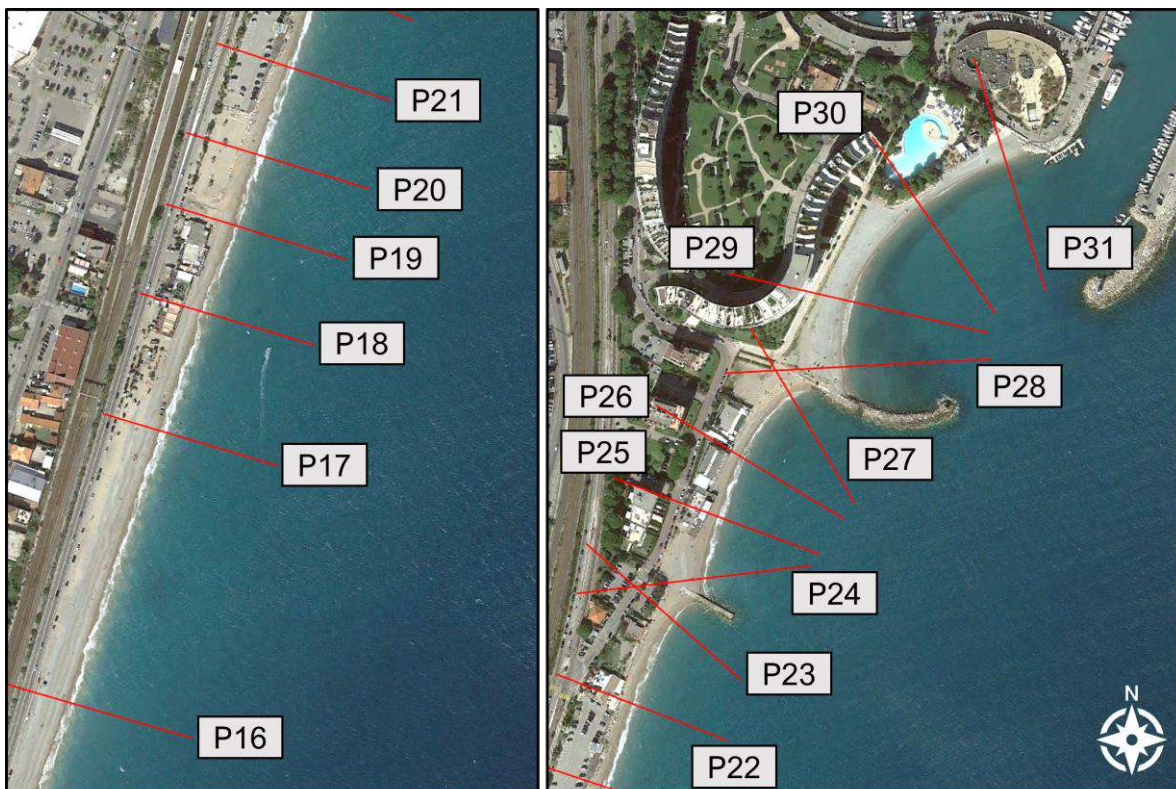


FIGURE 13 – POSITION DES PROFILS LE LONG DES PLAGES DES MAURETTES (P16-23), DE LA PIERRE AU TAMBOUR (P24-27) ET DE L'AMIRALE (P28-31)

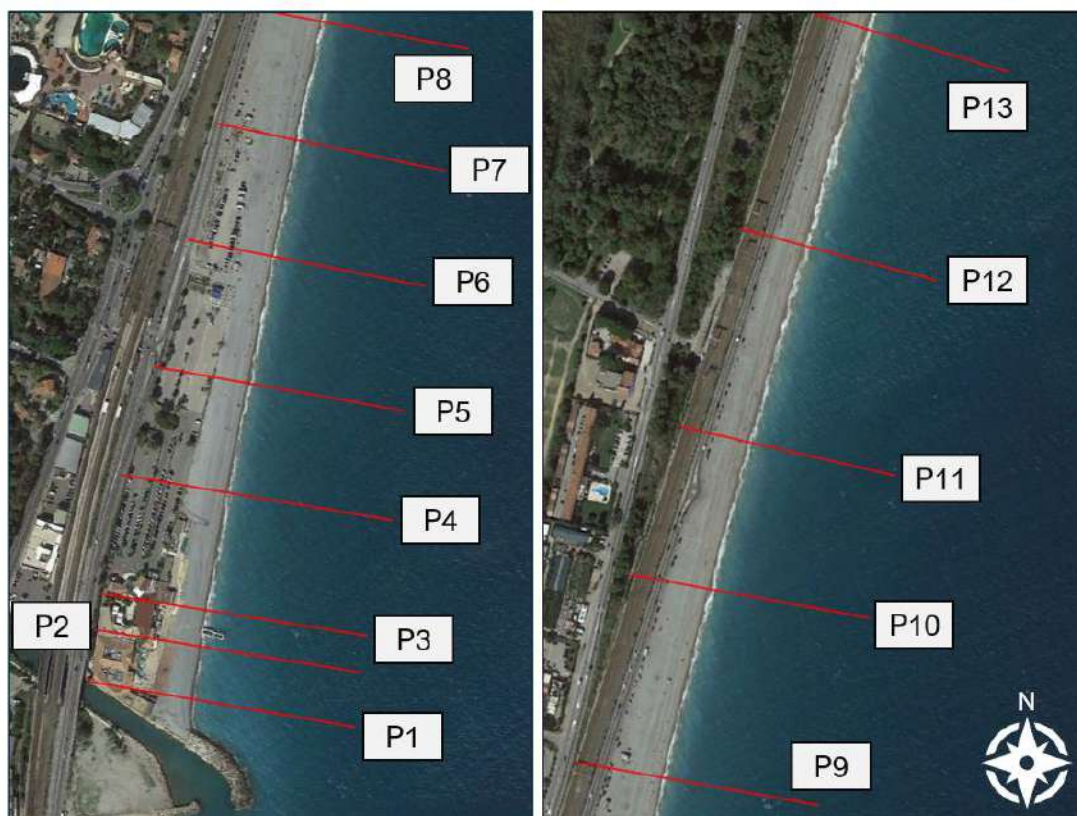
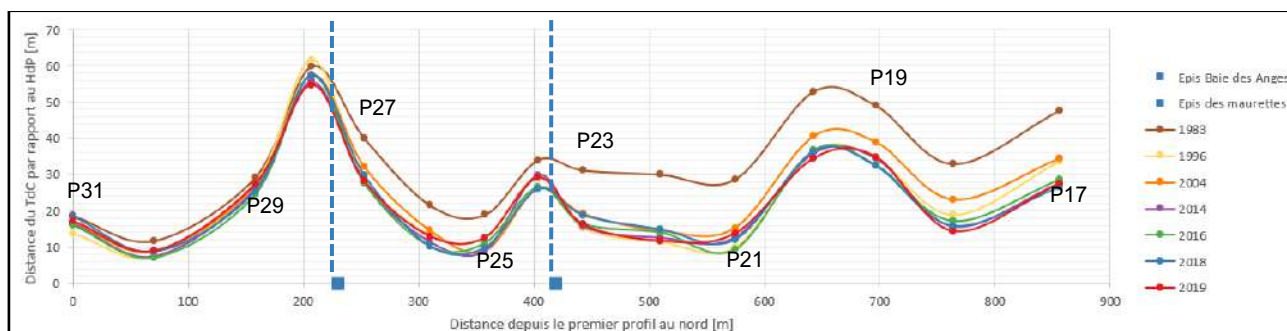


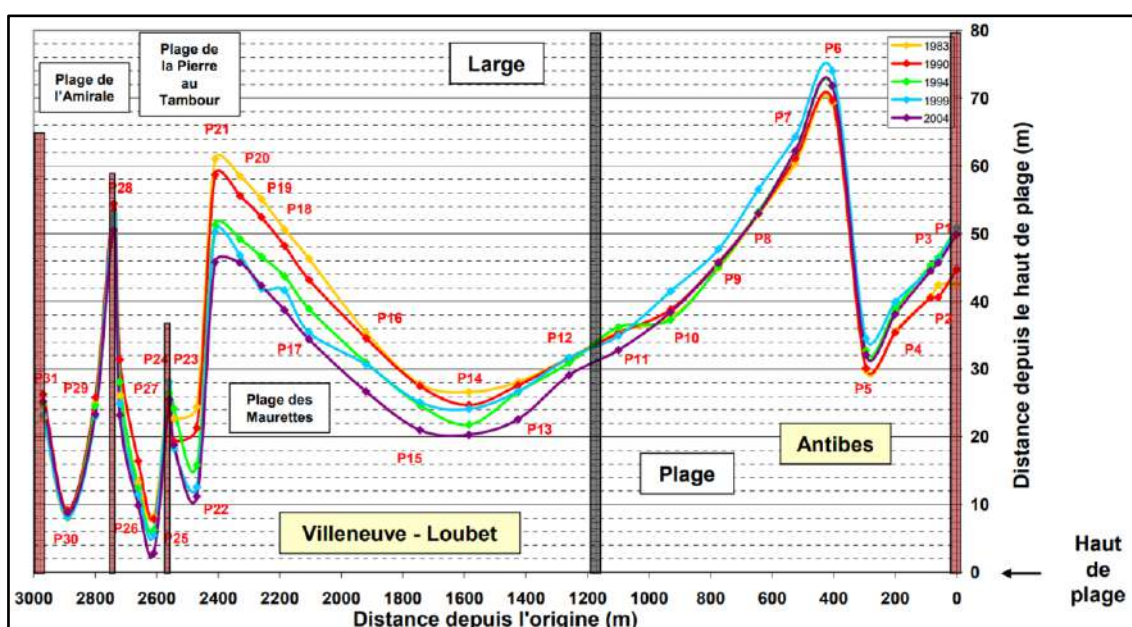
FIGURE 14 – POSITION DES PROFILS LE LONG DES PLAGES DE LA SIESTA (ANTIBES, P1-11) ET DE VAUGRENIER (P12-15)

A partir de ces profils et en définissant la position du haut de plage (HdP), fixe dans le temps, nous avons pu estimer la distance entre le HdP et le trait de côte (TdC), qui évolue dans le temps.

Les résultats de la présente étude (Figure 15) sont complémentaires sur les dates des résultats SOGREAH (2009, Figure 16). Globalement dans la zone d'étude (aux abords de l'épi des Maurettes), les taux d'évolution moyens pris en ces différentes dates ne dépassent pas 0.5 m/an (que ce soit une progression ou une régression du trait de côte).



**FIGURE 15 – EVOLUTION DU TRAIT DE COTE ENTRE 1983 ET 2019, POUR LES PROFILS P17 A P31 (LES TRAITES POINTILLES CORRESPONDENT A L'ÉPI MAURETTES ET A LA DIGUE SUD DE LA MARINA BAIE DES ANGES)**



**FIGURE 16 – EVOLUTION DU TRAIT DE COTE ENTRE 1983 ET 2004 (SOURCE : SOGREAH 2009)**

Plus spécifiquement, sur la période de calibration, le Tableau 3 présente les taux d'évolution du trait de côte entre 1996 et 2004 (négatif : recul ; positif : avancée). On constate entre ces deux dates un recul du trait de côte sur la majorité du littoral entre Villeneuve-Loubet et Antibes. Les taux d'évolution sont néanmoins relativement faibles (en moyenne sur la période et sur les différents transects : -0.2 m/an). Par ailleurs, cette valeur est cohérente avec les tendances calculées par l'AquaMonitor (<https://aqua-monitor.appspot.com>).

#### 4.4.1.2 - Estimation du transport selon les transects

Sur cette même période, les transports sont calculés par une règle simple visant à estimer le volume de sédiment  $V_s$  déplacé à partir de la hauteur de profil actif  $D$ , ici fixée à 8m, la tendance évolutive  $\Delta T$  selon le transect concerné et la distance d'application  $L$  :

$$V_s = D \times L \times \Delta T$$

On constate après ce calcul que le transport de sédiment sur cette côte est de l'ordre de 8000 m<sup>3</sup>/an sur environ 4 km. Ainsi, cela représente un transport moyen de 2 m<sup>3</sup>/m/an.

**TABLEAU 3 – TENDANCES EVOLUTIVES [M/AN] ET TRANSPORTS MOYENS [M3/AN] CALCULES LE LONG DES PROFILS DISPOSES LE LONG DU LITTORAL DE VILLENEUVE-LOUBET A ANTIBES, POUR LA PERIODE 1996-2004.**

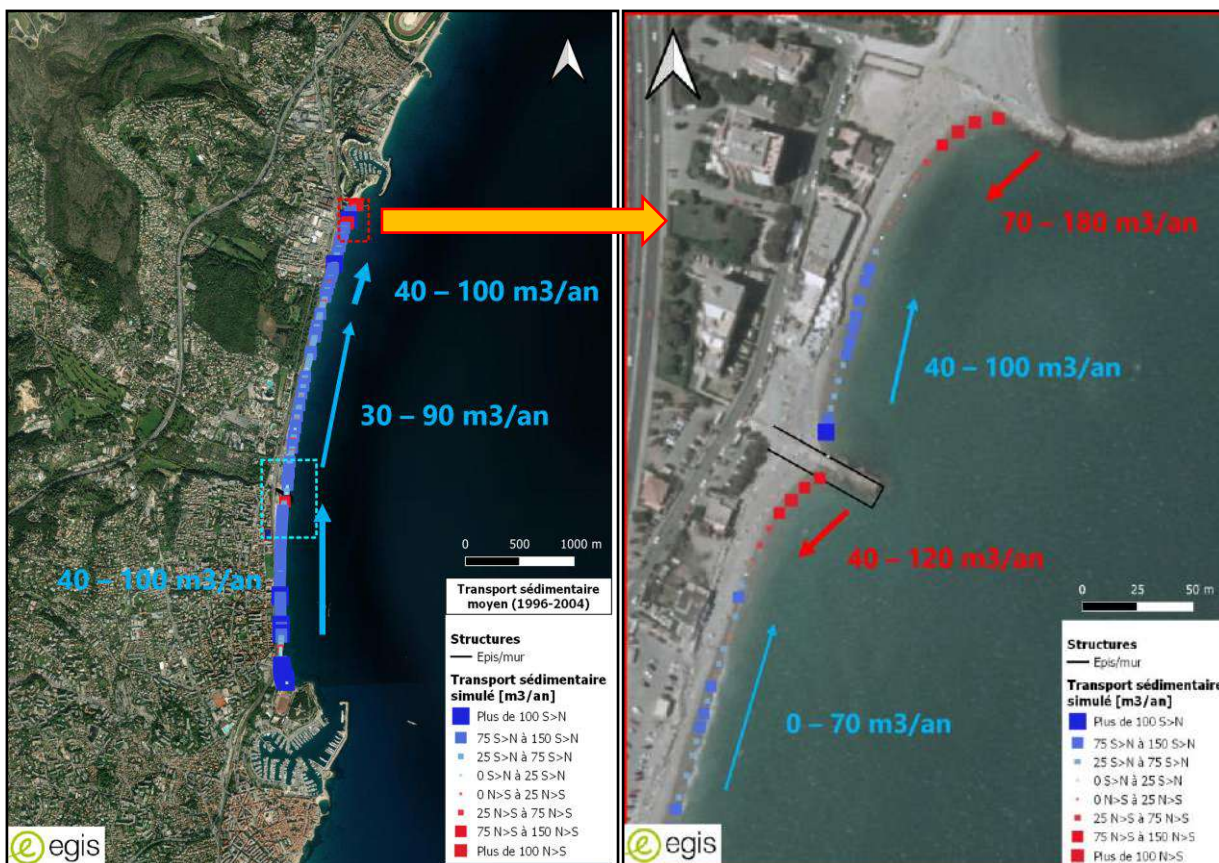
	Num. Profil	Distance à l'origine (m)	Distance application (m)	Tendance évolutive (m/an)	Evolution par profil (m3/an)	Totaux (m3/an)		
Plage de la Pierre au Tambour	27	19	37.5	-0.07	-20.00	-153	-8866	-8223
	26	75	51.5	-0.08	-33.88			
	25	122	47.5	-0.12	-46.02			
	24	170	41.5	-0.16	-52.75			
Plage des maurettes	23	205	51	-0.20	-90.27	-1186	-8866	-8223
	22	272	66	-0.04	-23.10			
	21	337	66.5	-0.16	-97.09			
	20	405	61	0.00	-1.83			
	19	459	61	-0.30	-165.92			
	18	527	80	-0.40	-285.60			
	17	619	150.5	-0.39	-522.24			
Plage de Vaugrenier	16	828	178.5	-0.35	-567.63	-2276	-8866	-8223
	15	976	161	-0.28	-407.33			
	14	1150	182.5	-0.12	-202.58			
	13	1341	194.5	-0.20	-350.10			
	12	1539	190	-0.44	-748.60			
Embouchure de la Brague à Villeneuve-Loubet	11	1721	157	-0.47	-670.39	-5251	-8866	-8223
	10	1853	151.5	-0.69	-940.82			
	9	2024	134	-0.48	-574.86			
	8	2121	102.5	-0.45	-417.18			
	7	2229	107	-0.42	-400.18			
	6	2335	110	-0.26	-258.50			
	5	2449	106.5	-0.19	-185.31			
	4	2548	102	-0.33	-301.92			
	3	2653	68.5	-0.45	-276.06			
	2	2685	40	-0.99	-355.20			
	1	2733	119.1	-0.81	-870.91			
Plage de la Fontonne	32	2923	216.4	0.47	815.74	-215	644	
	33	3166	272.1	0.13	278.10			
	34	3467	297.8	-0.11	-251.49			
	35	3762	291.0	-0.24	-558.68			
	36	4049	305.1	-0.20	-498.94			
Plage du Fort Carré	37	4372	196.7	0.52	818.46	859	644	
	38	4443	58.9	0.00	0.00			
	39	4489	23.3	0.22	40.35			

#### 4.4.2 - Transport sédimentaire le long du rivage

Afin de calibrer le modèle ShorelineS, des simulations préalables sont effectuées afin de quantifier au mieux la dérive littorale sur la période 1996-2004.

La Figure 17 représente ces taux de transport net entre la marina de la baie des Anges et Antibes, ainsi qu'un zoom sur la zone de projet. Les valeurs négatives indiquent un transport vers le Nord, majoritaire sur la zone. Le schéma de transport sédimentaire établi à partir du différentiel sur la période 1994-2004 par SOGREA (2009) indiquait quant à lui une dérive orientée vers le sud entre la marina Baie des Anges et l'embouchure de la Brague. L'orientation de la côte entre 1994 et 1996 a pu être différente (la comparaison entre ces deux images n'a pas pu être réalisée) et la climatologie de houle utilisée aussi.

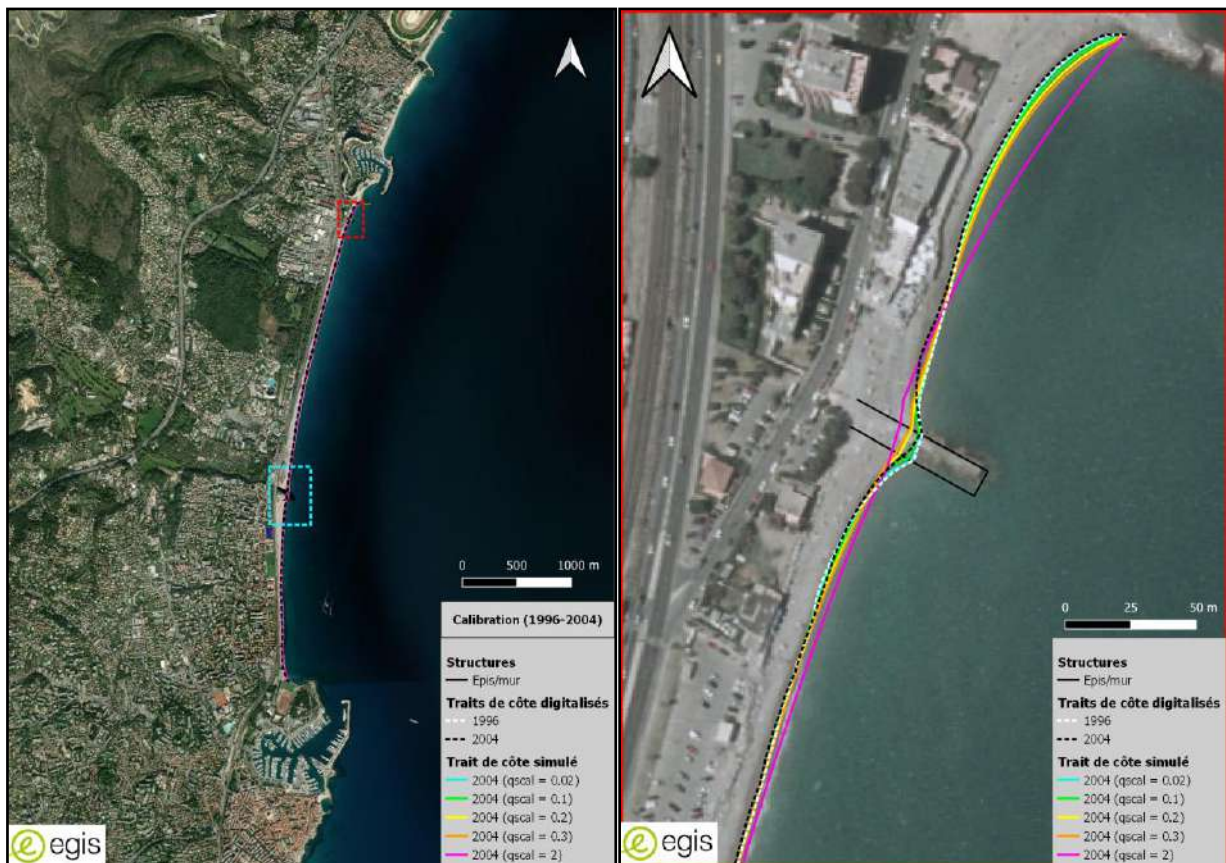
On peut noter, spécifiquement autour de l'épi des Maurettes, que les taux de transport nets (sur la période 1996-2004), bien que relativement faibles, sont quasi symétriques et divergent de part et d'autre de l'épi.



**FIGURE 17 – TRANSPORT SEDIMENTAIRE SIMULE [M3/AN] AVEC UN FACTEUR DE CALIBRATION QSCAL = 0.3, SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'APPLICATION DU MODELE (GAUCHE) ET AUTOUR DE L'EPIS DES MAURETTES (DROITE). LA DISCRETISATION SPATIALE DU MODELE EST DE 10M**

#### 4.4.3 - Evolution du trait de côte

La comparaison des flux de transport calculés par ShorelineS et des estimations (Tableau 3) permet une première estimation d'un facteur de calibration (résultats présentés au §0). Afin de vérifier/affiner cette valeur du coefficient de calibration, une comparaison visuelle entre la position du trait de côte calculé par ShorelineS et le trait de côte digitalisé est effectuée (Figure 18). Les flux de transport et les évolutions du trait de côte étant relativement faibles dans ce secteur, les différences observées à grande échelle ne permettent pas de préciser de façon complètement satisfaisante le facteur de calibration *qscal* (facteur multiplicatif dans l'équation 1). D'après le résultat présenté en Figure 18, une valeur de 0.1 ou 0.2 semble bien reproduire l'évolution du trait de côte autour de l'épi des Maurettes. Néanmoins, la valeur de 0.3 a finalement été conservée car celle-ci permet une meilleure correspondance avec les transports nets calculés précédemment, ainsi qu'une meilleure représentation globale des évolutions du trait de côte sur tout le littoral considéré. ShorelineS indique un trait de côte légèrement avancé vers le large au sud et au nord de la Pierre au Tambour par rapport à l'observation sur image satellite. Cette différence peut être en lien avec les courants giratoires dirigés vers le large dans cette zone (cf. résultats de l'étude hydro-sédimentaire) dont la dynamique n'est pas reproduite dans l'approche 1D de ShorelineS.



