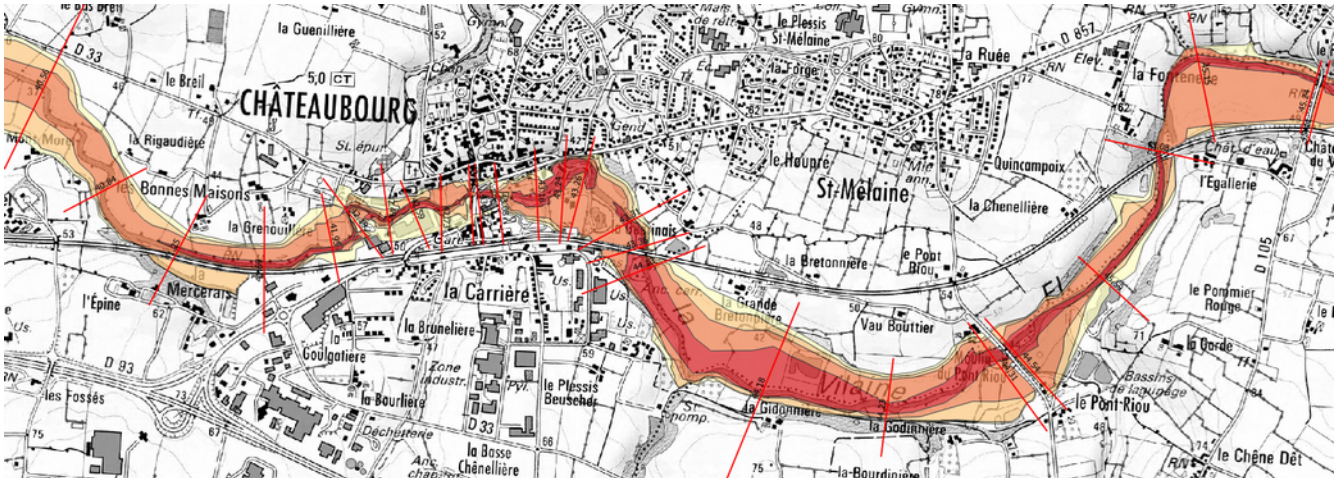
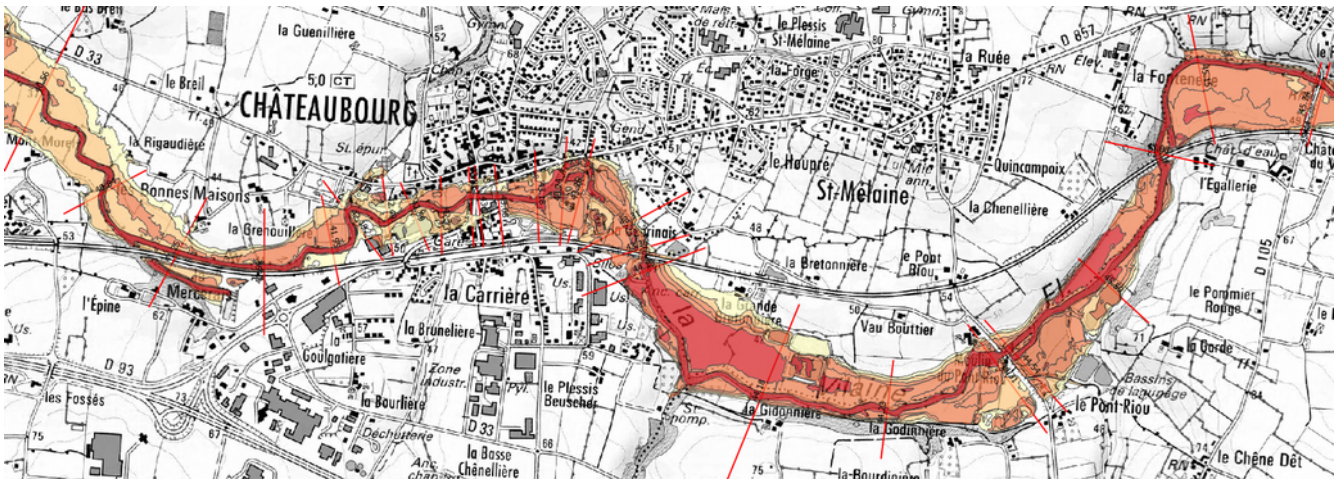
Cerema

Cerema Ouest

Analyse hydraulique des PPRi de la Vilaine et affluents

Analyse préalable des changements prévisibles en cas de révision





Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Direction Départementale des Territoires et de la Mer d'Ille-et-Vilaine

Analyse hydraulique des PPRi de la Vilaine et affluents

Analyse préalable des changements prévisibles en cas de révision

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire

Affaire suivie par

Alexis BERNARD - Département Laboratoire de St Brieuc – Groupe Risques Naturels et Géophysique
Tél. : 02 96 75 93 77
Courriel : alexis.bernard@cerema.fr
Cerema Ouest

Références

n° d'affaire : C16OB0254
Maître d'Ouvrage : DDTM35//2MC2/RISK (M. Peinturier)
Affaire programmée dans le cadre de la ligne Cerema – Dreal 2016 – AL163935 « Prévenir les risques naturels en Bretagne »

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Frédéric Brunet / Alexis Bernard	7/02/2017	
Contrôlé par	Raphaël Bénot – Chef du groupe RNG	15/02/2017	
Validé par	Régis Soenen – Directeur du DLRB	17/02/2017	

Résumé de l'étude :

La présente étude présente les analyses réalisées en préalable de la révision des PPRI du bassin de la Vilaine. L'étude a consisté à analyser l'impact des nouveautés (nouveaux MNT pour la cartographie, nouveau modèle hydraulique) sur la cartographie d'aléa par rapport aux PPRI initiaux. L'effet du changement de MNT de référence utilisé pour la spatialisation (cartographie) de l'aléa a été étudié en cartographiant l'aléa sur le nouveau MNT en partant des côtes de référence des six PPRI. Les principales zones impactées comme changeant d'aléa (aggravation ou diminution de l'aléa) ont été identifiées. Les scénarios hydrologiques des PPRI ont été rejoués avec les modèles hydrauliques de la Vilaine (présentés comme faisant foi par l'EPTB Vilaine et la DREAL) afin de comparer les lignes d'eau avec celles des PPRI.