**FIGURE 18 – COMPARAISON DES TRAIT DE COTE DIGITALISES ET SIMULES AVEC DIFFERENTS FACTEUR DE CALIBRATION  $q_{scal}$  (ENTRE 0.02 ET 2), SUR L'ENSEMBLE DE LA ZONE D'APPLICATION DU MODELE (GAUCHE) ET AUTOUR DE L'EPIS DES MAURETTES (DROITE).**

#### 4.5 - Projection à l'horizon 2050

Une fois calibré, le modèle ShorelineS est appliqué pour simuler la position du trait de côte à l'horizon 2050 à partir du trait de côte de 2019, en réutilisant les forçages de vagues de la période 1988-2010, et en considérant la loi de Bruun pour estimer le recul du trait de côte dû au rehaussement du niveau marin en lien avec le changement climatique en prenant pour hypothèses une surélévation du niveau moyen de +7.7 mm/an et une pente de plage de 10%.

Deux scénarios d'épis sont considérés ici :

- (S1) l'épi des Maurettes n'est pas modifié (longueur actuelle),
- (S2) l'épi des Maurettes est complètement enlevé.

De 2019 à 2050 (période d'environ 30 ans), le modèle prévoit un recul de 10 à 15m, côté nord de l'épi (sud de la plage Pierre au Tambour), dans les deux configurations avec et sans épi.

**D'après ShorelineS (au regard de la dérive littorale), la présence de l'épi n'a que très peu (voire pas) d'influence sur l'évolution du trait de côte aux abords et à distance de ce dernier.**

Rq : Au sud de l'épi, ShorelineS prédit un recul du trait de côte de ~3m entre 2019 et 2050, soit une évolution d'environ 0.1m/an et dont près de 70% est lié au rehaussement du niveau marin.





**FIGURE 19 – PROJECTION LONG TERME DU TRAIT DE COTE (2019-2050), CALCULE AVEC LE MODELE SHORELINES (QSCAL = 0.3), POUR LES SCENARIOS S1 (VERT, AVEC EPIS) ET S2 (ROUGE, SANS EPIS)**

## 5 - RESUME ET DISCUSSION SUR LA LONGUEUR DE L'ÉPI AU REGARD DES ÉVOLUTIONS DES PLAGES ADJACENTES

La présente étude s'est basée sur l'analyse d'images aériennes historiques et satellites plus récentes, une modélisation hydro-sédimentaire en période tempête et une modélisation du trait de côte à échelle pluri-décennale pour estimer l'influence potentielle d'une reconfiguration de l'épi des Maquettes sur la morphologie des plages attenantes.

Il en ressort que, compte-tenu :

- Du faible apport actuel de sédiments dans le budget sédimentaire du site (en partie en lien avec la construction des ouvrages perpendiculaires le long du littoral depuis le Var, comme la marina Baie des Anges),
- De la relative stabilité du trait de côte ces dernières années (sauf éventuellement lors d'épisodes de tempête) – les plages restant très étroites dans le secteur,
- D'une faible dérive littorale quasi symétrique de part et d'autre de l'épi (qui permet le maintien d'une petite portion de plage),
- De l'effet d'ombre induit par l'épi sur les courants littoraux et le transport associé en amont et surtout aval dérive lors d'épisodes tempétueux,
- De l'absence d'impact à long terme et à distance de la présence de l'épi sur l'évolution du trait de côte,

et malgré une connaissance lacunaire de la dynamique des galets sur les plages, **il est suggéré de reconstruire l'épi avec sa longueur actuelle.**

Quant à la forme de l'exutoire, compte-tenu des occurrences significatives de dérive littorale dans un sens ou dans l'autre, il n'est pas conseillé a priori d'orienter l'exutoire dans un sens ou dans l'autre qui pourrait induire un calfeutrement par les sédiments transportés dans la zone de déferlement des vagues. Cette suggestion sera à confirmer par l'étude de dispersion et la prise en compte dans la conception d'affouillement potentiel.

## RÉFÉRENCES

Anthony E. J., Dubar M., Cohen O. (1998). « Les cordons de galets de la Baie des Anges : histoire environnementale et stratigraphique ; évolution morphodynamique récente en réponse à des aménagements ». *Géomorphologie*, vol. 4, n°2. pp. 167-187.

Brunel C. (2012). « Tempêtes et élévation marine sur les plages françaises de Méditerranée ». L'Harmattan, 285 pages.

EGIS (2022) : « Etude des conditions météo-océaniques et de modélisation numérique pour la reconstruction de l'épi du vallon des Maquettes ». Rapport technique, 122 pages.

Hallermeier R. J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering* 4: 253-277.

Fondasol (2023) : « Compte-rendu des investigations géotechniques autour de l'épi des Maquettes ».

Roelvink D., Huisman B., Elghandour A., Ghonim M. et Reyns J. (2020). « Efficient Modeling of Complex Sandy Coastal Evolution at Monthly to Century Time Scales ». *Frontiers in Marine Science* (7).

Site de la suite TELEMAC-MASCARET : <http://www.opentelemac.org/>

Sogreah (2009) : « Contrat de Baie d'Antibes à Cap d'Ail – Bilan, analyse et préconisations sur le phénomène érosif, fascicule n°3 : Villeneuve-Loubet ». Rapport technique, 94 diaporamas.

USACE (1984). « Shore Protection Manual ». *Coastal Engineering Research Center (Vol. 1)*. Washington, DC: US Army Corps of Engineers.

## 6 - ANNEXE :

### 6.1 - Vagues et contraintes sur le fond associées

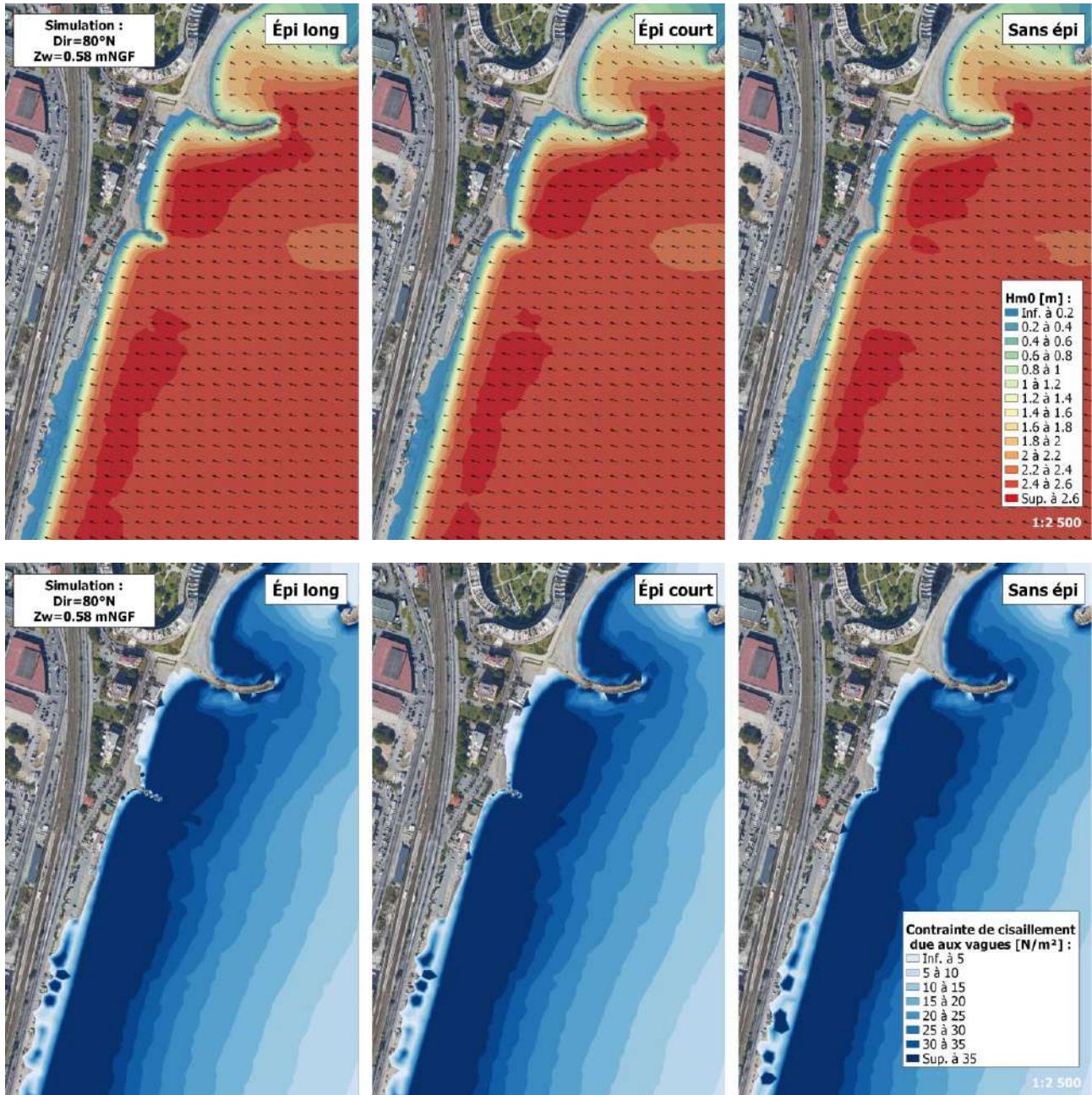


FIGURE 6-1 – (HAUT) REGIME DE VAGUES ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE D'EST ET NIVEAU ACTUEL

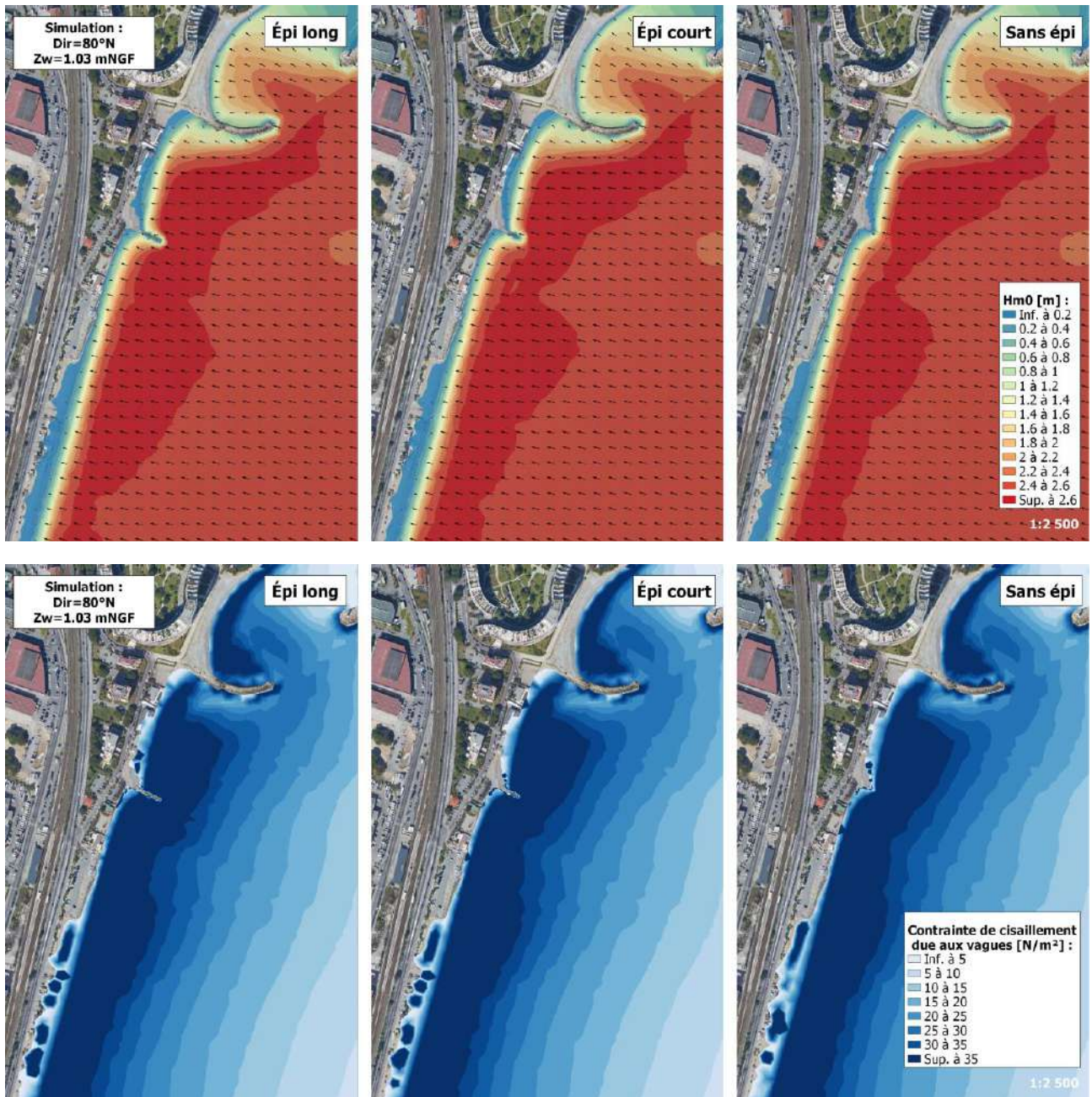


FIGURE 6-2 – (HAUT) REGIME DE VAGUES ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE D'EST ET NIVEAU 2075

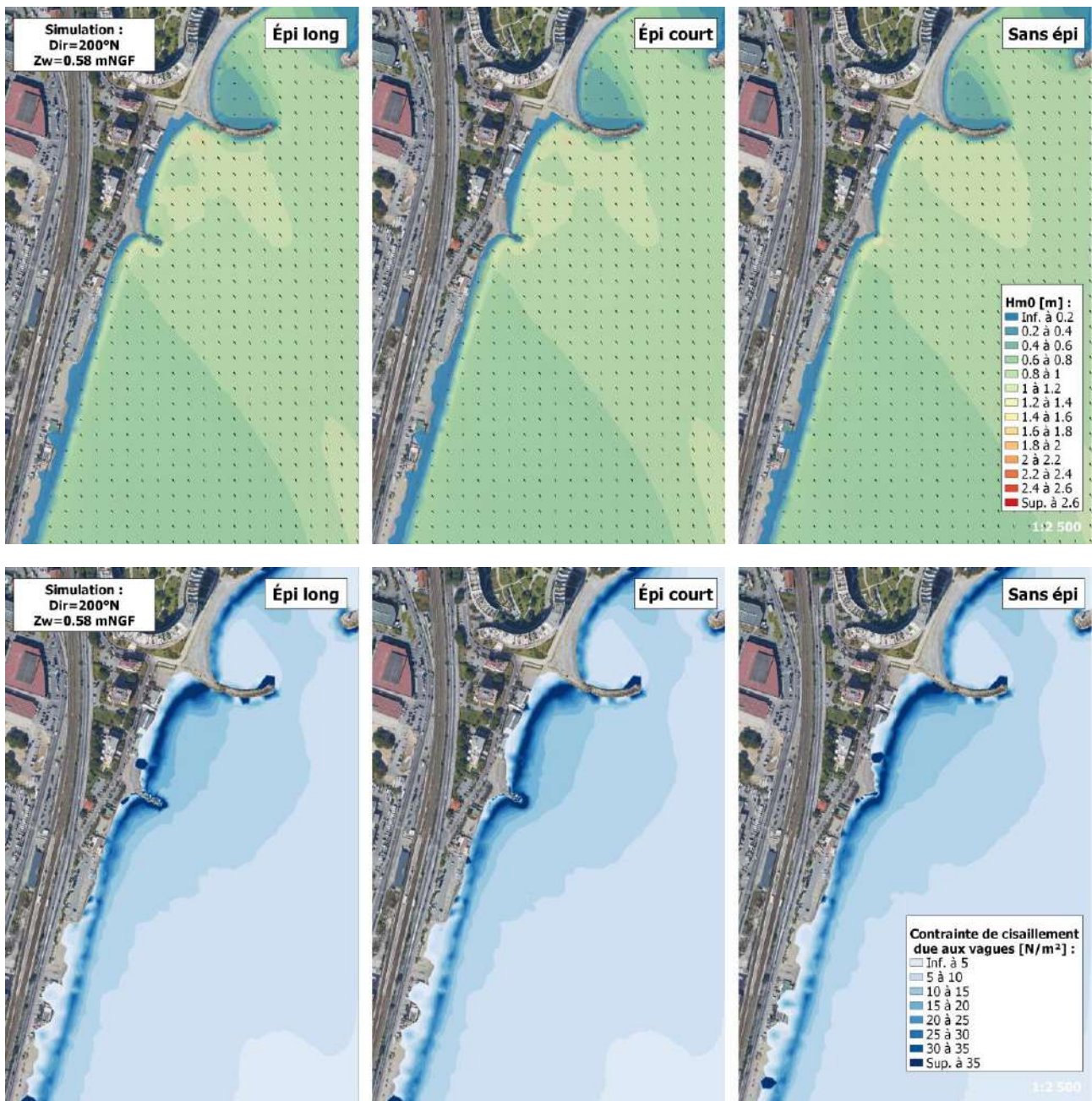


FIGURE 6-3 – (HAUT) REGIME DE VAGUES ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU ACTUEL

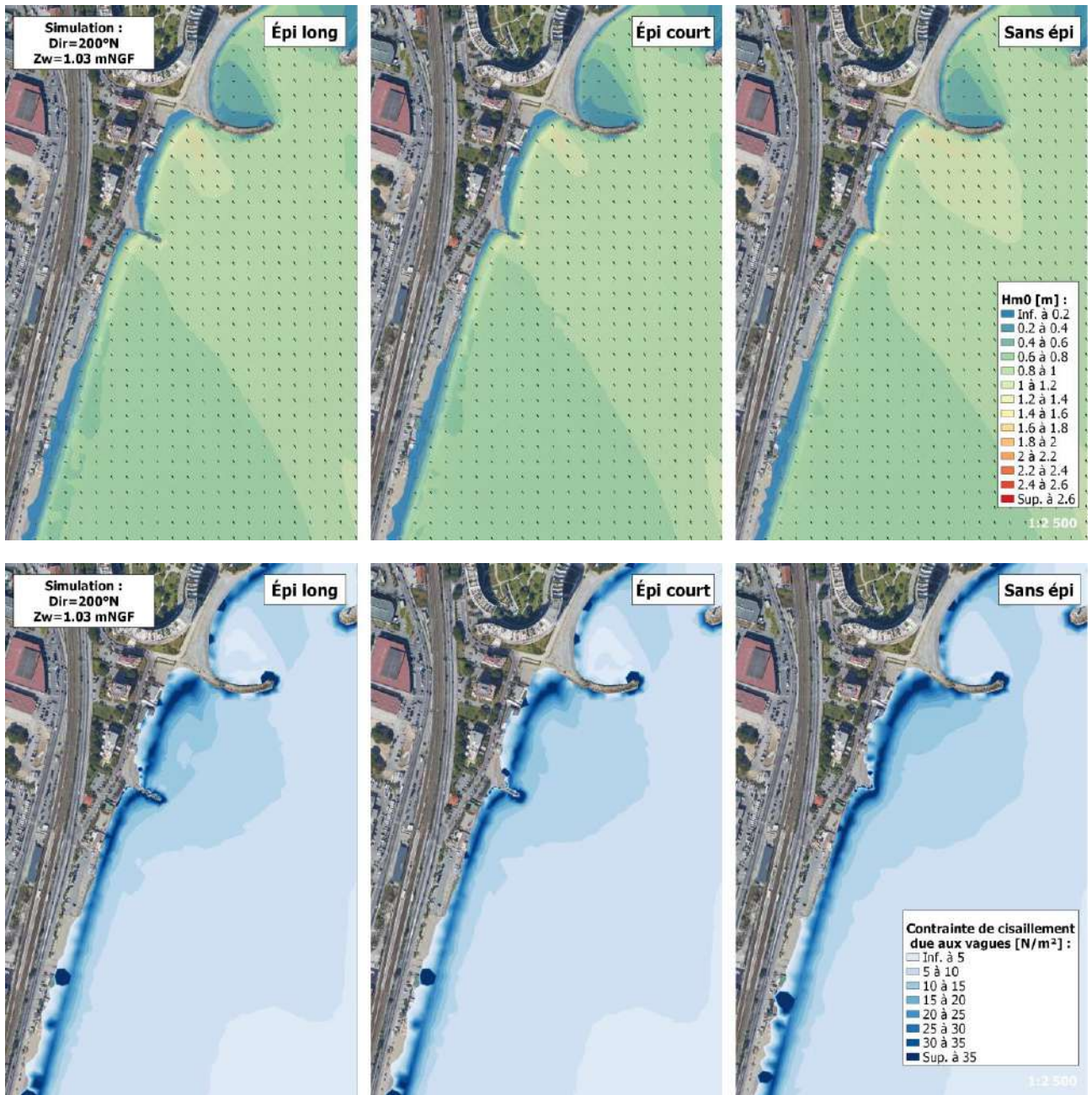


FIGURE 6-4 – (HAUT) REGIME DE VAGUES ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU 2075

## 6.2 - Courants et contraintes sur le fond associées

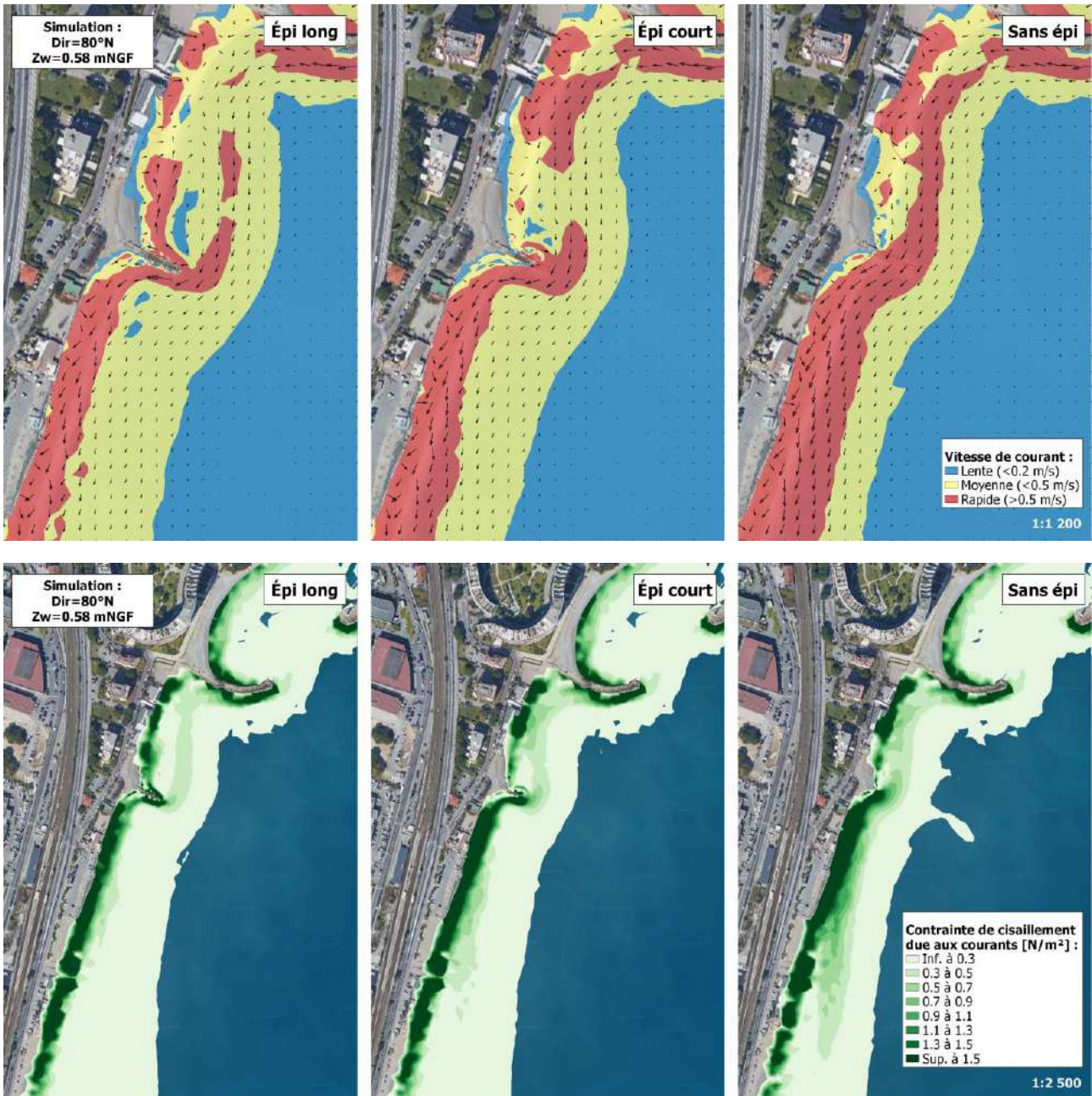


FIGURE 6-5 – (HAUT) COURANTOLOGIE ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE D’EST ET NIVEAU ACTUEL



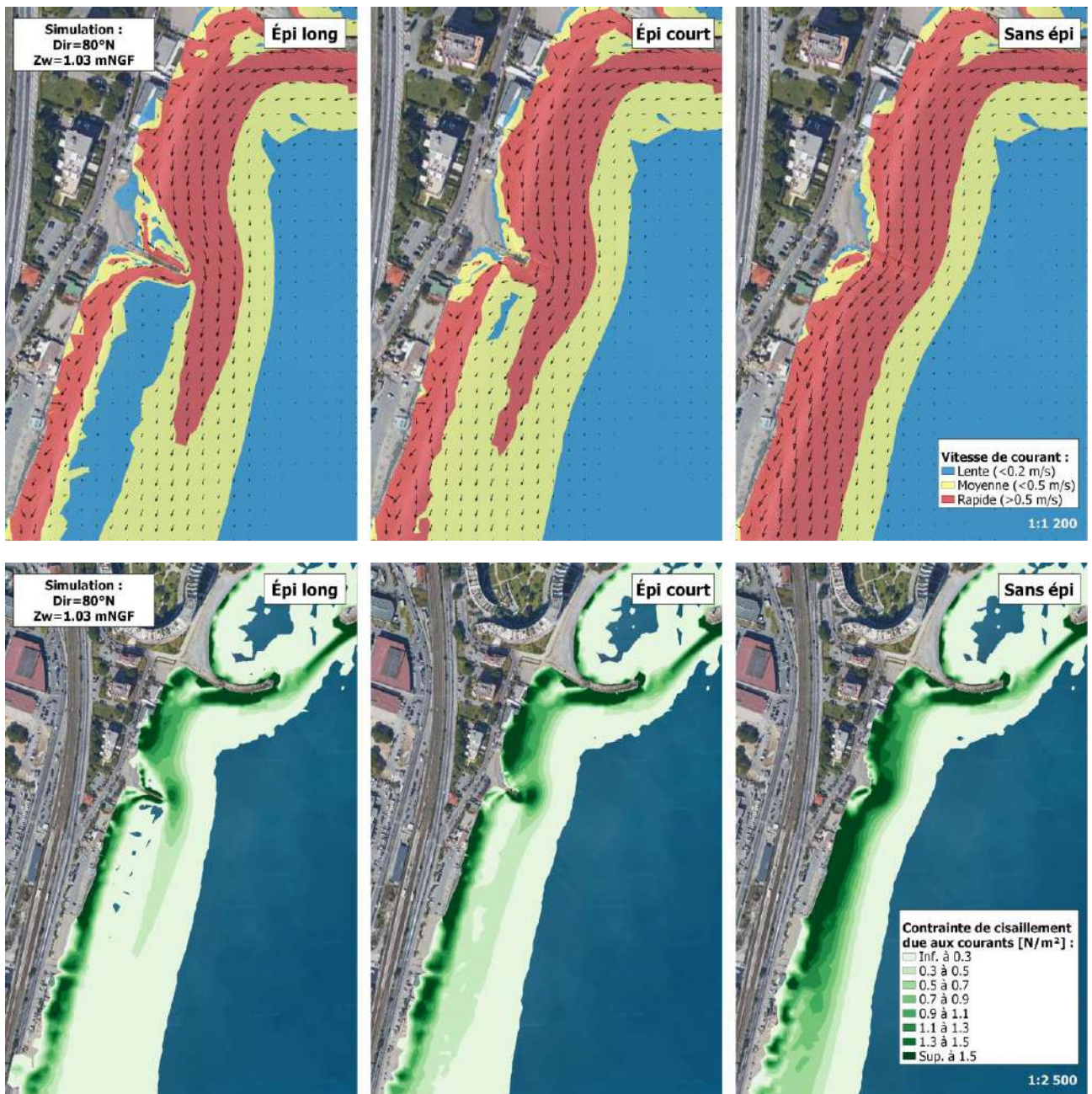


FIGURE 6-6 – (HAUT) COURANTOLOGIE ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE D’EST ET NIVEAU 2075

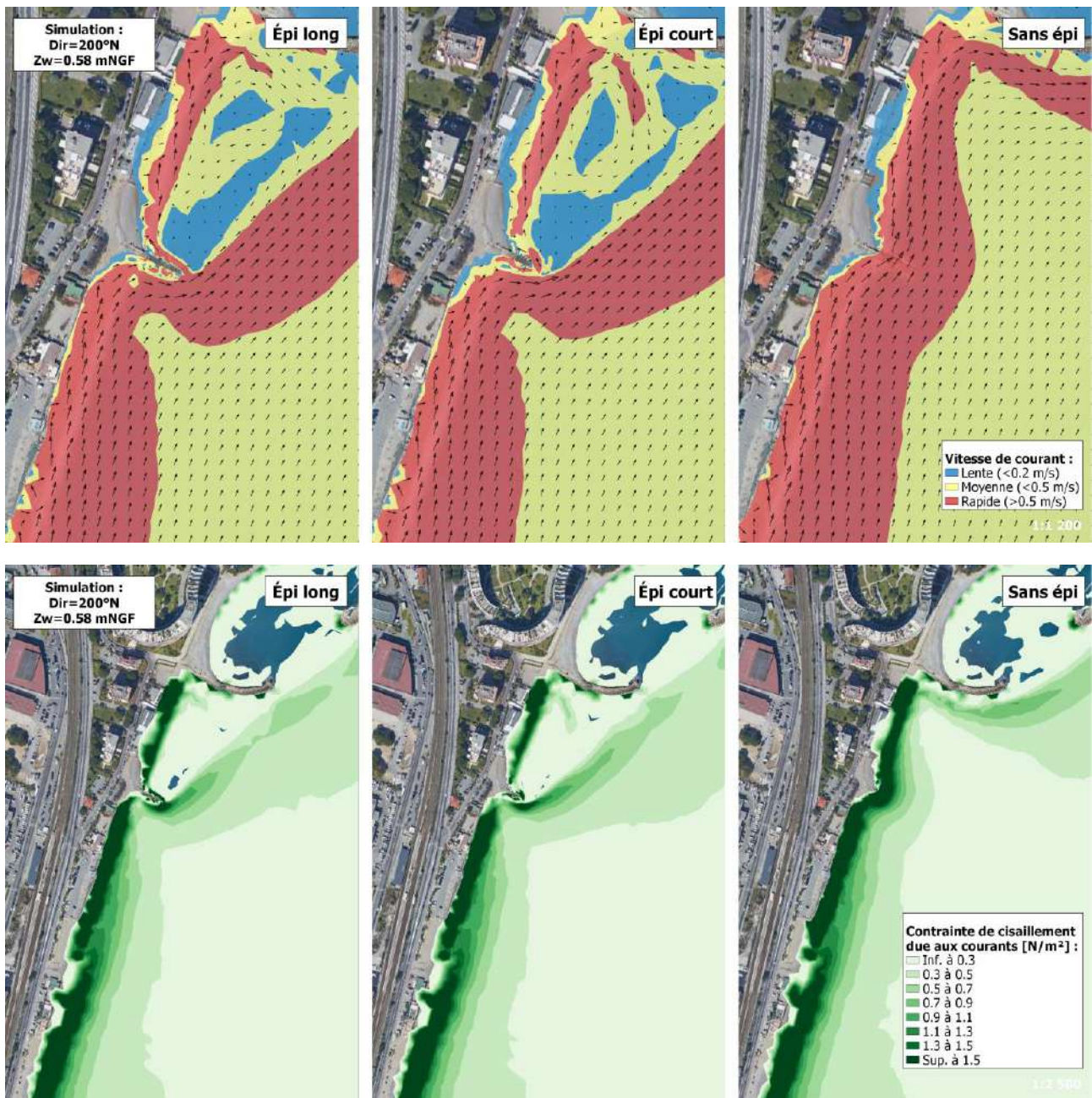


FIGURE 6-7 – (HAUT) COURANTOLOGIE ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU ACTUEL

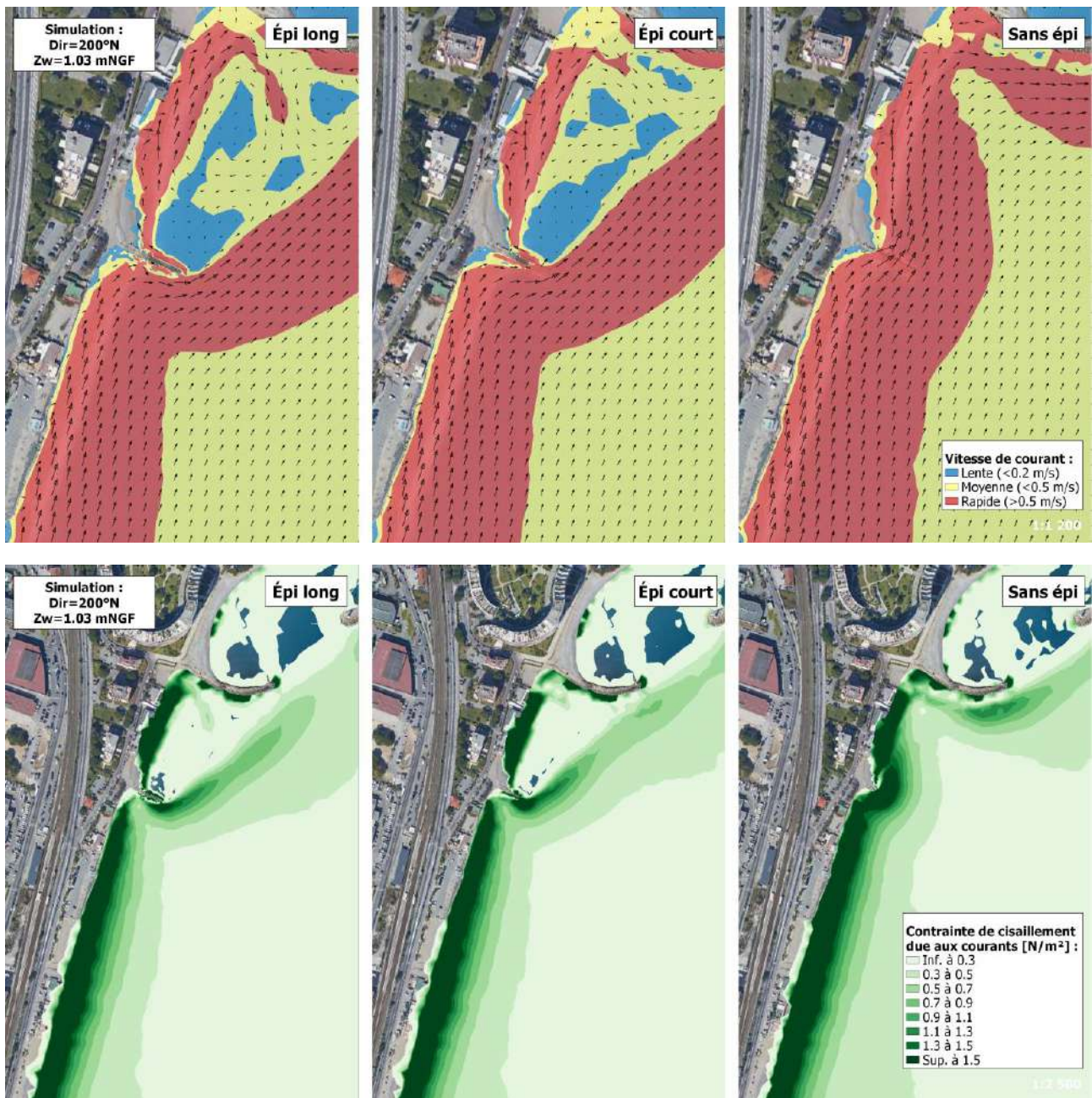


FIGURE 6-8 – (HAUT) COURANTOLOGIE ET (BAS) CONTRAINTES ASSOCIEES POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU 2075

### 6.3 - Taux de transport sédimentaire totale (charriage + suspension) pour différentes classes de sédiment

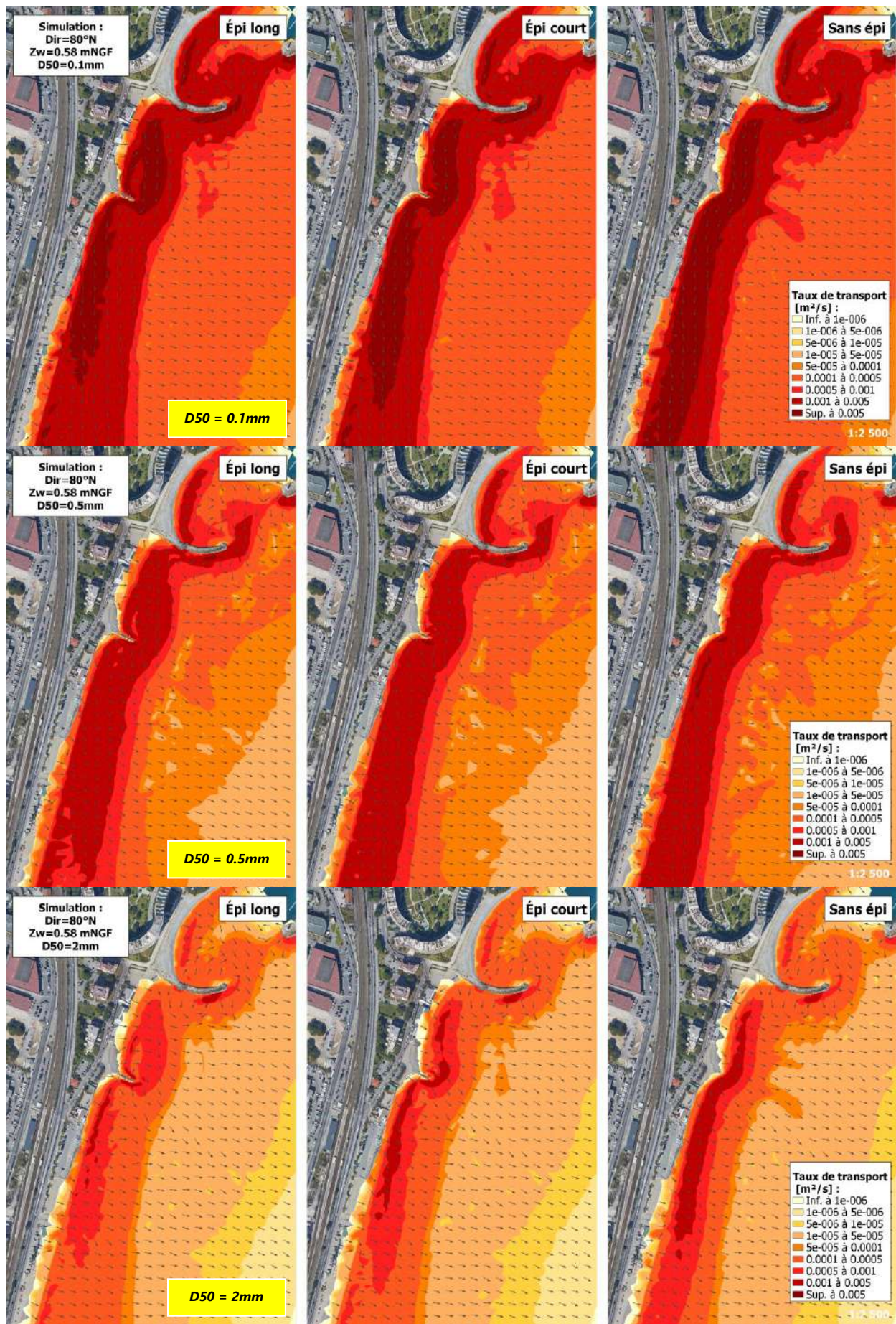


FIGURE 6-9 – TAUX DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE (MAGNITUDE ET DIRECTION) POUR UN FORÇAGE HOULE D'EST ET NIVEAU ACTUEL

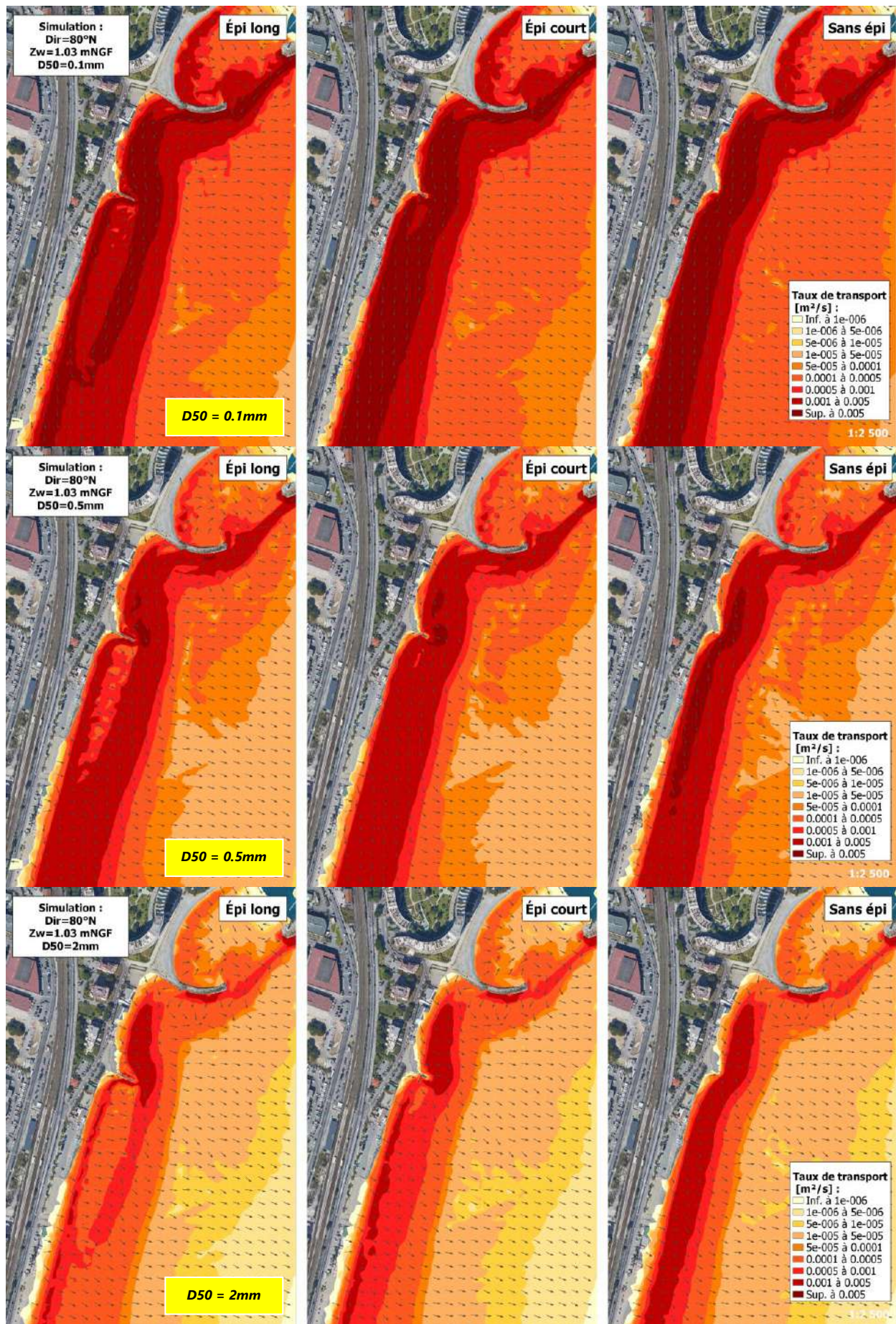


FIGURE 6-10 – TAUX DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE (MAGNITUDE ET DIRECTION) POUR UN FORÇAGE HOULE D'EST ET NIVEAU 2075

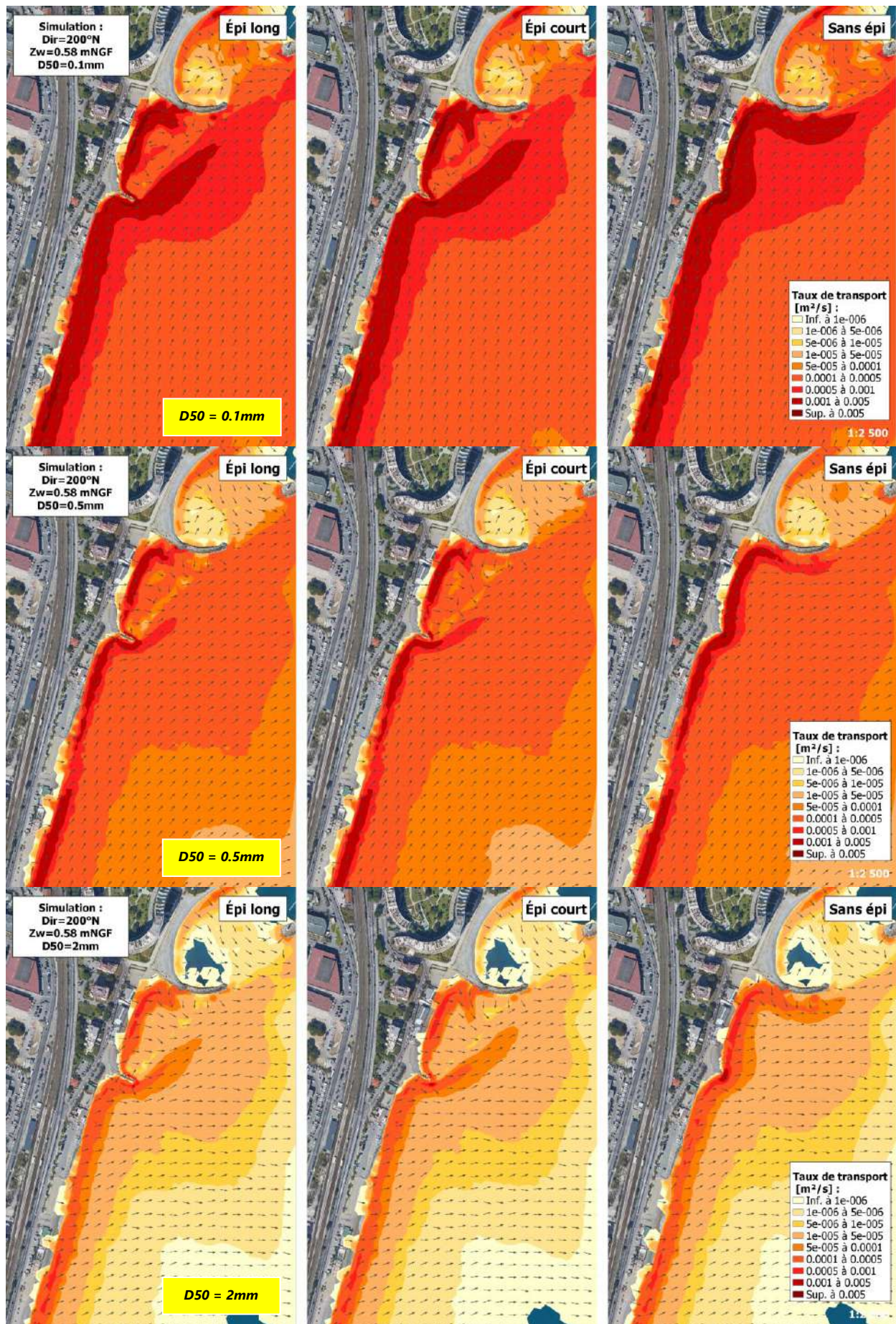


FIGURE 6-11 – TAUX DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE (MAGNITUDE ET DIRECTION) POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU ACTUEL