Sommaire

1 RAPPEL DE LA COMMANDE, DU CONTEXTE ET DU DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE....5

1.1 Rappel de la commande....5

1.2 Rappel du contexte....5

1.2.1 L'élaboration des PPRi....5

1.2.2 Le modèle hydraulique disponible....7

1.3 Réponse proposée....8

1.4 Déroulement de l'étude....9

2 PRISE EN COMPTE DES NOUVELLES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES (MNT LIDAR) – SPATIALISATION DE L'ALÉA DES PPRI ANTÉRIEURS....11

2.1 Cartes d'aléas initiales....11

2.2 Méthode de spatialisation des aléas PPRi sur un MNT récent....11

2.2.1 Tracé des profils en travers de spatialisation....12

2.2.2 Création du MNSLE par interpolation....13

2.2.3 Détermination des hauteurs bruts par soustraction MNSLE-MNT....14

2.2.4 Classement des hauteurs....14

2.2.5 Post-traitement....15

2.3 Résultats....16

2.3.1 PPRi Vilaine amont....18

2.3.2 PPRi Bassin Rennais....18

2.3.3 PPRi de la Meu, du Garun et de la Vaunoise....20

2.3.4 PPRi de la Seiche et de l'Ise....21

2.3.5 PPRi moyenne Vilaine....23

2.3.6 PPRi Vilaine aval....23

2.4 Conclusions partielles....23

3 REJEU DES SCÉNARIOS DES PPRI AVEC LE MODÈLE HYDRAULIQUE....24

3.1 Découpage des modèles en fonction des ppri....24

3.2 Méthodologie....25

3.3 Résultats....27

3.3.1 PPRi Vilaine Amont....27

3.3.2 PPRi Bassin Rennais....29

3.3.3 PPRi Vilaine médiane ou moyenne Vilaine....33

3.3.4 PPRi Vilaine aval....37

3.3.5 PPRi Meu-Garun-Vaunoise....47

3.3.6 PPRi Seiche et Ise....47

3.4 Discussion sur les cohérences entre les PPRI....47

3.4.1 Cohérence entre le PPRI amont et le PPRI bassin rennais....47

3.4.2 Cohérence entre le PPRI Bassin rennais et le PPRI Vilaine moyenne....47
3.4.3 Cohérence entre le PPRI Vilaine moyenne et le PPRI Vilaine aval....47

4 AGRÉGATION DES POINTS PRÉCÉDENTS SUR QUELQUES SECTEURS....48
4.1 L'Ille dans l'agglomération rennaise....49
4.2 La Vilaine en aval de la rocade rennaise....52

5 CONCLUSIONS....53
5.1 Liste des livrables....53
5.2 Liste des points à traiter en anticipation d'une révision future des PPRi....53
5.3 Une analyse du fonctionnement du bassin à poursuivre....53

ANNEXES....54

1 Rappel de la commande, du contexte et du déroulement de l'étude

1.1 Rappel de la commande

Fin 2015, la DDTM35 a souhaité faire appel à une équipe du Cerema compétente en modélisation hydraulique afin d'établir une inter-comparaison des résultats d'un modèle hydraulique MIKE11 développé sur le bassin de la Vilaine avec les documents réglementaires actuels dans la perspective de la révision de 6 PPRI en Ille-et-Vilaine, afin d'identifier « les zones sur lesquelles il risque d'y avoir débat et afin d'avoir le moins de surprises possible ».

La direction territoriale Ouest, et plus précisément le groupe Risques Naturels et Géophysique du Département Laboratoire de Saint Brieuc, a répondu à la sollicitation en tant qu'implantation locale du Cerema compétente dans le domaine.

L'étude a été inscrite fin 2015 dans le programme annuel du Cerema ouest pour le compte de la DREAL Bretagne sous l'item AL163935 « Prévenir les risques naturels en Bretagne » (ligne de programmation entre le Cerema et la DREAL regroupant plusieurs études).

1.2 Rappel du contexte

1.2.1 L'élaboration des PPRi

L'étude concerne 6 PPRi élaborés entre 1999 et 2008 sur la Vilaine et ses affluents. Le périmètre comprend une centaine de communes dans le département. Ces PPRi ont été réalisés avec des prestataires différents. Entre les PPR, la doctrine et les méthodes retenues pour cartographier l'aléa ont pu évoluer.