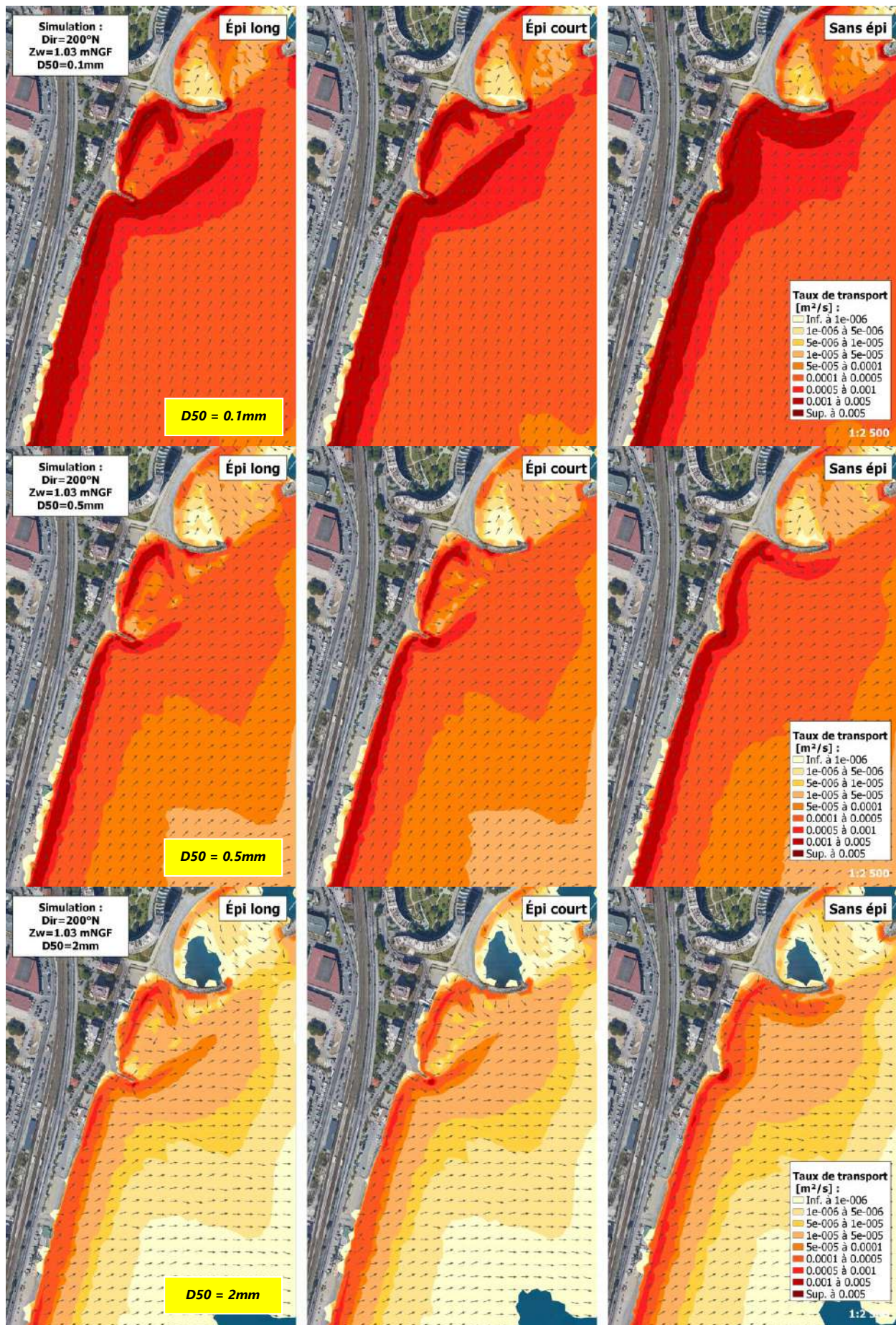


FIGURE 6-12 – TAUX DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE (MAGNITUDE ET DIRECTION) POUR UN FORÇAGE HOULE DE SUD ET NIVEAU 2075

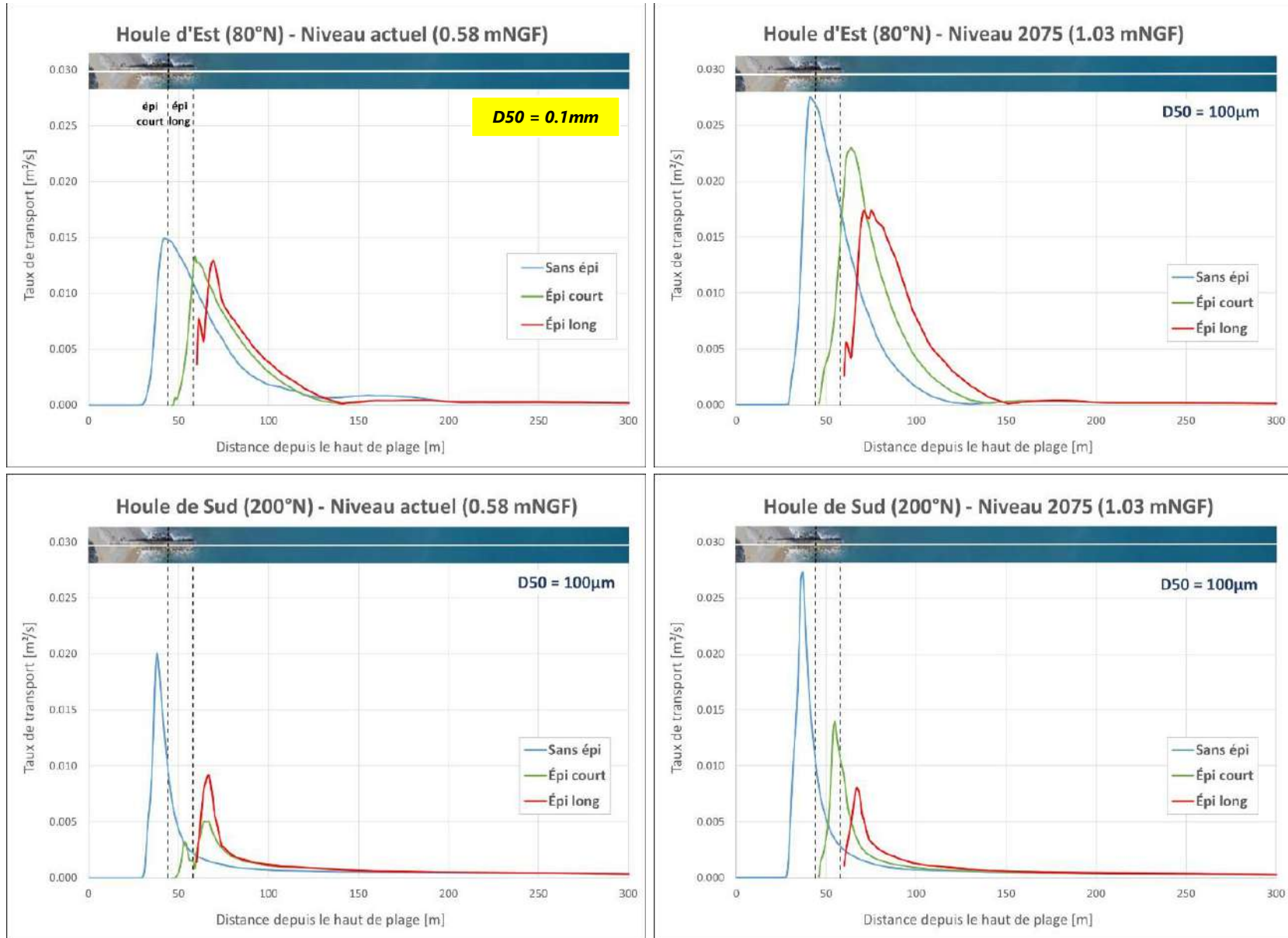


FIGURE 6-13 – COMPARAISONS DES PROFILS DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE LE LONG DE L'ÉPI POUR LES 4 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES – SEDIMENTS FINS



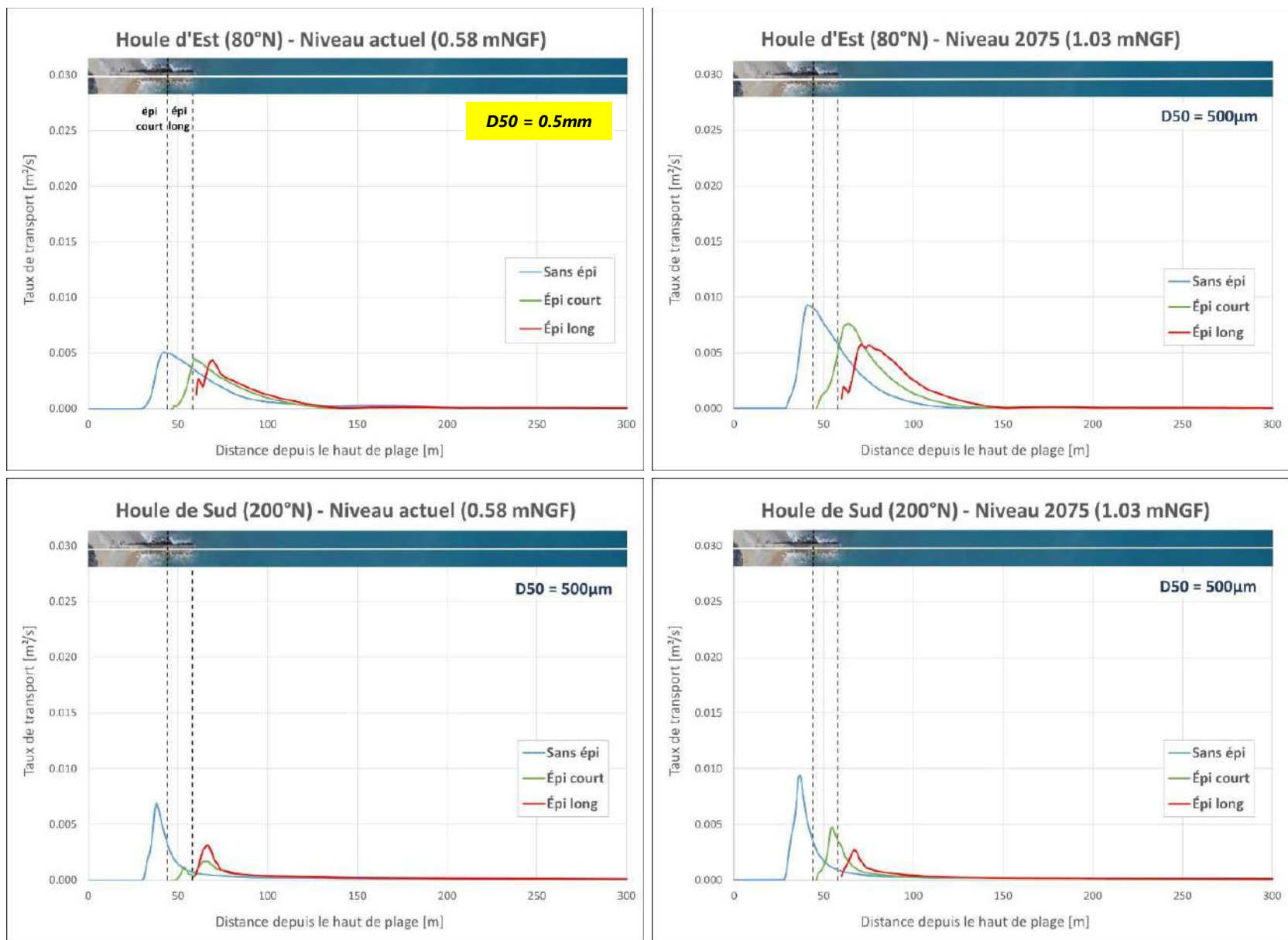


FIGURE 6-14 – COMPARAISONS DES PROFILS DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE LE LONG DE L'ÉPI POUR LES 4 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES – SEDIMENTS MOYENS

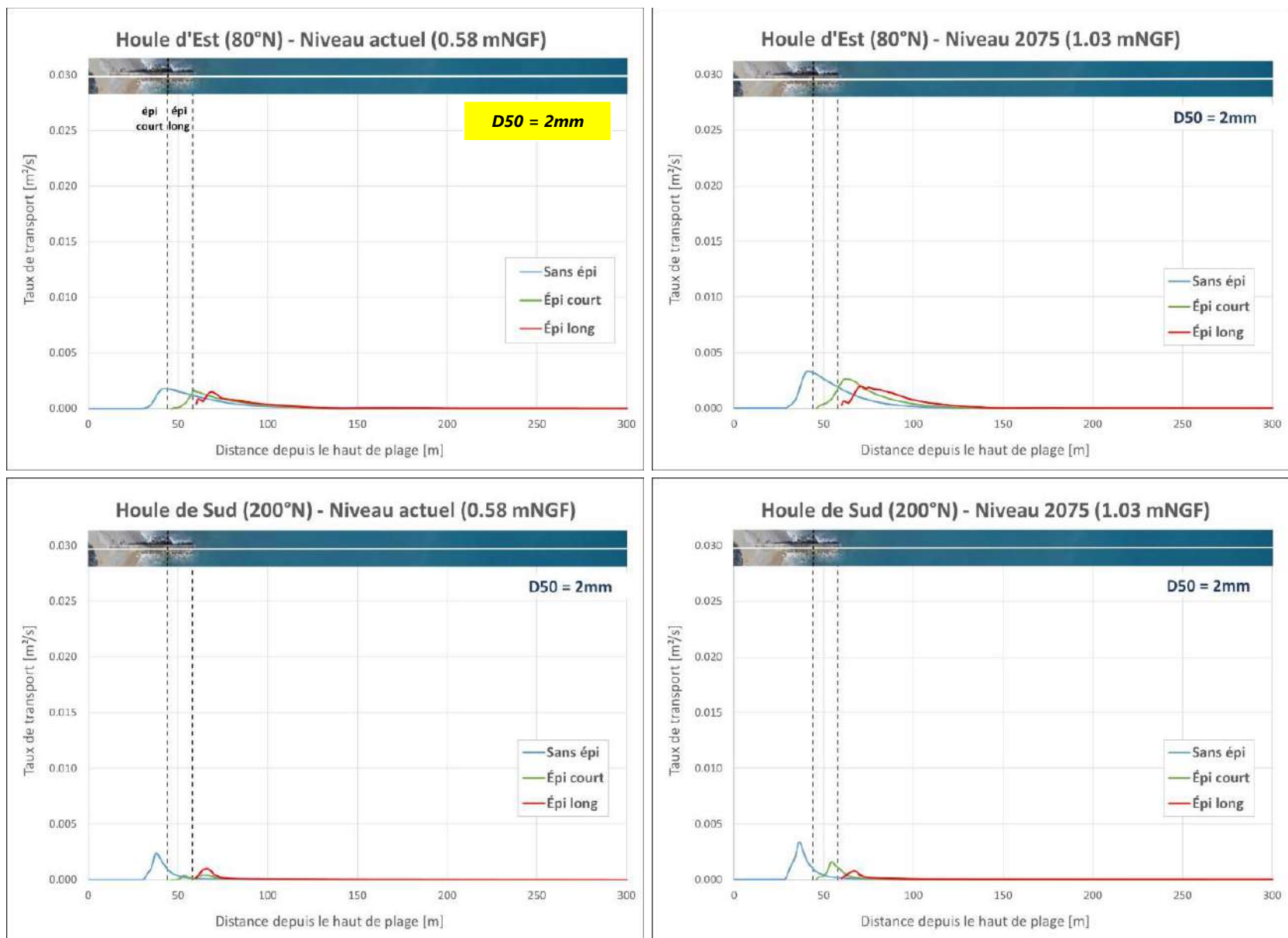
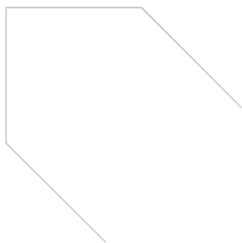


FIGURE 6-15 – COMPARAISONS DES PROFILS DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE LE LONG DE L'ÉPI POUR LES 4 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES – SEDIMENTS GROSSIERS



**Egis Water & Maritime**

[www.egis-group.com](http://www.egis-group.com)



# MISSION OP3

## MODELISATION POUR LA RECONSTRUCTION DE L'EPI DU VALLON DES MAURETTRES

23 octobre 2023



# SOMMAIRE

---

<b>1 – OBJET DE L'ETUDE.....</b>	<b>3</b>
<b>2 – PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE.....</b>	<b>4</b>
2.1 Construction du modèle.....	4
2.2 Condition limite .....	6
2.3 Prise en compte du débordement en amont de la D6007 .....	7
2.4 Calage du modèle.....	7
<b>3 ETAT INITIAL.....</b>	<b>10</b>
3.1 Liste des scénarios étudiés.....	10
3.2 Résultats des simulations .....	10
<b>4 ETAT PROJET.....</b>	<b>12</b>
4.1 Présentation du scénario d'aménagement.....	12
4.2 Résultats des simulations .....	18

# 1 – OBJET DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude est de réaliser une modélisation hydraulique sur le vallon Maquettes. Ce vallon draine des bassins versants majoritairement urbanisés avant de déboucher sur la mer par le biais d'un épi qui est rapidement obstrué lors d'évènement pluvieux.

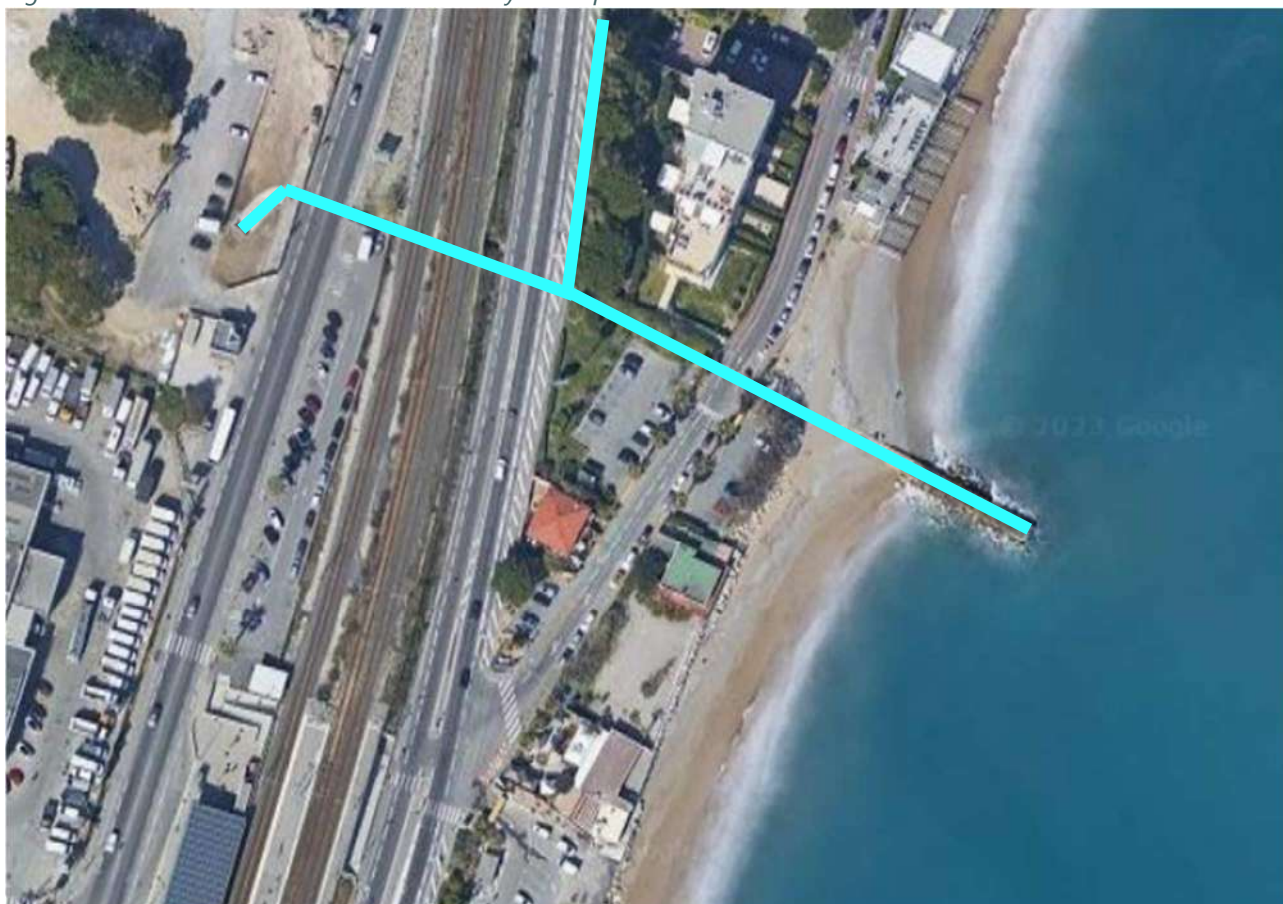
Une étude hydraulique a été réalisée en décembre 2020 par Suez pour le compte de la communauté d'agglomérations Sophia Antipolis dont le but était de rétablir la continuité hydraulique du vallon Maquette et Pierre à Tambour pour une crue d'occurrence décennale. Etude nommée « étude [1] » par la suite.

Recalibrage des ouvrages cadres des vallons de La Pierre à Tambour et Maquettes sous la R.D 6007 et requalification de l'exutoire Allée Nollis

**Mission complémentaire : Analyse hydraulique des vallons de Maquettes et Pierre à Tambour en aval de la RD6007**

L'objectif de la présente étude est de reprendre et compléter la simulation du vallon par des propositions d'aménagements afin d'améliorer la situation notamment au niveau de l'épis et de l'ouvrage avenue de la Batterie. Après discussion, la conduite issue du vallon des Cavaliers a également été ajoutée au modèle. La carte de localisation du secteur modélisée est présentée ci-après.

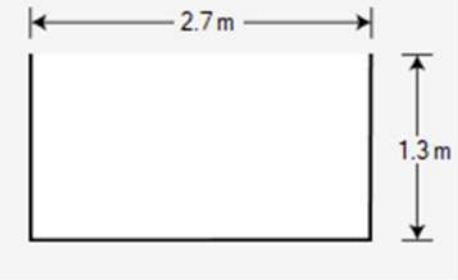
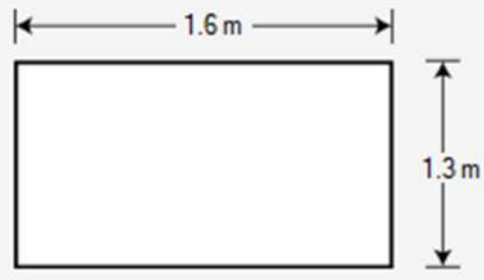
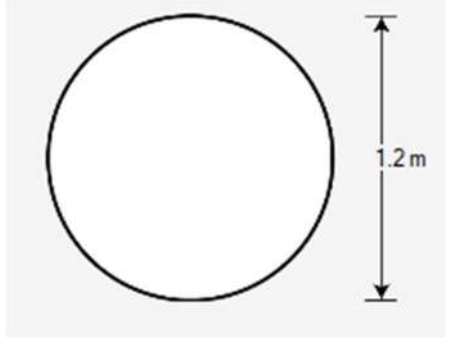
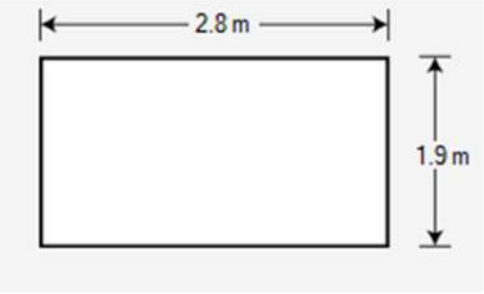
Figure 1 : Carte de localisation du modèle hydraulique



## 2 – PRESENTATION DU MODELE HYDRAULIQUE

### 2.1 Construction du modèle

Le logiciel utilisé est PC-SWMM qui est adapté aux calculs de réseaux enterrés. Il a été réalisé à partir des données topographiques fournies par OPSIA. Ces données topographiques permettent d'obtenir la cote radier des sections et le diamètre des conduites. Le tableau ci-après présente des exemples des différentes formes des sections retenues.

Cadre à surface libre		Sous boulevard Georges Pompidou	
Sous voie ferré		Epis en mer	

A chacune de ces sections a été attribuées un coefficient de rugosité ainsi que des pertes de charge pour les ouvrages. Il a été attribué à chaque jonction sous PC-SWMM un numéro permettant d'identifier les secteurs. Le modèle avec les numérotations est présenté page suivante.



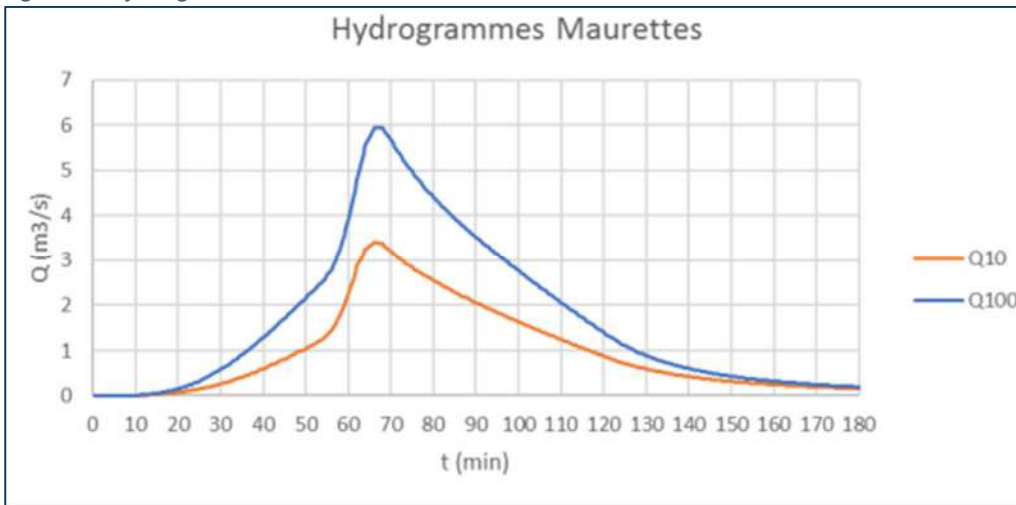
Figure 2 : topologie du modèle sous PCSWMM



## 2.2 Condition limite

Les hydrogrammes pour les périodes de retour 10 ans et 100 ans sont utilisés en condition limite amont. Ils sont repris de l'étude [1].

Figure 3: Hydrogrammes utilisés en condition limite amont



L'hydrogramme pour une période de retour 50 ans est extrapolé à partir des deux hydrogrammes présentés ci-dessus. D'après l'instruction technique 77 un ratio Q10/Q50 de 1.6 est à prendre et de 2 pour Q10/Q100. D'après les hydrogrammes précédents le ratio Q10/Q100 est de l'ordre de 1.8 soit légèrement inférieur à ce qui est préconisé. Afin d'être cohérent le ratio 1.6 a été minoré à 1.4 pour Q50.

Le débit de pointe obtenu pour le vallon Maurettes pour 50 ans est de  $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Un apport supplémentaire a également été ajouté sur le vallon des Cavaliers. Celui-ci reprend les hydrogrammes fournies par Cereg adaptés à la durée d'évènement des hydrogrammes de l'étude [1]. L'apport pour Q50 du vallon a été calculé avec un coefficient de 1.4 par rapport à Q10.

Le débit de pointe obtenu pour le vallon des Cavaliers pour 50 ans est de  $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La conditions aval sera définie par les niveaux de mer déterminés par la modélisation numérique de la houle de la présente étude. Ces valeurs intègrent notamment la prise en compte du changement climatique à horizon 2075. Pour rappel les valeurs calculées sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Synthèses des niveaux extrêmes (incluant surélévation du changement climatique) - Egis 2023

Tr[ans]	Niveau extrême (marée+surcote) [mNGF]	SLCC 2075[m] (AR6, SSP5-8.5)	Niveau total avec SLCC [mNGF]
1	0.58	0.45	1.03
5	0.66	0.45	1.11
10	0.69	0.45	1.14
20	0.72	0.45	1.17
50	0.76	0.45	1.21
100	0.8	0.45	1.25

Il est prévu de prendre en compte 3 cotes marines :

- T=10 ans → cote marine = 0.69 NGF
- T=100 ans → cote marine = 0.8 NGF
- T=100 ans CC ( CHANGEMENT CLIMATIQUE ) → cote marine = 1.25 NGF

## 2.3 Prise en compte du débordement en amont de la D6007

Les modélisations sont réalisées en prenant en compte les débordements qui peuvent se produire en amont de la D6007. La même hypothèse a été prise dans l'étude [1].

## 2.4 Calage du modèle

Le modèle a été calé sur la base du modèle HEC-RAS réalisé par Suez. Pour cela Egis a réutilisé les mêmes coefficients de rugosité sur les profils (0.0167) et les mêmes pertes de charge aux niveaux des ouvrages.

Les conditions limites utilisées par Suez sont une côte de mer de 1.4m NGF en sortie et une injection d'hydrogramme Q10. Cette côte de mer à 1.4 mNGF sera utilisée uniquement pour le calage du modèle, par la suite les niveaux de mer étudiés seront 0.69 mNGF, 0.8 mNGF et 1.25 m NGF. Les résultats obtenus entre les deux modèles ont été par la suite comparé aux niveaux des jonctions présentées précédemment.

Figure 4 : localisation des points de contrôle / regards



Figure 5 : Tableau de comparaison entre le modèle HEC-RAS et PC-SWMM

crue	10 ans		écart m	
	étude [1]	egis 2023		
paramètre unité	Zmax NGF	Zmax NGF		
1	4.4	4.35	-0.05	
2	4.41	4.34	-0.07	
3	4.42	4.34	-0.08	OH D 6007
4	4.05	3.99	-0.06	
5	4.05	3.97	-0.08	
6	4.06	4.02	-0.04	OH SNCF
7	3.35	3.35	0.00	
8	3.33	3.33	0.00	OH rte front de mer
9	3.19	3.21	0.02	
10	3.16	3.19	0.03	
11	2.39	2.47	0.08	OH route
12	1.87	1.85	-0.02	
13	1.73	1.58	-0.15	
14	1.38	1.7	0.32	

Les résultats des deux modèles sont similaires avec des écarts de plus ou moins quelques centimètres. Cependant la partie aval du modèle n'est pas cohérente avec le modèle HEC-RAS. Elle correspond à la zone sous influence de la marée, c'est-à-dire l'ouvrage et l'épis en mer qui doivent être réaménagés. Egis propose une modification du coefficient de Strickler pour ajuster les écarts plus significatifs en aval (points 13 et 14) et les petits décalages en amont ainsi que l'ajout de perte de charge.

Les nouveaux résultats sont présentés ci-après.

Figure 6 : cotes max calculées aux points de contrôle / regards



Figure 7: Tableau de comparaison entre le modèle HEC-RAS et PC-SWMM avec modifications de Strickler

crue	10 ans		écart m	
	étude [1]	egis 2023		
paramètre unité	Zmax NGF	Zmax NGF		
1	4.4	4.38	-0.02	
2	4.41	4.37	-0.04	
3	4.42	4.34	-0.08	OH D 6007
4	4.05	4.05	0.00	
5	4.05	4.09	0.04	
6	4.06	4.08	0.02	OH SNCF
7	3.35	3.35	0.00	
8	3.33	3.32	-0.01	OH rte front de mer
9	3.19	3.2	0.01	
10	3.16	3.17	0.01	
11	2.39	2.4	0.01	OH route
12	1.87	2	0.13	
13	1.73	1.76	0.03	
14	1.38	1.46	0.08	

Avec ces modifications les résultats sont plus cohérents avec ceux du modèle de l'étude [1].

**Le modèle est considéré comme étant calé sur les résultats de l'étude [1].**

### 3 ETAT INITIAL

#### 3.1 Liste des scénarios étudiés

Les scénarios modélisés combinent les états actuel et projet, les périodes de retour 10, 50 et 100 ans ainsi que les 3 conditions aval.

Tableau 2 : liste des scénarios modélisés

Vallon des Maurettes	Conditions amont = hydrogramme	Conditions aval	Nb
Etat <b>initial</b>	Q10	T=10 ans = 0.69 NGF	1
	Q10	T= 100 ans = 0.8 NGF	2
	Q50	T=10 ans = 0.69 NGF	3
	Q50	T= 100 ans = 0.8 NGF	4
	Q100	T=10 ans = 0.69 NGF	5
	Q100	T= 100 ans = 0.8 NGF	6
	Q100	T=100 ans CC = 1.25 NGF	7
Etat <b>projet</b>	Q10	T=10 ans = 0.69 NGF	8
	Q10	T= 100 ans = 0.8 NGF	9
	Q50	T=10 ans = 0.69 NGF	10
	Q50	T= 100 ans = 0.8 NGF	11
	Q100	T=10 ans = 0.69 NGF	12
	Q100	T= 100 ans = 0.8 NGF	13
	Q100	T=100 ans CC = 1.25 NGF	14

#### 3.2 Résultats des simulations

L'état initial est modélisé pour les scénarios 1 à 7.

Les résultats sont présentés sous forme de tableau des cotes maximales calculées et de profil en long en annexe.

On constate :

- Une influence de la marée nulle en dehors de l'épis en mer en raison de l'altimétrie des collecteurs existants. L'influence n'est visible qu'au plus fort de l'évènement au niveau de l'épis ;
- Le changement climatique entraîne une hausse de la mer de +45cm qui se répercute directement dans l'épis en mer ;
- La différence de côte entre un évènement centennal et décennal est principalement localisée sur la partie amont du modèle avec une hausse d'environ 10cm de la ligne d'eau. Cela est dû au fait que l'ouvrage de la D6007 est limitant. Le même débit passe en aval pour 10 et 100 ans et on obtient les mêmes cotes maximales.
- Le volume débordé en amont de la D6007 est de 1.800 m<sup>3</sup> pour 10 ans, 2.100 m<sup>3</sup> pour 50 ans et de 21.000 m<sup>3</sup> pour 100 ans.

Tableau 3 : comparaison des côtes en état initial pour les différents scénarios

crue	10 ans			50 ans			100 ans				
scénario	1	2	2 - 1	3	4	4 - 3	5	6	5- 6	7	7 - 5
Z aval	0.69 NGF	0.8 NGF		0.69 NGF	0.8 NGF		0.69 NGF	0.8 NGF		1.25 NGF	
paramètre	Zmax	Zmax	écart	Zmax	Zmax	écart	Zmax	Zmax	écart	Zmax	écart
unité	NGF	NGF	m	NGF	NGF	m	NGF	NGF	m	NGF	m
1	4.38	4.38	0.00	4.38	4.38	0.00	4.47	4.47	0.0	4.47	0.0
2	4.37	4.37	0.00	4.37	4.37	0.00	4.43	4.43	0.0	4.43	0.0
3	4.34	4.34	0.00	4.34	4.34	0.00	4.34	4.34	0.0	4.34	0.0
4	3.97	3.97	0.00	3.98	3.97	-0.01	3.97	3.97	0.0	3.97	0.0
5	3.95	3.95	0.00	3.96	3.95	-0.01	3.95	3.95	0.0	3.95	0.0
6	4	4	0.00	4.01	4.00	-0.01	4	4	0.0	4	0.0
7	3.17	3.17	0.00	3.17	3.17	0.00	3.17	3.17	0.0	3.17	0.0
8	3.16	3.16	0.00	3.16	3.16	0.00	3.16	3.16	0.0	3.16	0.0
9	3.05	3.05	0.00	3.05	3.05	0.00	3.05	3.05	0.0	3.05	0.0
10	3.03	3.03	0.00	3.03	3.03	0.00	3.03	3.03	0.0	3.03	0.0
11	2.27	2.27	0.00	2.27	2.27	0.00	2.27	2.27	0.0	2.27	0.0
12	1.96	1.96	0.00	1.96	1.96	0.00	1.96	1.96	0.0	1.96	0.0
13	1.81	1.81	0.00	1.81	1.81	0.00	1.81	1.81	0.0	1.81	0.0
14	0.9	0.94	0.04	0.90	0.94	0.04	0.9	0.94	0.04	1.42	0.52

Tableau 4 : comparaison entre les scénarios 10 ans et 100 ans

crue	10 ans	100 ans		10 ans	100 ans	
scénario	1	5	5 - 1	2	6	6 - 2
Z aval	0.69 NGF	0.69 NGF		0.69 NGF	0.8 NGF	
paramètre	Zmax	Zmax	écart	Zmax	Zmax	écart
unité	NGF	NGF	m	NGF	NGF	m
1	4.38	4.47	0.09	4.38	4.47	0.09
2	4.37	4.43	0.06	4.37	4.43	0.06
3	4.34	4.34	0.00	4.34	4.34	0.00
4	3.97	3.97	0.00	3.97	3.97	0.00
5	3.95	3.95	0.00	3.95	3.95	0.00
6	4	4	0.00	4	4	0.00
7	3.17	3.17	0.00	3.17	3.17	0.00
8	3.16	3.16	0.00	3.16	3.16	0.00
9	3.05	3.05	0.00	3.05	3.05	0.00
10	3.03	3.03	0.00	3.03	3.03	0.00
11	2.27	2.27	0.00	2.27	2.27	0.00
12	1.96	1.96	0.00	1.96	1.96	0.00
13	1.81	1.81	0.00	1.81	1.81	0.00
14	0.9	0.9	0.00	0.94	0.94	0.00

## 4 ETAT PROJET

### 4.1 Présentation du scénario d'aménagement

Un scénario d'aménagement a été proposé par la C.A.S.A pour résoudre les problèmes induit par l'ouvrage sous l'Avenue de la Batterie. Ce scénario prévoit un élargissement général de la partie aval du modèle et notamment de l'ouvrage sous l'avenue de la Batterie ainsi que de l'épis en mer. L'ouvrage passerait d'une section hydraulique de 1.92 m<sup>2</sup> à 3.05 m<sup>2</sup> ce qui pourrait accroître le débit capable.

Un profil en long ainsi que des coupes en travers de cet aménagement sont proposés ci-après.



Figure 8 : coupe longitudinale du projet d'exutoire

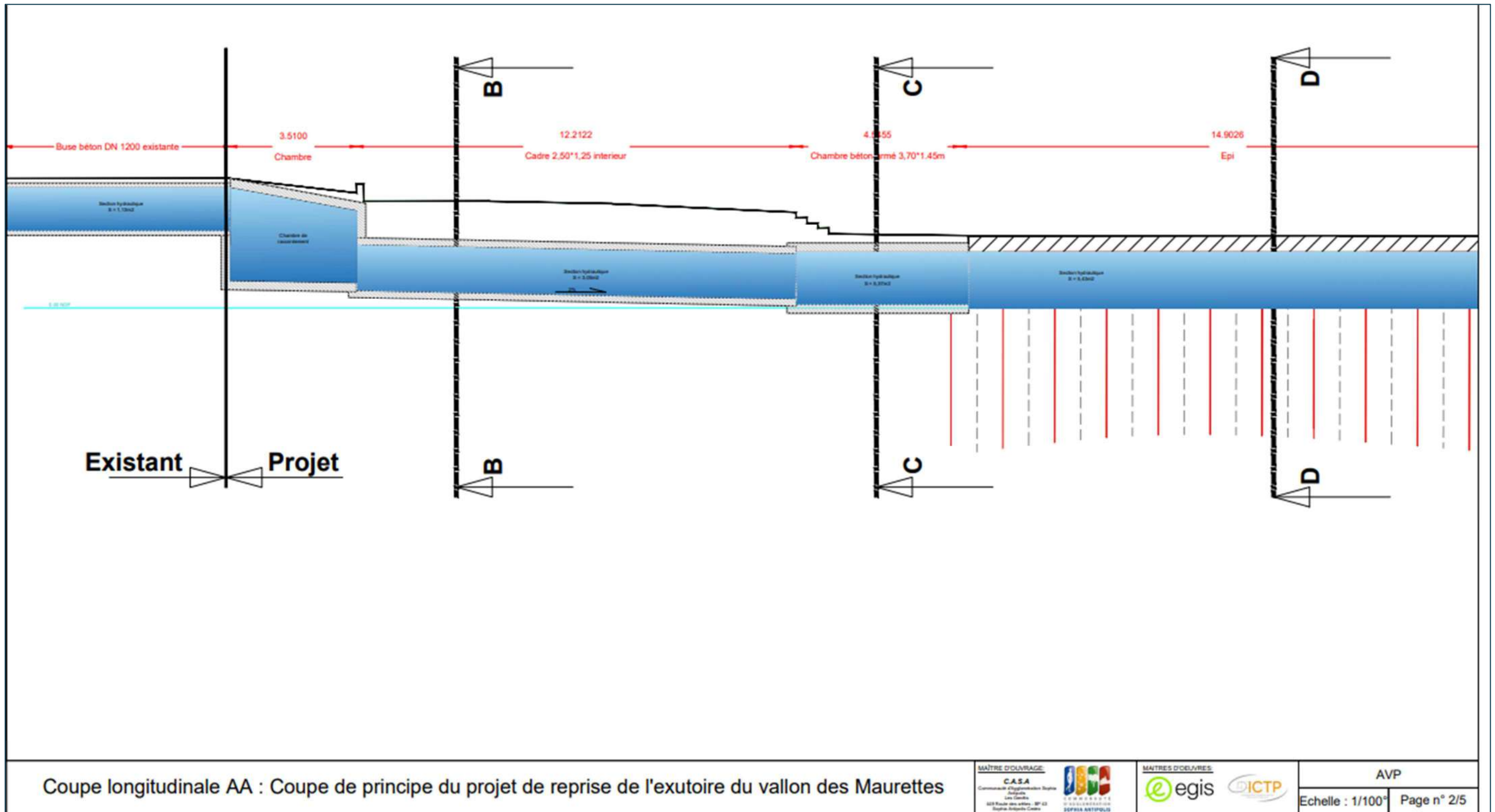


Figure 9 : Coupe transversale BB : Coupe de principe sous l'Avenue de la Batterie

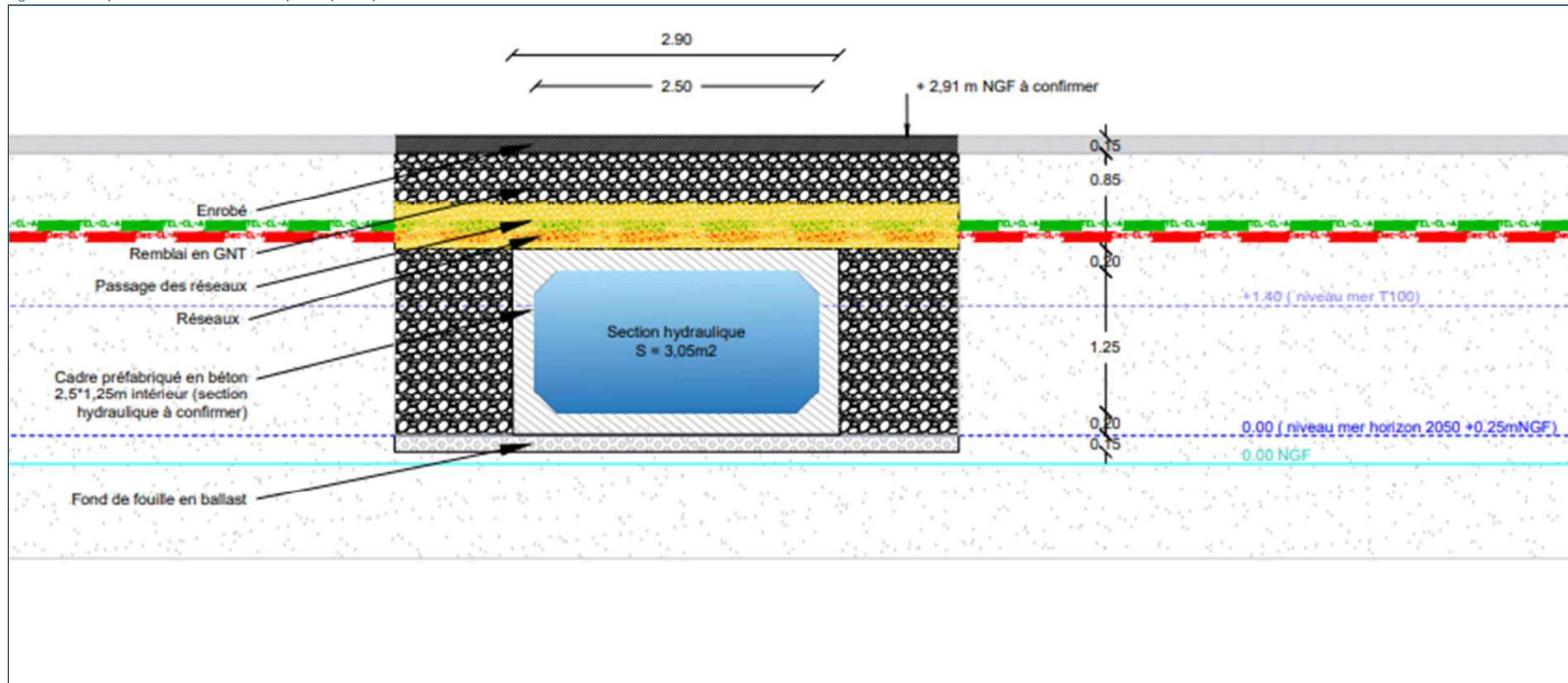


Figure 10 : Coupe transversale CC : Coupe de principe de la chambre en béton entre le cadre béton et l'épi en mer