Tableau 1: Synthèse sur l'élaboration des PPRi (auquel il faudrait ajouter – PPRi Seiche et ISE – 2008 – BCEOM/Egis eau)

Dénomination du PPRI	Année de validation	Bureau d'études en charge de l'étude hydrologique
PPRI de la Vilaine amont	2007	Sogréah/Artelia
PPRI de la Vilaine en région Rennaise, Ille & Illet	2007	Sogréas/Artelia, puis 2EMA
PPRI de la Vilaine moyenne	2004	BCEOM/Egis
PPRI du bassin aval de la Vilaine	1999	BCEOM/Egis
PPRI du Meu, du Garun et de la Vaunoise	2005	2EMA

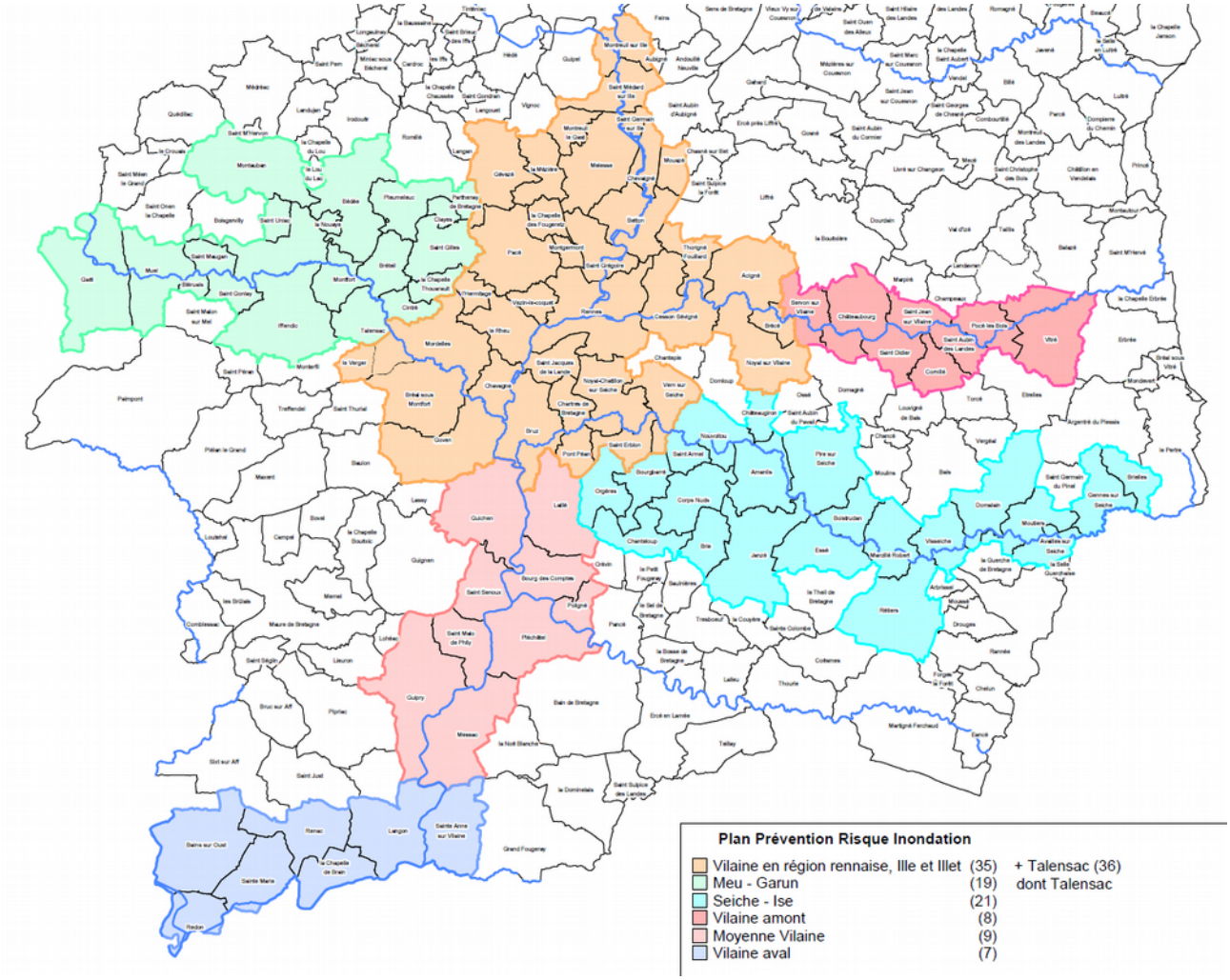


Illustration 1: Carte des périmètres et des communes concernés par les 6 PPRi

Par conséquent, la DDTM interroge sur la cohérence hydrologique et hydraulique entre PPR. La cohérence des méthodes de cartographies pose aussi question.

Tableau 2: Synthèse sur les méthodes d'élaboration des PPRi (cartographie de l'aléa)

Dénomination du PPRI	Méthode de cartographie	Détermination hydrologique des débits	Modélisation hydraulique
Vilaine amont	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa	Méthode SPEED (étude SOGREAH pour Rennes métropole en 1999-2002) – Actualisation pour prendre en compte (1999 et 2001) → Révision à la hausse des $Q_{100} \sim Q_{\text{crue 1974}}$	Modèle Infoworks (étude BCEOM-SAFEGE-SOGREAH) = prédécesseur du modèle Mike Calé sur les crues de 1995 et mars 2001
Bassin Rennais, Ille et Illet	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa. Hydrogéomorphologie sur l'amont de l'Ille, l'Illet, la Vaunoise et le Blosne	Méthode SPEED (étude SOGREAH pour Rennes métropole en 1999-2002) – Actualisation pour prendre en compte (1999 et 2001)	Modèle CARIMA calé sur la crue de 1995 (étude SOGREAH pour Rennes métropole en 1999-2002) jouant les débits initiaux (avant actualisation) Modèle HEC-RAS calé sur le modèle CARIMA jouant les débits « actualisés »
Vilaine moyenne	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa.	Pas de détail sur la méthode Max de Q_{gradex}, $Q_{\text{extrapol Gumbel}}$ à la station Bain de Bretagne + Formule Myer	Modèle ISIS (« ancêtre » d'Infoworks) avec calage sur janvier 2001

Seiche-Ise	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa	Deux études concordantes (SOGREAH pour Rennes métropole – 1999-2002 et SOGREAH/SAFEGE/BCEOM pour IAV) + méthode SPEED	Modèle ISIS sur secteurs à enjeux + modélisation simplifiée sur agglo Rennes + calculs simplifiés
Meu-Garun-Vaunoise	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa	Modèle pluie-débit (QRONO) calé sur les crues de 1995, 1999 et 2001. $Q_{100\ modélisation} = Q_{100\ Gradex\ abattu}$ étude IAV station de Montfort. Q_{100} en chaque point du BV par modèle hydrologique.	Modèle HEC-RAC calé sur la crue de 1999
Vilaine aval	Modélisation hydraulique + spatialisation aléa	Peu détaillé dans le rapport PPRI Débits d'après une étude SAFEGE pour l'IAV (1997) Application du Gradex	Peu détaillé dans le rapport PPRI Crue historique 1995 à l'aval et modélisation par SAFEGE sous Mike 11

1.2.2 Le modèle hydraulique disponible

Actuellement, le bassin de la Vilaine et de ses affluents est modélisé par un ensemble de trois modèles hydrologique et hydraulique globaux. Cet outil, commandé par l'IAV est utilisé par le SPC de la DREAL (pour ses missions de prévision des crues), par l'IAV et par les services risques de la DREAL (pour cartographier l'événement « fréquent » et « extrême » dans le TRI Vilaine de Rennes à Redon). Il constitue l'outil de référence partagé par les collectivités sur le bassin. A priori, ce modèle est très bien calé et répond aux besoins. D'après la DDTM35, « ce modèle devrait être utilisé dans le cadre de la prescription de la révision des 6 PPRI, tous[1] couverts par le modèle mais réalisés AVANT que le modèle soit opérationnel ».

Ce modèle a été construit en plusieurs étapes :

- En 2001, suite aux crues importantes de l'hiver 2000-2001, la mission d'expertise interministérielle sur les crues de décembre 2000 et janvier 2001 en Bretagne a émis un rapport. Ce rapport s'appuie sur les études précédentes et les constats observés pendant les crues de l'hiver 2000-2001. Il dresse un panorama général des phénomènes en jeu, des facteurs ayant pu contribuer à aggraver l'ampleur des inondations, des dispositifs de protection et de prévention existants (dont les PPRi et l'annonce des crues) et des améliorations à apporter dans les différents domaines de la prévention du risque et de la protection des populations. En conclusion, la mission insistait notamment sur la nécessité de :
  - compléter le réseau de connaissances sur le bassin de la Vilaine (développement de la métrologie),
  - bâtir un programme d'aménagement cohérent de protection contre les inondations à l'échelle du bassin versant (un certain nombre de propositions concrètes ont été formulées),
  - lancer une étude de modélisation globale du bassin versant de la Vilaine.

- Cette dernière a été réalisée entre 2004 et 2007 par le groupement BCEOM / SAFEGE / SOGREAH. Elle avait pour but de permettre d'analyser les mécanismes de formation et de propagation des crues à l'échelle du bassin versant et de tester des solutions d'aménagements. Elle s'est basée sur une modélisation hydrologique du bassin versant et hydraulique de la Vilaine et de ses principaux affluents. Ce

1 *Les PPRi Seiche et Ise d'une part et Meu, Garun et Vaunoise sont en fait peu ou pas couverts.*

modèle, régulièrement amélioré, est actuellement utilisé pour l'IAV et les services de l'État. L'étude a abouti, entre autre, à la livraison de trois modèles (vilaine amont, vilaine aval et oust) sous Infoworks.

- Entre 2008 et 2010, DHI a transformé et repris le modèle Infoworks brut en Mike 11. Cette opération a été effectuée pour disposer d'un modèle utilisable en prévision des crues par le SPC de la DREAL. En plus de la transposition d'un logiciel de modélisation à l'autre, quelques modifications structurelles (géométries) et fonctionnelles (liaisons, remplacement des apports intermédiaires ponctuels par des apports intermédiaires linéaires) ont été effectuées.

- En 2012, l'IAV a effectué une re-calibration des modèles pour prendre en compte des laisses de crues plus nombreuses. À cette occasion, l'IAV a pu « s'approprier » le modèle.

- En 2014, dans le cadre de la directive inondation, la DREAL a naturellement utilisé l'outil de modélisation globale mis en place par l'IAV pour cartographier les crues fréquentes et extrêmes dans le TRI Vilaine de Rennes à Redon. La reprise des modèles (vilaine amont et vilaine aval) a nécessité quelques modifications de la DREAL pour pouvoir modéliser la crue extrême (prolongation de certains tronçons, élargissement de certains profils en travers, modélisation d'ouvrages et casiers supplémentaires).

1.3 Réponse proposée

Initialement, la DDTM envisageait cette pré-étude en amont de la prescription de la révision en plusieurs étapes :

- analyse concertée des scénarios hydrologiques à modéliser à l'aide du modèle MIKE11
- utilisation du modèle en l'état pour modéliser ces scénarios hydrologiques, étude de sensibilité éventuelle sur la gestion des confluences par le modèle et la concomitance des événements (sensibilité du modèle à certaines hypothèses – en aval de Rennes en particulier)
- exploitation cartographique des résultats
- comparaison avec les cartographies réglementaires des PPRI existants (comparaisons des évolutions des zonages par rapport aux versions actuelles des PPR)
- identification des zones « sensibles » pour lesquelles une vigilance particulière sera nécessaire.