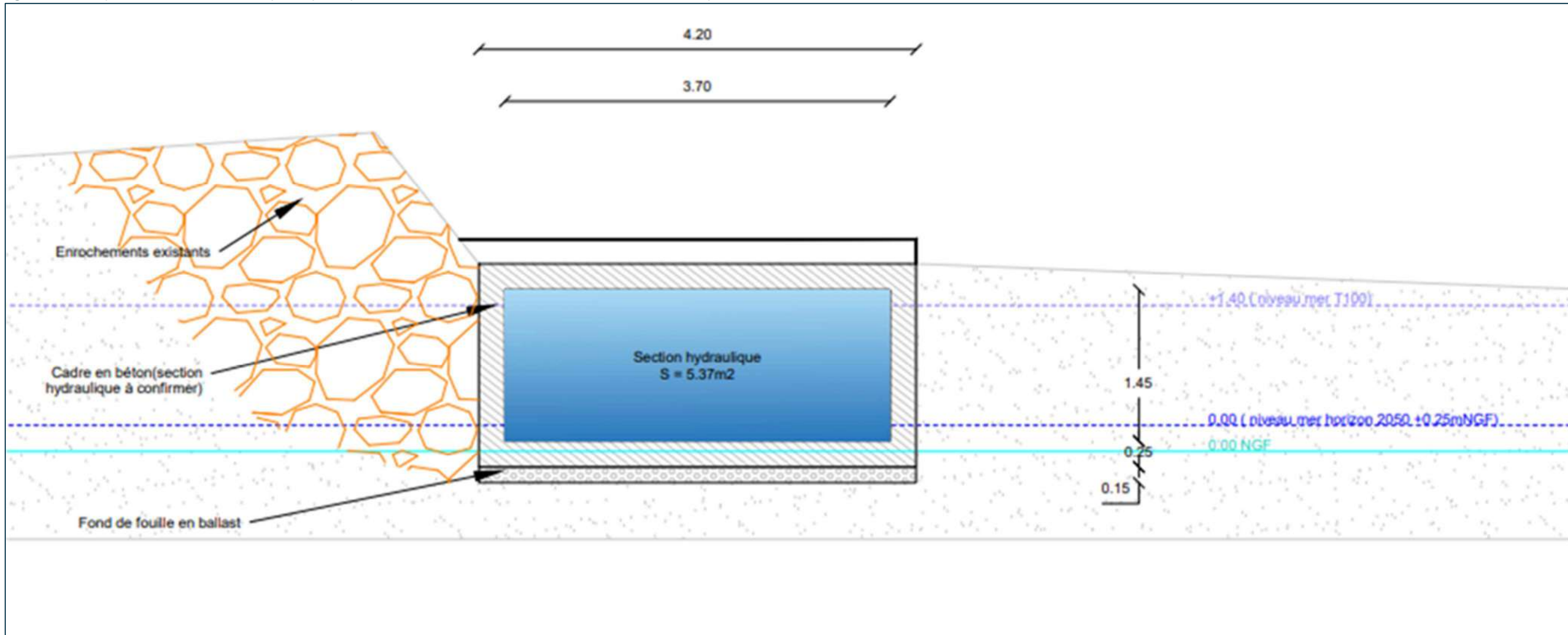
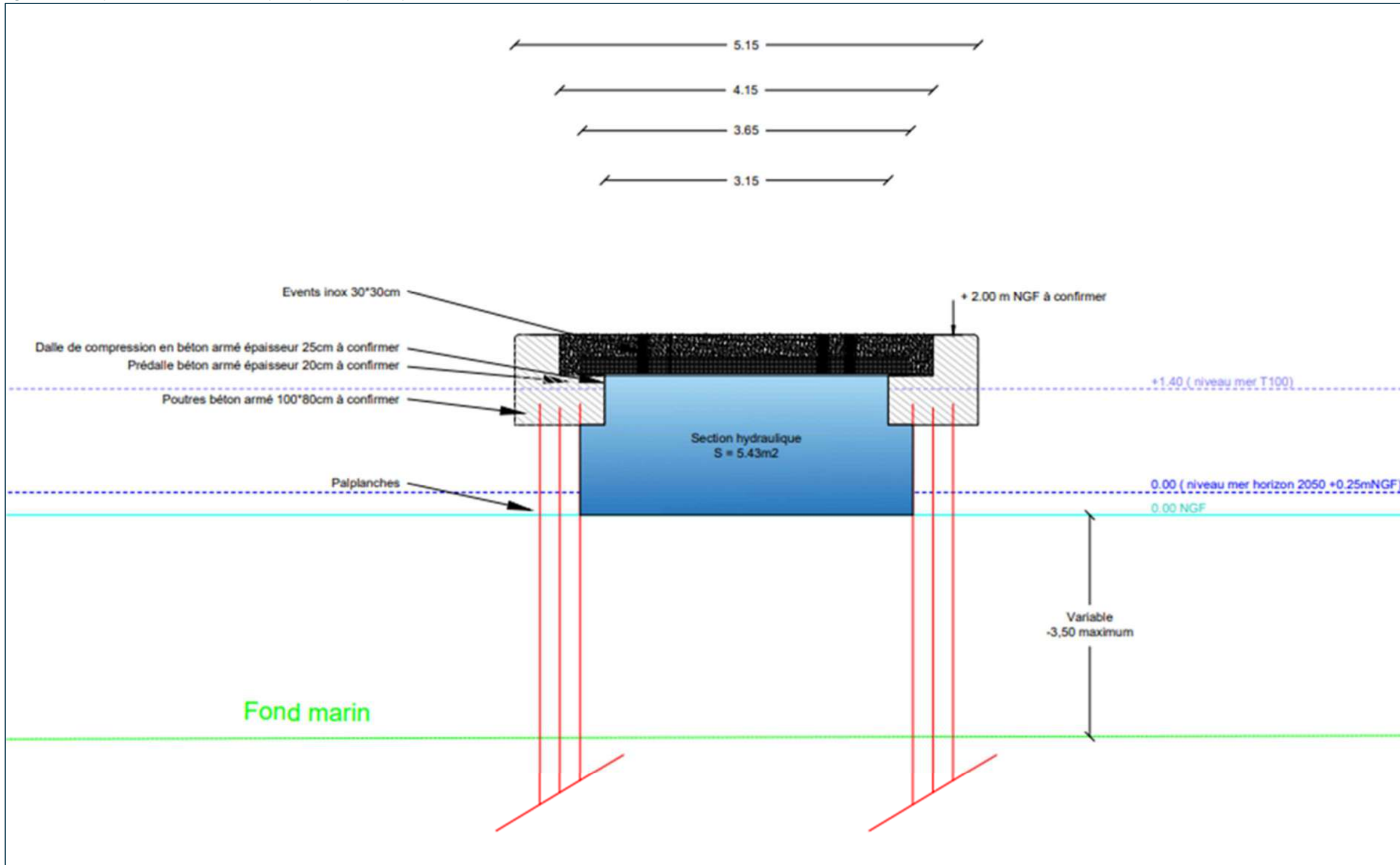
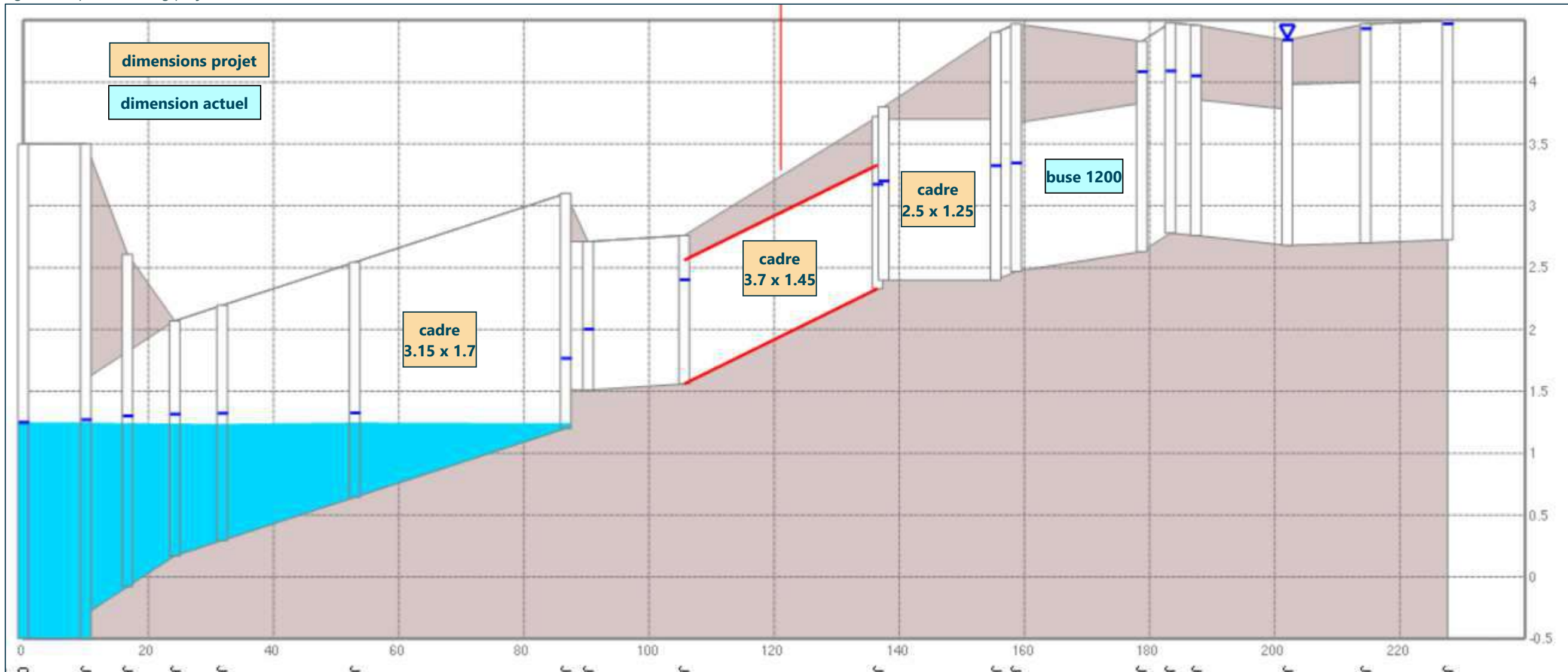


Figure 11 : Coupe transversale DD : Coupe de principe de l'épi en mer



La Figure 12 montre le profil en long avec les dimensions projetées du collecteur.

Figure 12 : profil en long projet



## 4.2 Résultats des simulations

Les résultats sont présentés pour une seule condition aval étant donné la faible influence de celle-ci comme vu en état initial.

Le volume débordé en amont de la D6007 est de 1.600 m<sup>3</sup> pour 10 ans, 1.900 m<sup>3</sup> pour 50 ans et de 21.000 m<sup>3</sup> pour 100 ans. Les résultats sur les hauteurs d'eau sont similaires pour un évènement décennal et quinquennale. L'évènement centennal présente des hauteurs d'eau plus élevé. On note cependant que les écarts par rapport à l'état actuel sont similaires quel que soit l'occurrence de l'évènement.

Tableau 5 : comparaison actuel / projet – CL 0.8 NGF

état	Actuel	Projet		Actuel	Projet		Actuel	Projet	
crue	10 ans	10 ans		50 ans	50 ans		100 ans	100 ans	
scénario	2	9	9 - 2	4	11	11 - 4	6	13	13 - 6
Z aval	0.8 NGF	0.8 NGF		0.8 NGF	0.8 NGF		0.8 NGF	0.8 NGF	
paramètre	Zmax	Zmax	écart	Zmax	Zmax	écart	Zmax	Zmax	écart
unité	NGF	NGF	m	NGF	NGF	m	NGF	NGF	m
1	4.38	4.38	0.00	4.38	4.38	0.00	4.47	4.47	0.00
2	4.37	4.37	0.00	4.37	4.37	0.00	4.43	4.43	0.00
3	4.34	4.34	0.00	4.34	4.34	0.00	4.34	4.34	0.00
4	3.97	3.96	-0.01	3.97	3.96	-0.01	3.97	3.96	-0.01
5	3.95	3.94	-0.01	3.95	3.94	-0.01	3.95	3.94	-0.01
6	4	3.99	-0.01	4.00	3.99	-0.01	4	3.99	-0.01
7	3.17	2.95	-0.22	3.17	2.95	-0.22	3.17	2.95	-0.22
8	3.16	2.95	-0.21	3.16	2.95	-0.21	3.16	2.95	-0.21
9	3.05	2.86	-0.19	3.05	2.86	-0.19	3.05	2.86	-0.19
10	3.03	2.89	-0.14	3.03	2.86	-0.17	3.03	2.89	-0.14
11	2.27	1.93	-0.34	2.27	1.93	-0.34	2.27	1.93	-0.34
12	1.96	1.81	-0.15	1.96	1.81	-0.15	1.96	1.81	-0.15
13	1.81	1.76	-0.05	1.81	1.76	-0.05	1.81	1.76	-0.05
14	0.94	0.9	-0.04	0.94	0.9	-0.04	0.94	0.9	-0.04

Figure 13 : comparaison du profil en long – 10 ans

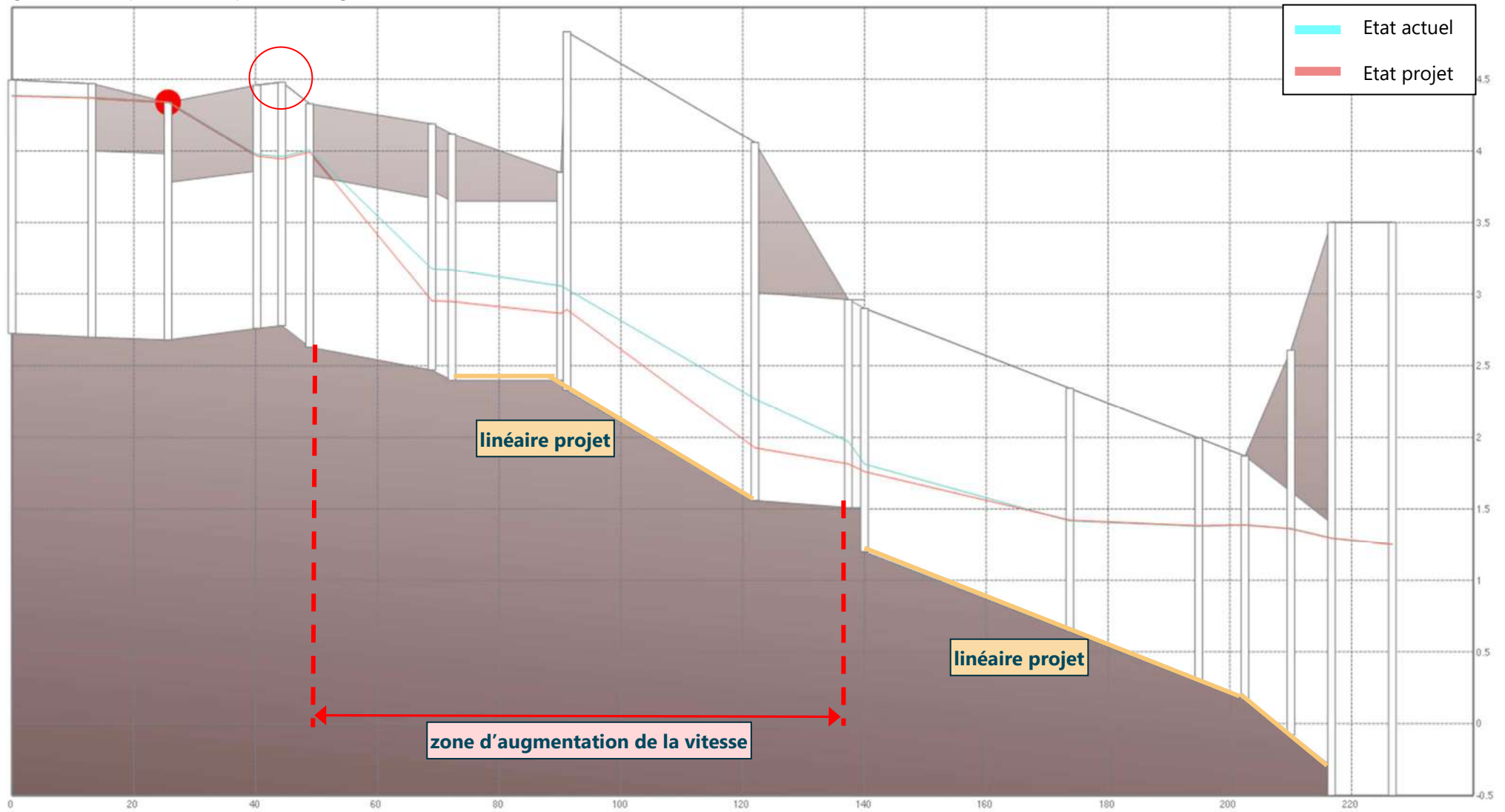
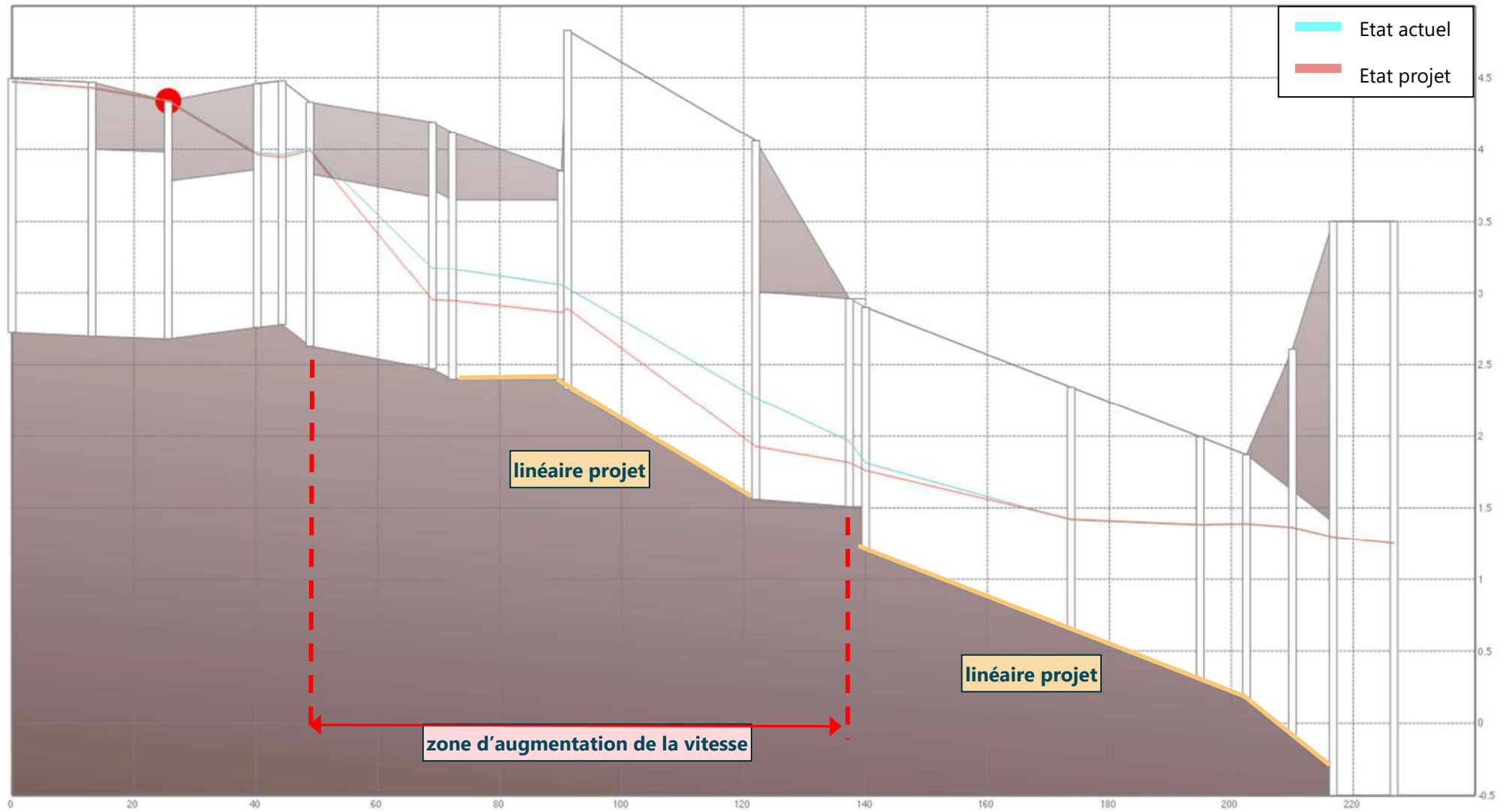


Figure 14 : comparaison du profil en long – 100 ans





Concernant les vitesses d'écoulement, celles-ci évoluent uniquement au niveau de la zone projet. On note une faible augmentation de la vitesse de 2.2 m/s à 2.3 m/s en état projet.

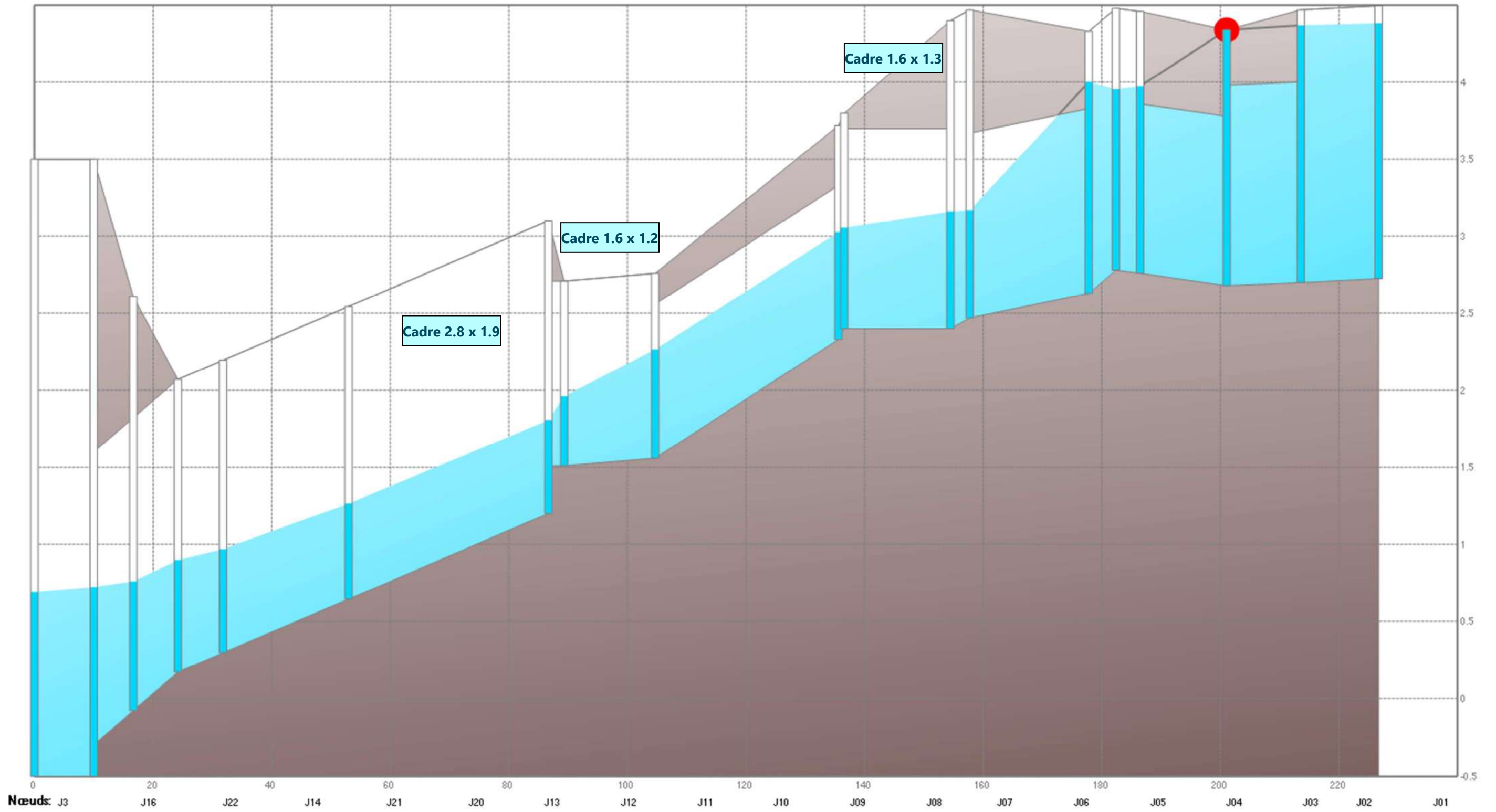
A partir des résultats présentés au paragraphe précédent il est possible de conclure que :

- L'état projet permet une baisse généralisée de la ligne d'eau sur tout le linéaire allant de quelques centimètres à une vingtaine de centimètres. Seule la partie amont n'est pas impactée par les aménagements ;
- Les aménagements proposés permettent de faire baisser la ligne d'eau environ 20cm pour toutes les occurrences au niveau de l'Avenue de la Batterie ce qui est l'objectif initial recherché ;
- Les débordements sur la partie amont du modèle sont légèrement moins importants pour une occurrence décennale et cinquantennale (environ 200 m<sup>3</sup> en moins) mais son identique pour une occurrence plus forte comme la centennale. ;
- Les hauteurs d'eau dans l'épi en mer sont peu impactées par les aménagements avec une baisse d'environ 5cm.
- On constate une faible évolution de la vitesse sur le linéaire projet de 0.1 m/s.