A l'issu de la réunion de lancement de fin février 2016, nous avons définit les points suivants

<u>1 – Spatialisation des lignes d'eau des PPRi antérieurs avec les nouvelles données topographiques (MNT Lidar – RGE Alti).</u>

Le but de cette étape est d'évaluer l'impact du seul changement de MNT (<u>M</u>odèle <u>N</u>umérique de <u>T</u>errain) sur la carte d'aléa. La méthodologie d'interpolation entre points de calcul peut aussi légèrement différer.
On testera DICarto et/ou CartoZI

2 – Prise en compte du nouveau modèle hydraulique

Le but de cette étape est de rejouer les scénarios hydrologiques (débits injectés) lors des PPRi antérieurs

On peut réaliser une comparaison sur la seule modification induite par le changement de modèle hydraulique. Pour ce faire, on comparera uniquement les cotes atteintes aux points d'aléas des PPRi antérieur. Cela permet à scénario hydrologique égale et sans spatialiser les lignes d'eau d'évaluer « le poids » des modifications hydrauliques.

Si possible : S'il est possible de ré-appliquer, à partir du MNT des PPRi antérieurs de re-dérouler la spatialisation avec la méthode et les données de l'époque.[2]

3 – Agrégation de 1 et 2.

Le but de cette étape est de comparer la cartographie d'aléa des PPR antérieurs et celle obtenue en rejouant les scénarios hydrologiques du PPR antérieur avec le modèle hydraulique actuel et la spatialisation sur les données actuelles

4 – Sensibilité aux différentes hypothèses

Le but de cette étape sera d'identifier avec la DDTM35 les différents choix de modélisation qui pourraient être discutés en cours d'études de révision du PPR et de faire des analyses de sensibilité à ces choix.[3]

> Définition de ce que nous allons comparer : a priori les cartes d'aléas et lorsqu'elles sont vectorisées, les zones pouvant changer de classe.

1.4 Déroulement de l'étude

– Discussion des contours de la mission et programmation DREAL-Cerema (octobre 2015 à janvier 2016)

– Règlement de quelques points sur la mise à disposition du modèle Mike (transfert de licence et de données)

– Réunion de lancement (26 février 2016)

– Phase de familiarisation avec les outils Mike (mars, avril 2016)

– Phase de familiarisation avec les modèles Vilaine amont, Vilaine aval et Oust (mai, juin 2016)

– Spatialisation des aléas des PPRi sur le MNT récents (août 2016)

– Analyse des résultats par comparaison des cartes (septembre 2016)

– Rejeu des scénarios hydrologiques des PPRi dans les modèles hydrauliques actuels (août à novembre 2016)

2 *La réunion d'avancement intermédiaire nous a permis d'écarter cette étape jugée inutile et impossible à mettre en œuvre.*

3 *Les discussions de la réunion d'avancement intermédiaire ont fait apparaître qu'une phase 2 de l'étude devait être programmée en 2017 pour correctement aborder cette analyse. L'analyse de sensibilité ne peut pas se faire « que » sur le modèle hydraulique. L'hydrométrie et le fonctionnement hydrologique doivent être étudiés pour alimenter l'analyse.*

– Analyse des résultats par comparaison des lignes d’eau (août à novembre 2016)
– Réunion intermédiaire – redéfinition des livrables (22 septembre 2016)
– Discussion autour du cas particulier de la Vilaine aval (décembre 2016)
– Rédaction du rapport (novembre, décembre 2016)

2 Prise en compte des nouvelles données topographiques (MNT Lidar) – Spatialisation de l'aléa des PPRi antérieurs

À partir des côtes représentatives de l'aléa hydraulique retenu dans les PPRi initiaux, tout le processus de cartographie est repris avec des données topographiques (MNT Lidar au pas de 1m) et des techniques de spatialisation « récentes ». **Le but de cette étape est d'évaluer l'impact du seul changement de MNT sur la carte d'aléa.**
La spatialisation complète est proposée pour la Vilaine, le Chevré (avec un MNT insuffisant), l'Ille, la Flume (avec un MNT insuffisant), le Garun, la Vaunoise (avec un MNT insuffisant sur une partie), le Meu sur sa partie aval (à partir de Montfort), la Seiche.

Elle n'est pas réalisée complètement pour l'Illet (MNT insuffisant), l'amont du Meu (MNT insuffisant), l'Ise (MNT insuffisant). Pour ces trois zones, nous sommes allés jusqu'à la création d'un raster des hauteurs classées (cf. 2.2.4).

Le Canut Nord, le Semnon, la Chère (hors 35), le Don (hors 35), le Canut Sud, l'Oust (hors 35), l'Isac (hors 35) n'ont pas été traités. La plupart n'étaient pas cartographiés dans les PPRi initiaux.

2.1 Cartes d'aléas initiales

Nous n'avons pas toujours pu identifier la source des données topographiques et la méthode de spatialisation qui a été appliquée pour l'élaboration des PPRi. Néanmoins, la cartographie de l'aléa s'appuyait sur l'interpolation des niveaux déterminés par modélisation hydraulique et par superposition sur un MNT. C'est la source du MNT utilisé à l'époque qui reste la plus forte inconnu. On ne sait pas toujours comment ont été intégrés les données topographiques de géomètres aux MNT (BD Alti ou Topo). Des opérations de post-traitement ont forcément été effectuées sans que celles-ci ne soient renseignées dans les rapports techniques de présentation. Ces opérations manuelles ont un poids important sur les couches géographiques d'aléas et les zones réglementaires.

2.2 Méthode de spatialisation des aléas PPRi sur un MNT récent

La cartographie de l'aléa (spatialisation) a été effectuée sous QGIS à l'aide du plugin cartoZI développé par P.A. Hans du SPC Loire-Cher-Indre de la DREAL Centre pour faciliter la cartographie des zones inondables dans le cadre de la directive inondation mais aussi de la prévision des inondations (établissement de Zones d'Inondation Potentielles).

Le plugin CartoZI s'appuie, pour la création des classes de hauteurs d'eau, sur la soustraction entre un Modèle Numérique de la Surface Libre en Eau (MNSLE) et un Modèle Numérique de Terrain (MNT), pour obtenir un raster de hauteurs brutes. Le MNSLE, créé à partir de données des profils en travers de cours d'eau ou de cotes d'eau atteintes issues de repères de crue, est construit sur l'emprise totale du modèle. Il faut ensuite filtrer les zones en eau pour ne conserver que celles en contact réel avec le cours d'eau, et donc créer un masque correspondant à la zone d'étude (notions de connexion-déconnexion hydraulique). Les dernières étapes consistent à définir les classes de hauteurs et à transformer le jeu de données raster en vecteur. Les différentes étapes sont

détaillées sur l'Illustration 2.

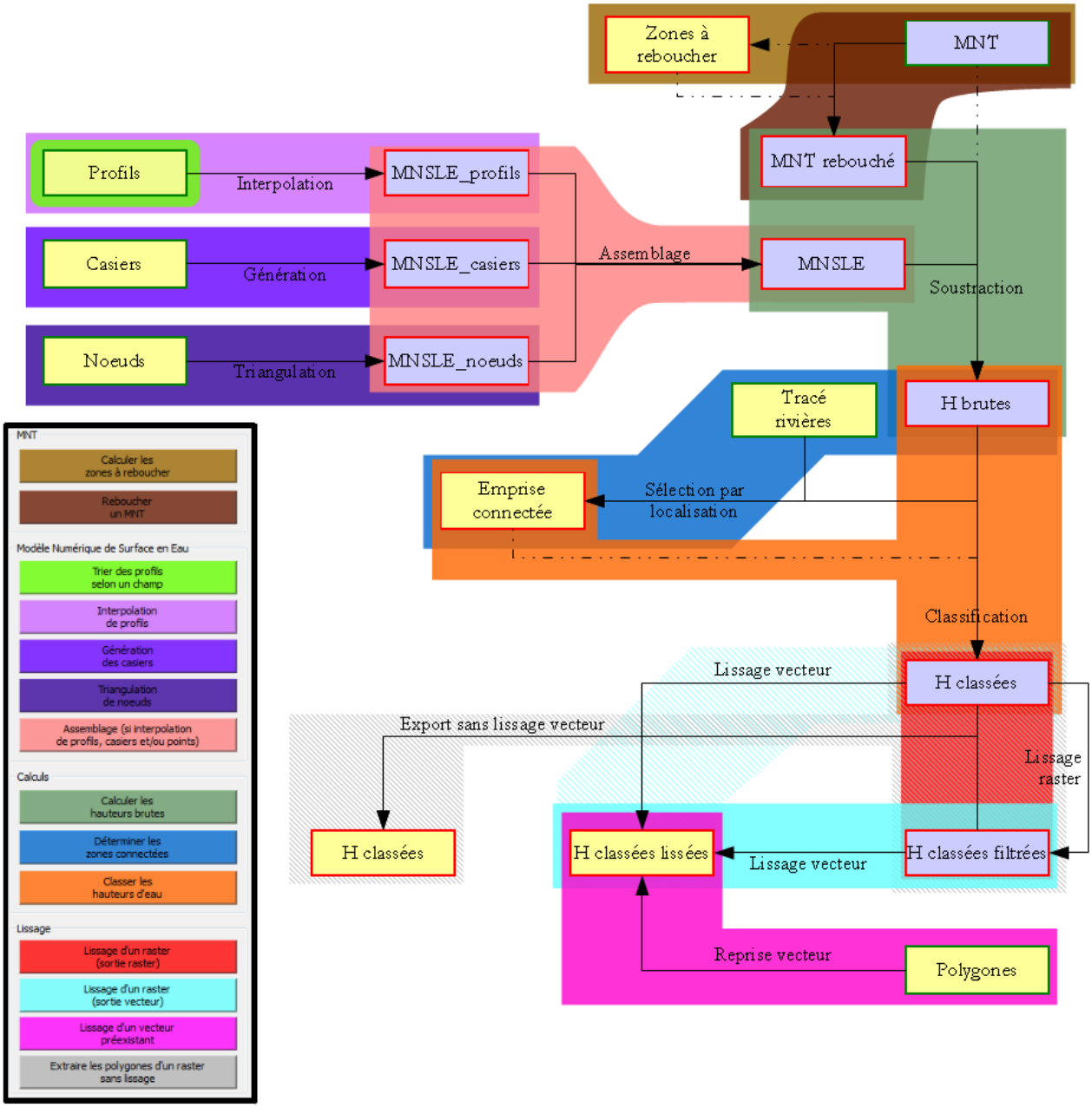


Illustration 2: Schéma expliquant le fonctionnement du plugin cartoZI. Dans notre étude, nous partons d'un MNT rebouché et de cotes atteintes par profil.