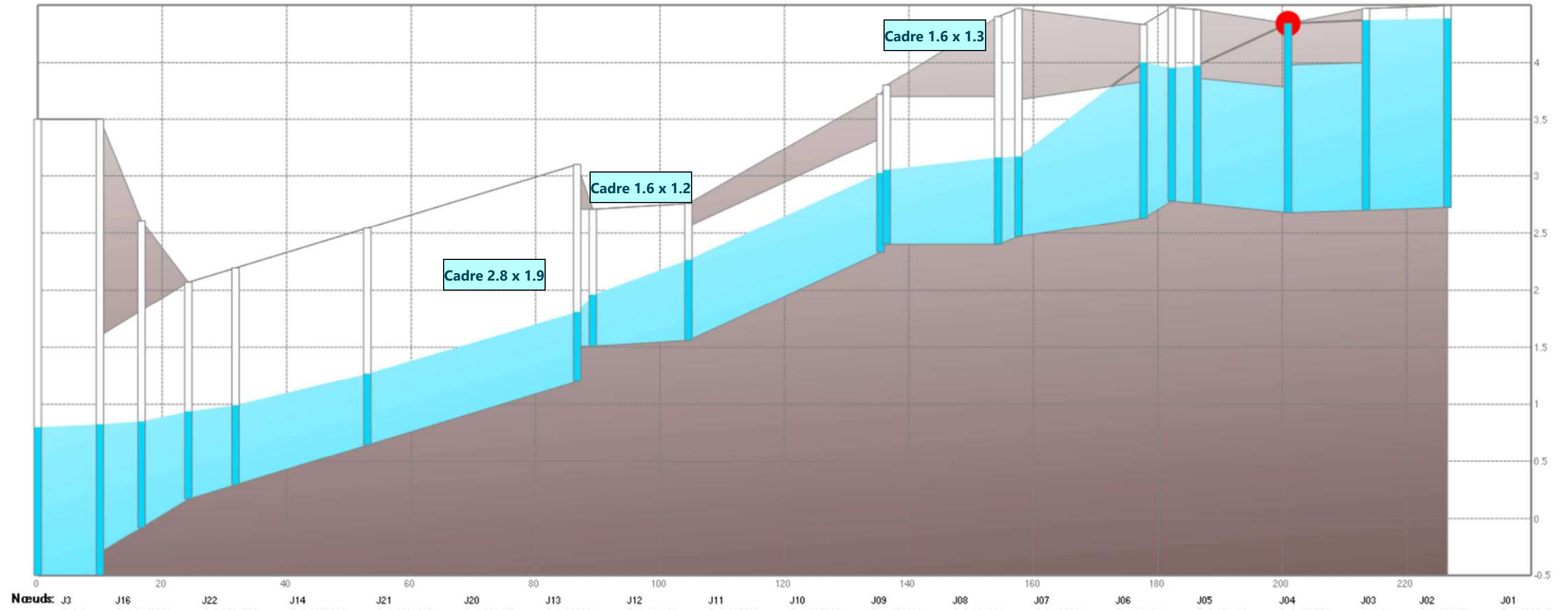
Au vu des résultats présentés précédemment, l'ouvrage hydraulique dimensionné sous l'avenue de la Batterie semble correctement dimensionné.

# Annexes

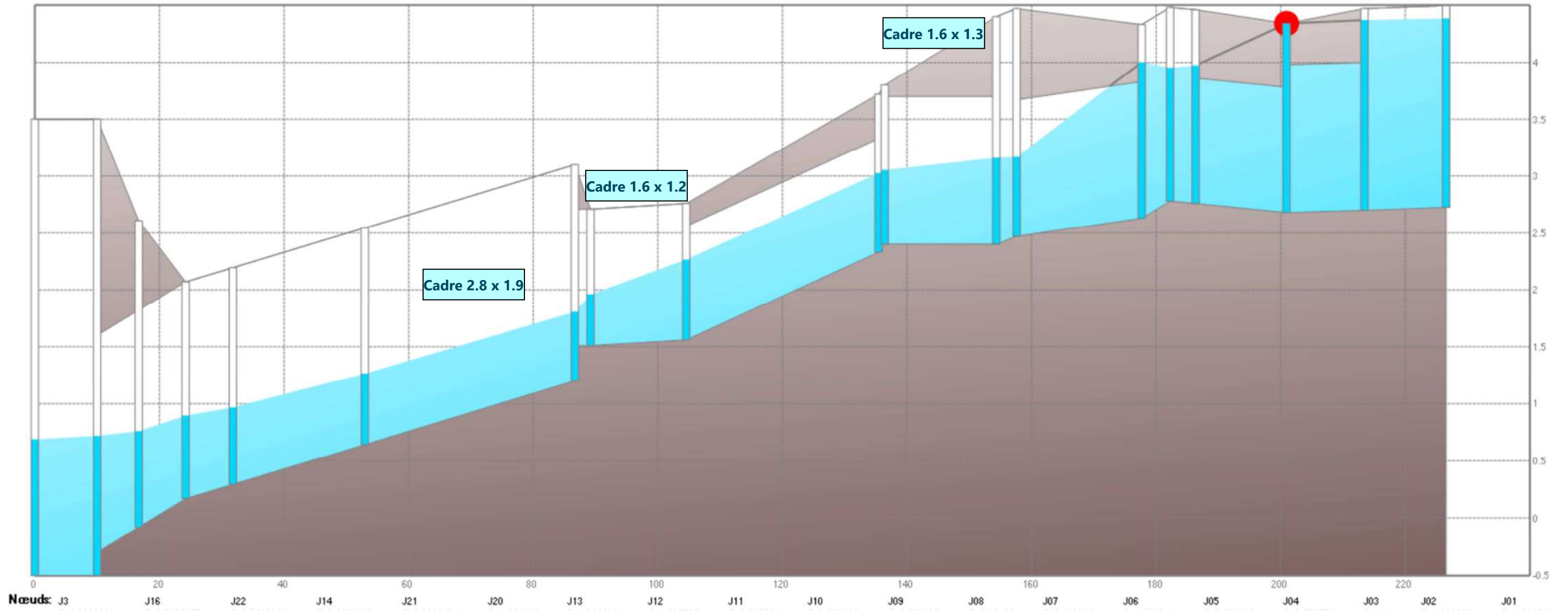
Etat initial Q10 – Résultats scénario 1 - CL Aval 0.69 NGF



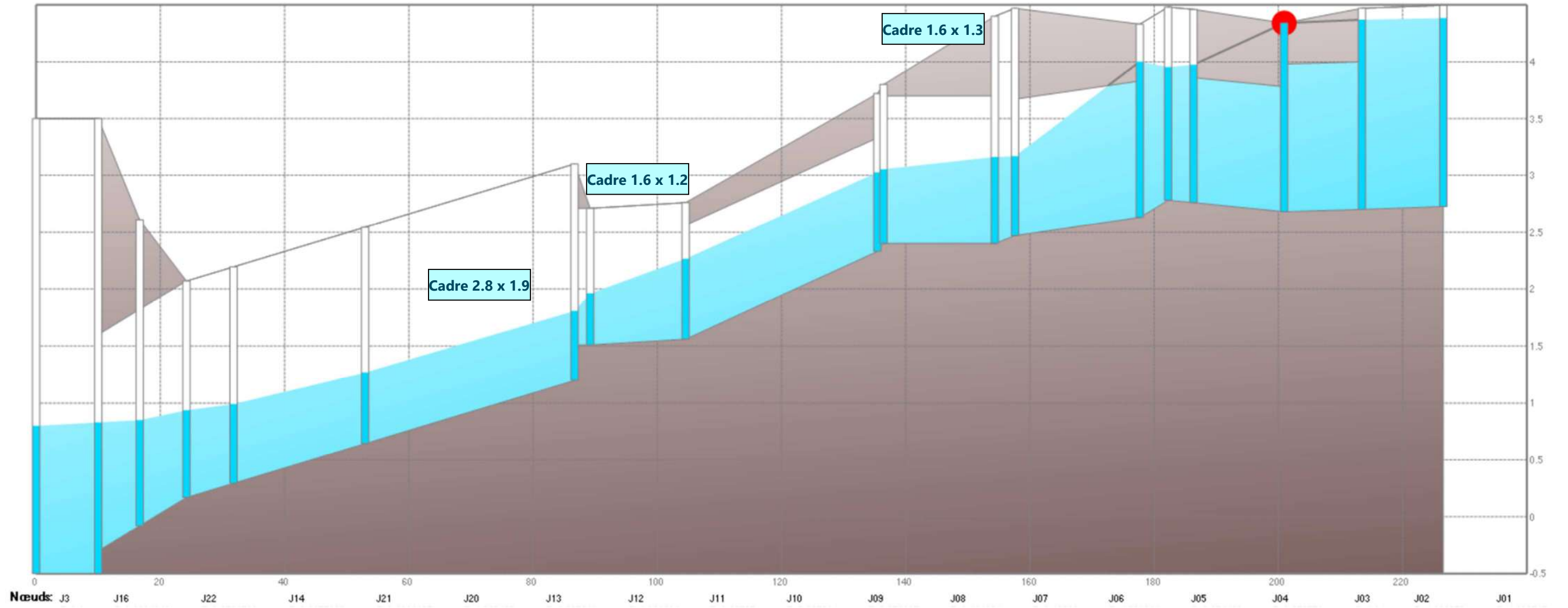
Etat initial Q10 – Résultats scénario 2 - CL Aval 0.8 NGF



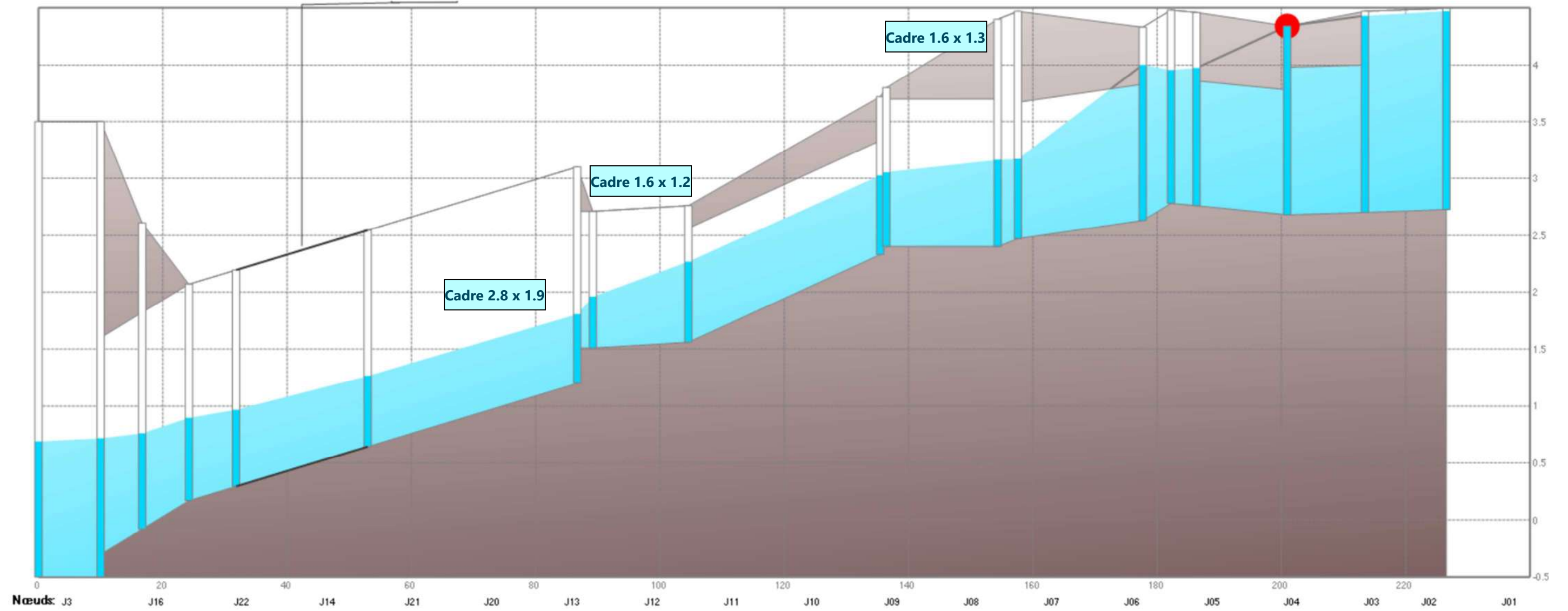
Etat initial Q50 – Résultats scénario 3 - CL Aval 0.69 NGF



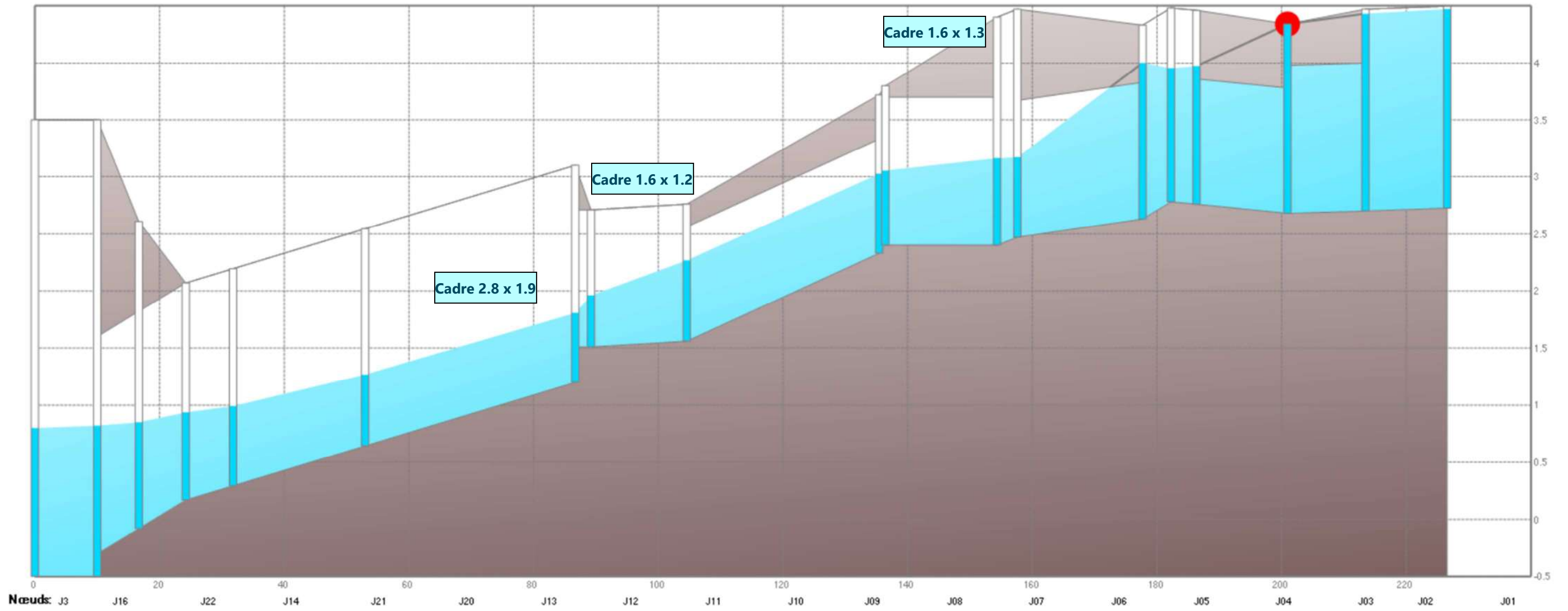
Etat initial Q50 – Résultats scénario 4 - CL Aval 0.8m NGF



Etat initial Q100 – Résultats scénario 5 - CL Aval 0.69m NGF

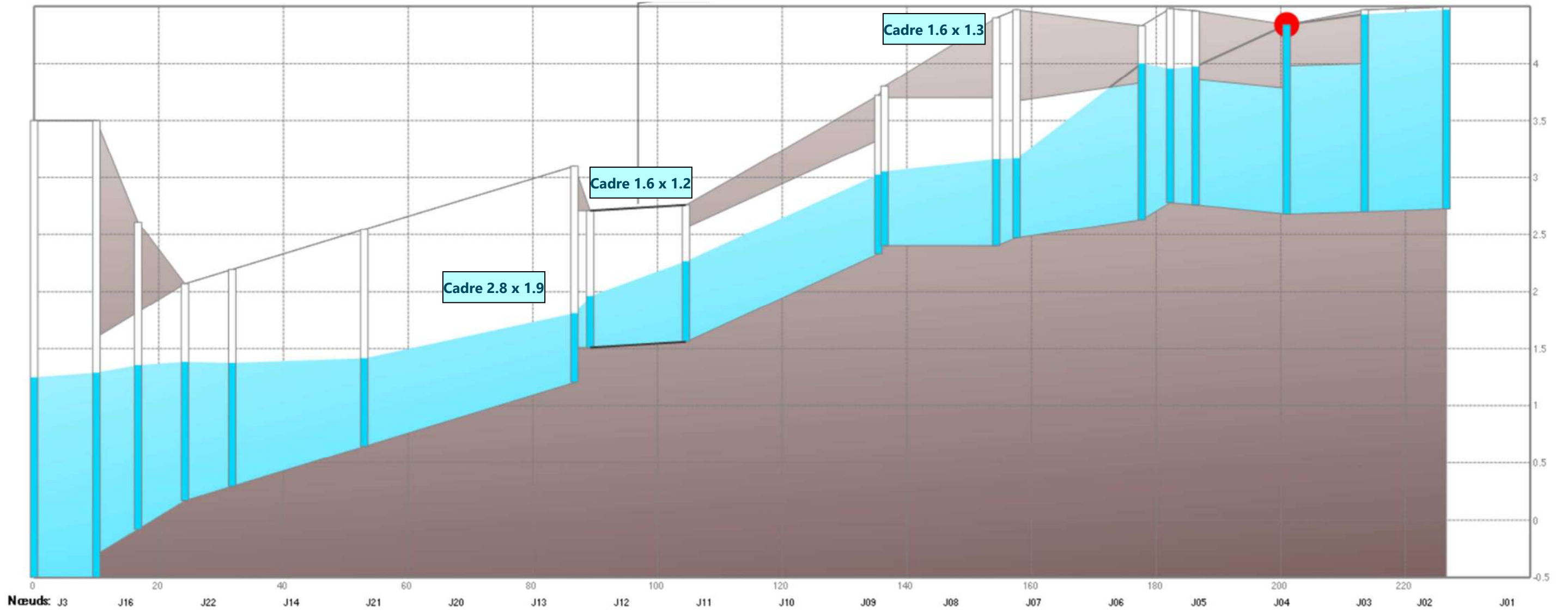


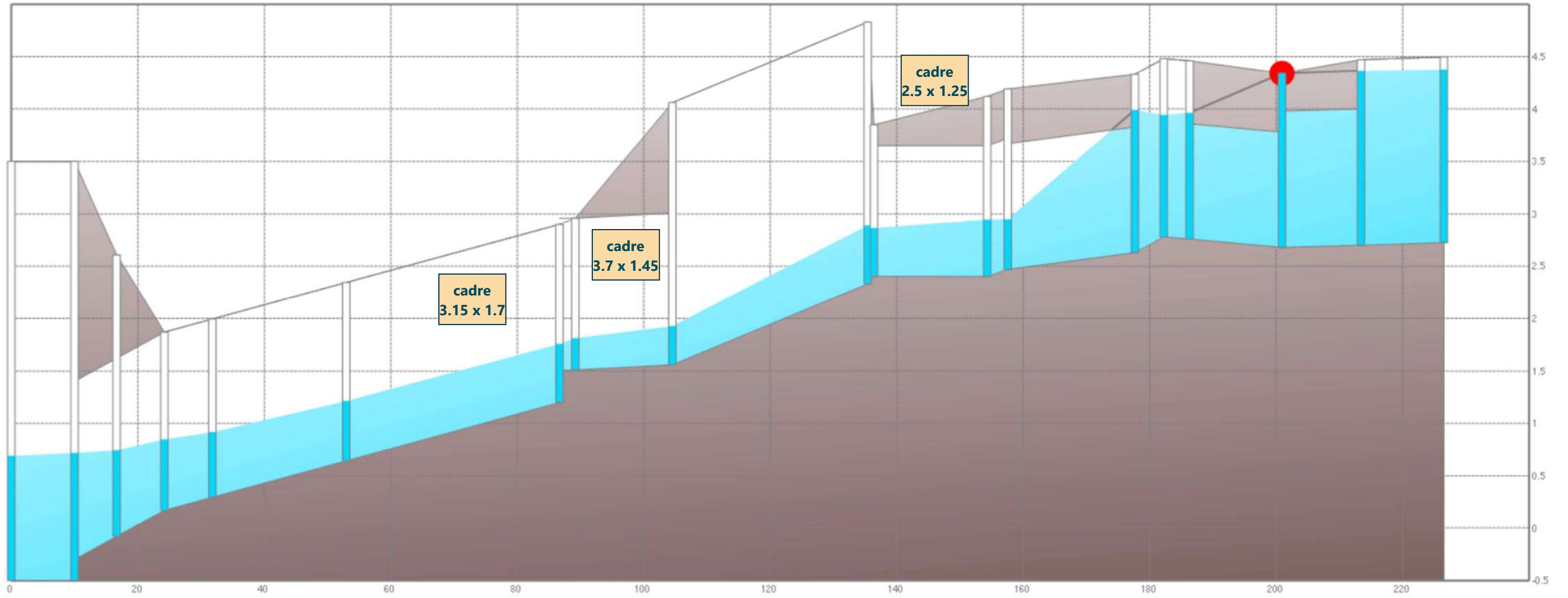
Etat initial Q100 – Résultats scénario 6 - CL Aval 0.8m NGF