2.2.1 Tracé des profils en travers de spatialisation

La première étape (cf. Illustration 3) a consisté à tracer, pour chaque point d'aléa (de la couche SIG aléa transmise par la DDTM), un profil en travers perpendiculaire à l'axe d'écoulement de la rivière et passant par ce point. Cette opération a été effectuée sous QGIS, à l'appréciation de l'opérateur. Par conséquent, les profils en travers retracés ne sont pas les profils en travers des modèles hydrauliques mais des profils correspondant à une ligne isocote hydraulique. Selon le tracé retenu par l'opérateur, la suite de la méthode de spatialisation peut être légèrement influencée. L'impact d'un changement de tracé des

profils en travers d'interpolation sur le MNSLE est jugé très faible (quelques cm) et en deçà de l'incertitude altimétrique sur le MNT. **L'impact sera minime sur une cartographie finale d'aléas**. Les différences se situeraient dans des secteurs où la sinuosité du lit mineur implique des profils en travers successifs non parallèles et avec un dénivelé important. Cette situation n'a pas été rencontrée dans des secteurs à enjeux.

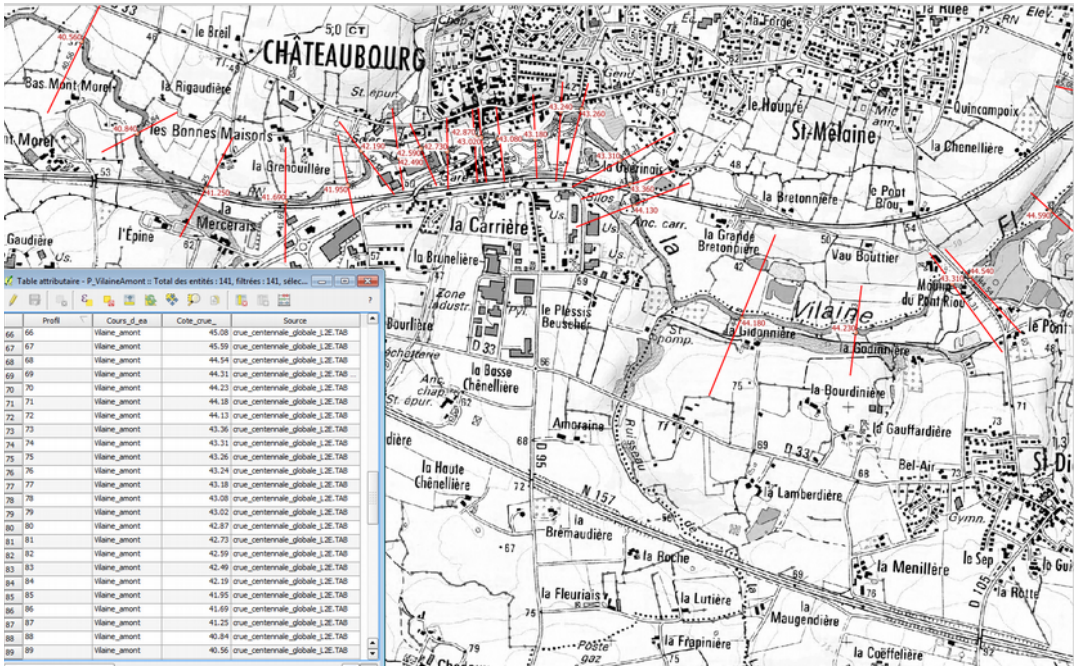


Illustration 3: Illustration 2: Tracé des profils en travers de spatialisation au niveau de Chateaubourg (PPRi Vilaine amont)

Livrables : couches SIG des profils en travers de spatialisation en Lambert 93 et table attributaire (P_VilaineAmont.shp, P_VilaineAmont_Bief.shp, P_Chevre.shp, P_Ille.shp, P_Illet.shp, P_Ille_Bief1.shp, P_Ille_Bief2.shp, P_Flume.shp, P_Vaunoise.shp, P_Meu.shp, P_Garun.shp, P_Ise.shp, P_Seiche.shp, P_VilaineAval.shp, P_affluent_VilaineAval.shp, P_Oust.shp)

2.2.2 Création du MNSLE par interpolation

À partir des profils en travers, ceux-ci ont été interpolés à l'aide de cartoZI pour former le MNSLE (cf. Illustration 4)