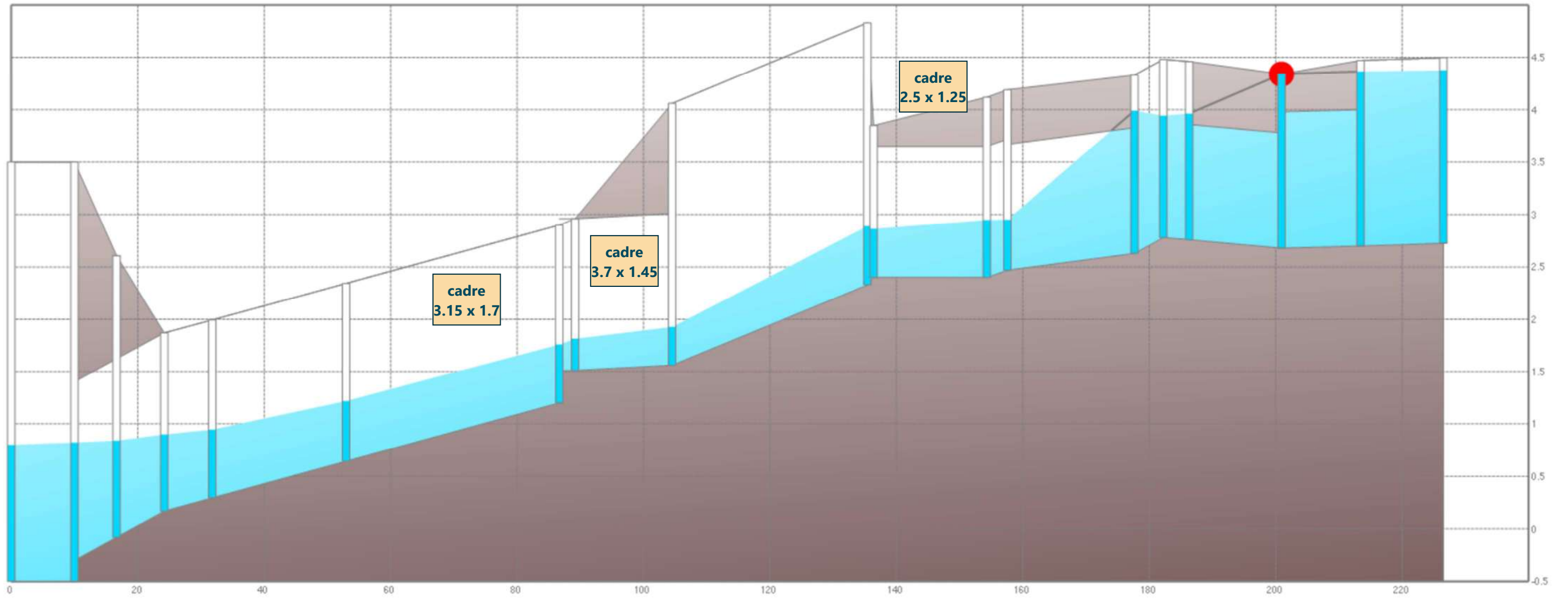


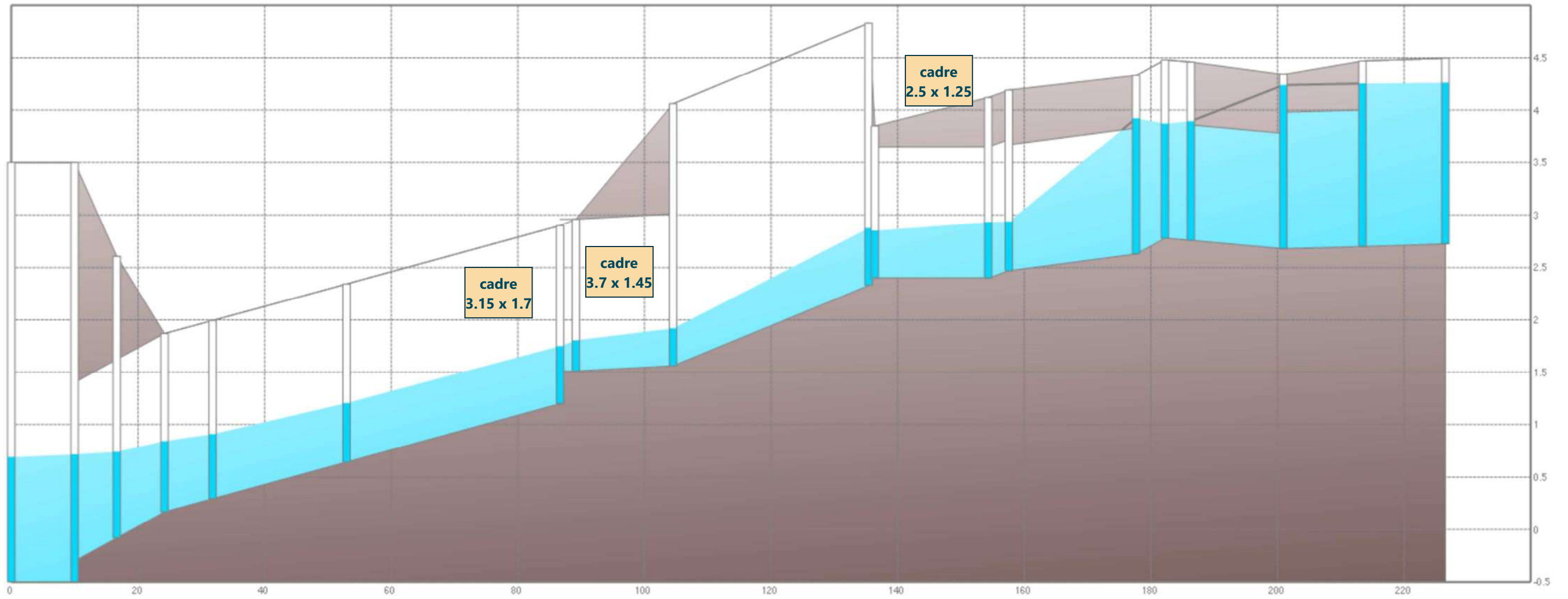


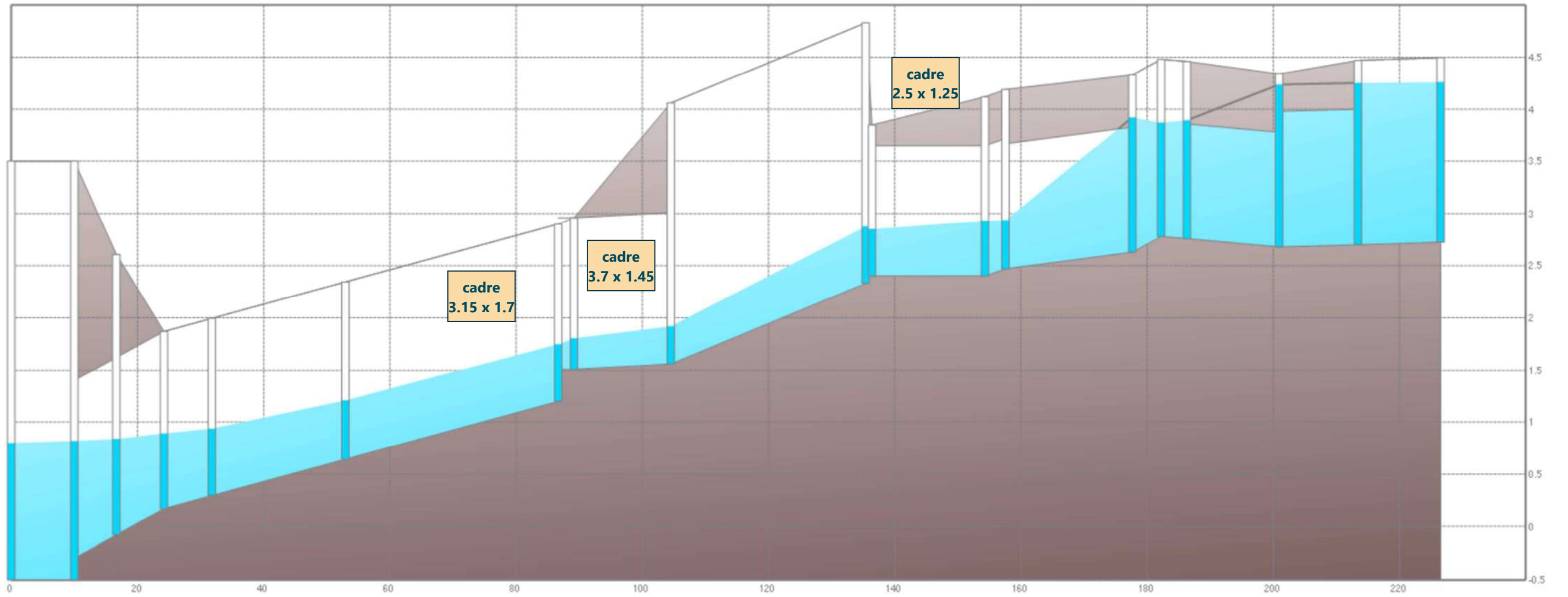
Etat initial Q100 – Résultats scénario 7 - CL Aval 0.69m NGF

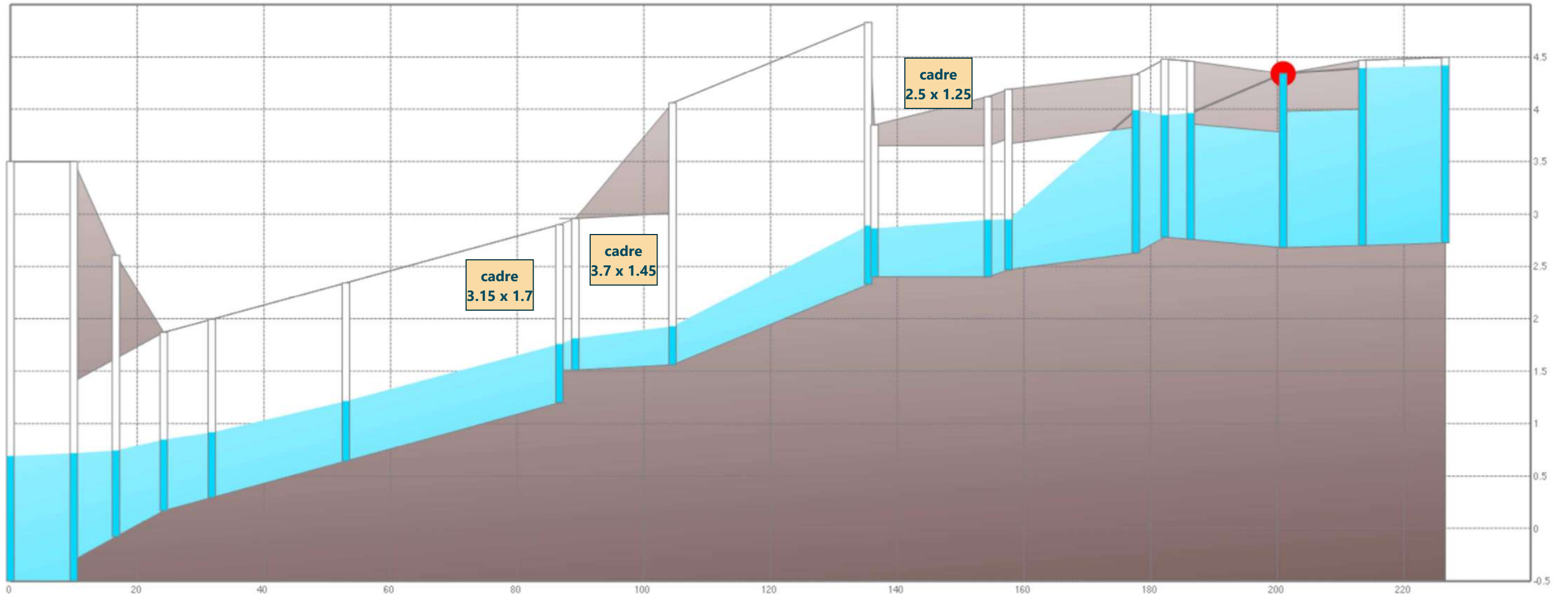


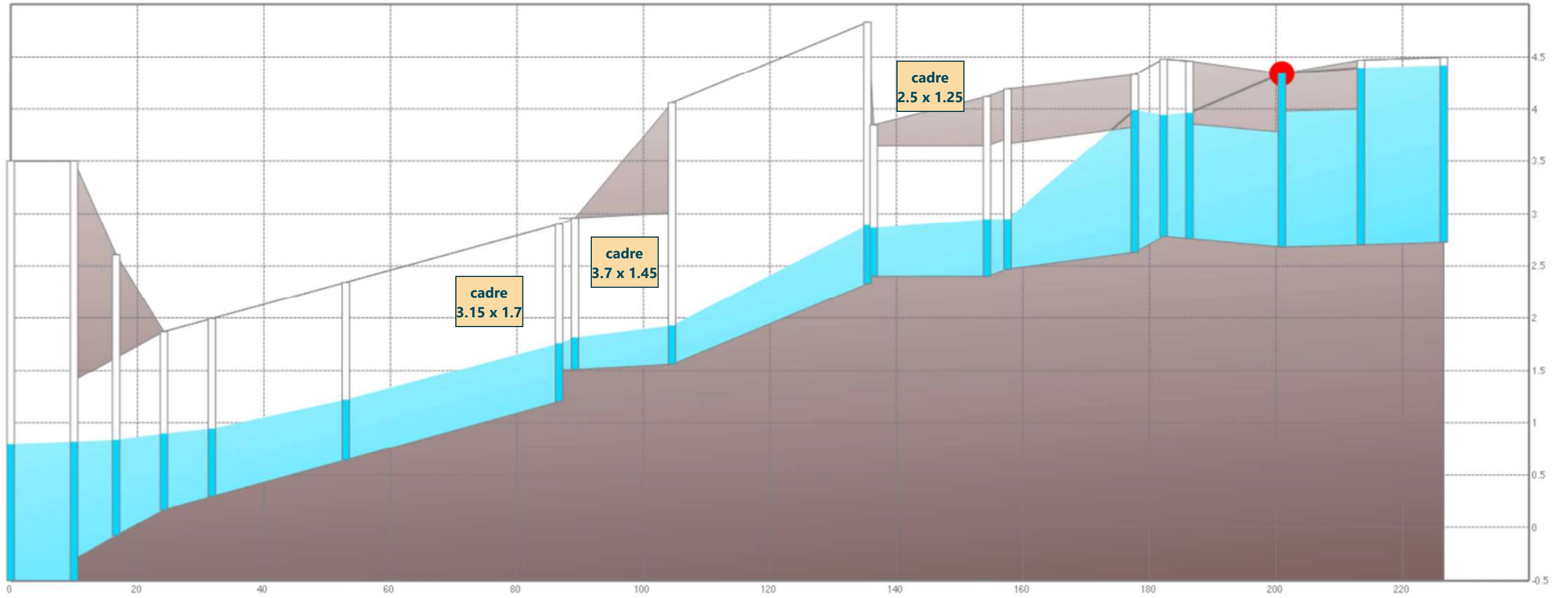


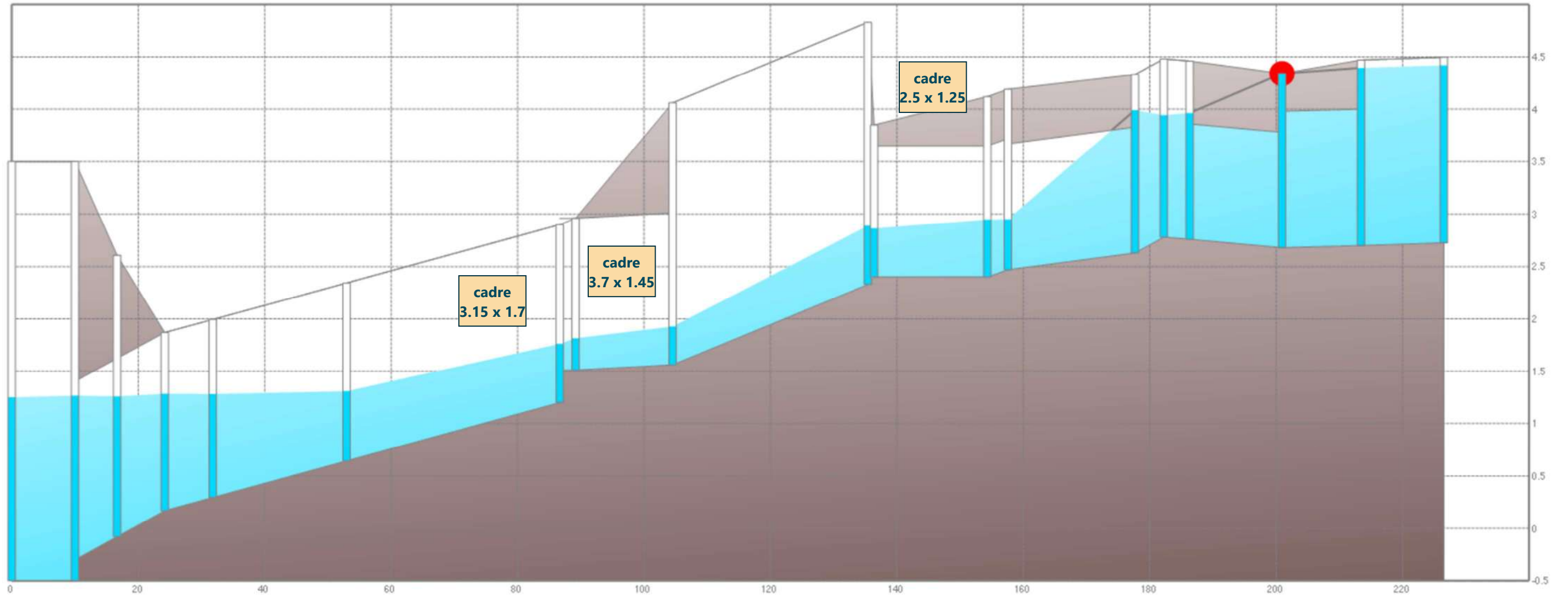




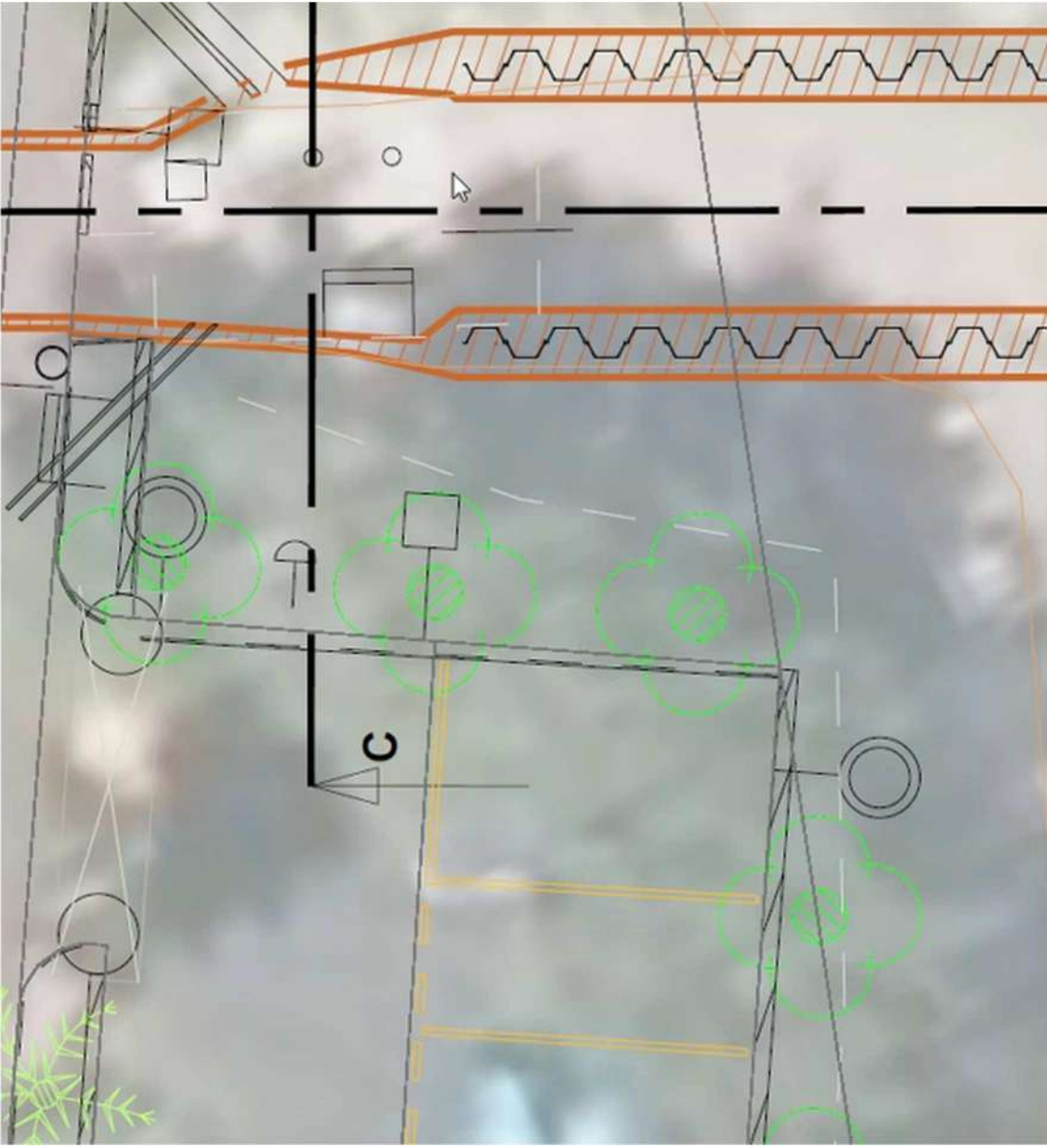


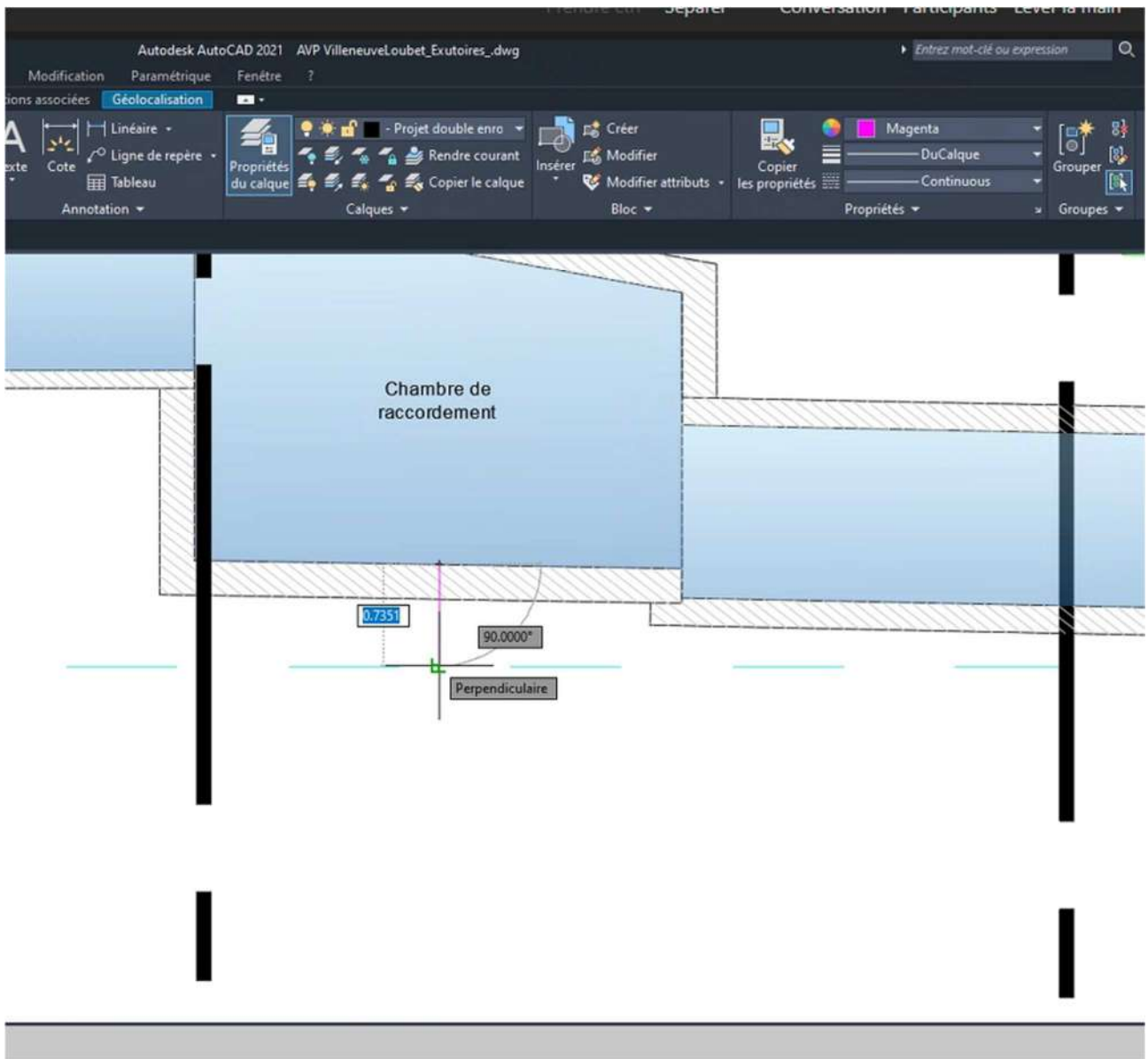




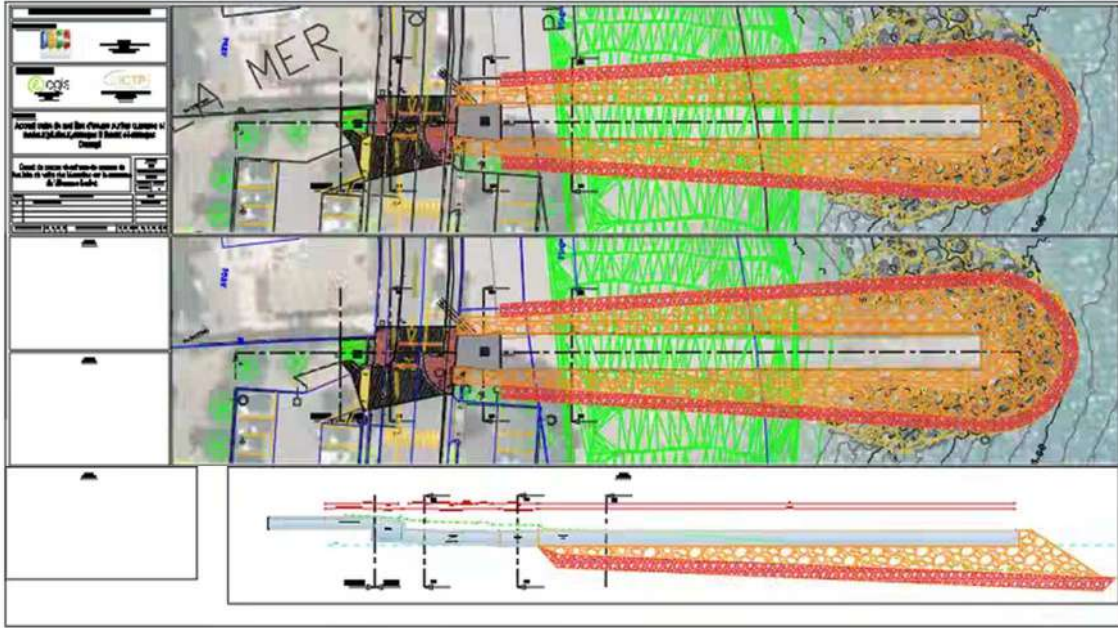








1ere chambre = dégraveur à +70 NGF



**Egis - Activité Eau et Ports**  
**Territoire Méditerranée**

[www.egis-group.com](http://www.egis-group.com)