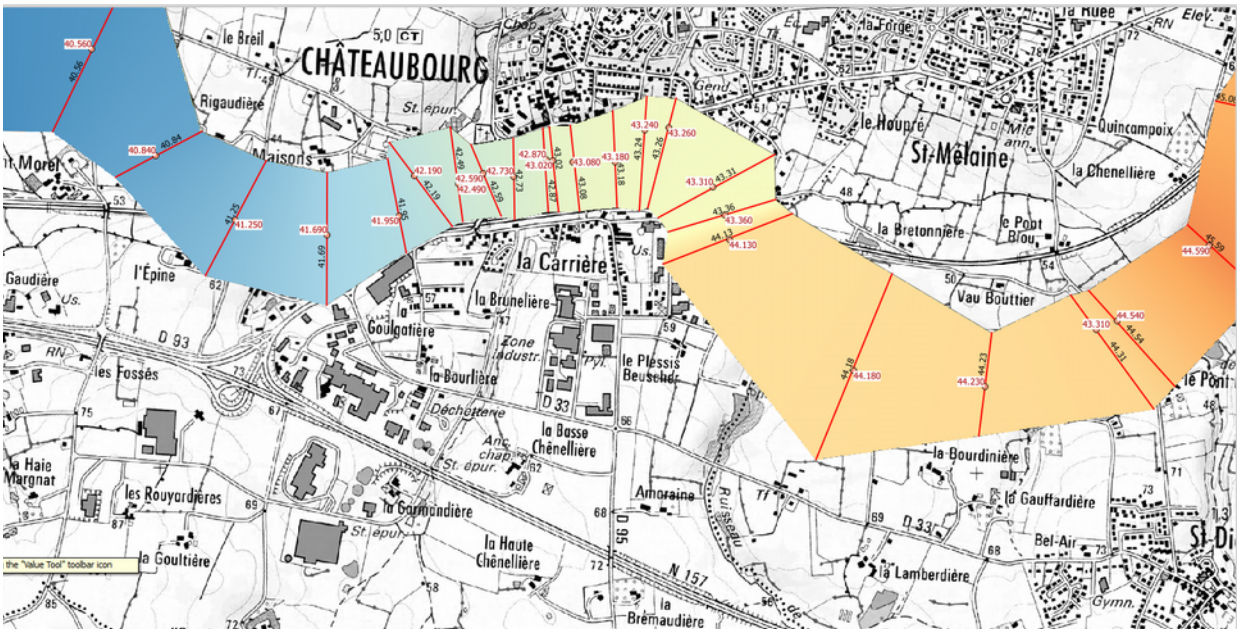


Illustration 4: MNSLE généré par interpolation bilinéaire des profils en travers

Livrables : couches SIG des MNSLE au format raster 1m x 1m en Lambert 93 (mnsle_VilaineAmont.tif, mnsle_VilaineAmont_Bief.tif, mnsle_Chevre.tif, …)

2.2.3 Détermination des hauteurs bruts par soustraction MNSLE-MNT

Ce module réalise une simple soustraction entre un modèle numérique de surface libre en eau (MNSLE), précédemment créé (issu des modules « Interpolation de profils ») et un modèle numérique de terrain (MNT). Il indiquera les hauteurs de submersion par rapport au terrain naturel.

Livrables : couches SIG des hauteurs brutes au format raster 1m x 1m en Lambert 93 (Heau_brutes_VilaineAmontAval.tif…). Il s'agit des couches les plus lourdes.

2.2.4 Classement des hauteurs

Ce module utilise le raster de hauteur d'eau, issu du module « Calculer les hauteurs brutes ». Il permet de classer les hauteurs d'eau par classes d'aléa. On retiendra les classes suivantes : **1** – aléa faible – 0 < Heau < 0,5m ; **2** – aléa moyen – 0,5m < Heau < 1m ; **3** – aléa fort – 1m < Heau < 1,5m ; **4** – aléa fort – 1,5m < Heau < 2m ; **5** – aléa très fort – 2m < Heau

Tableau 3 : Classes de hauteur d'eau

Classe (valeur du raster)	Hauteurs d'eau
No data	Différence MNSLE-MNT négatif = pas d'eau
1	entre 0 et 0,5m
2	entre 0,5 et 1m
3	entre 1 et 1,5m

4	entre 1,5 et 2m
5	supérieures à 2m

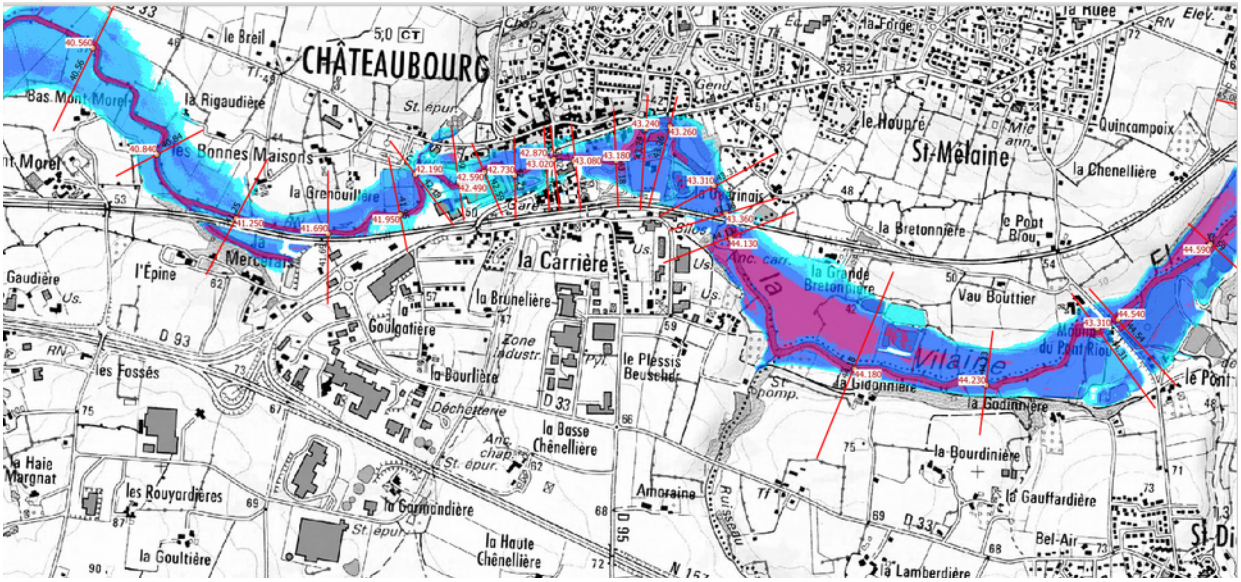


Illustration 5: Carte des hauteurs classées déterminées par soustraction MNSLE-MNT (Cyan - 0 < Heau < 0,5m ; Bleu clair - 0,5m < Heau < 1m ; Bleu foncé - 1m < Heau < 2m;Violet - 2m < Heau

Livrables : couches SIG des classes de hauteur au format raster 1m x 1m en Lambert 93 (Heau_classees_VilaineAmontAval.tif…)

2.2.5 Post-traitement

Les opérations de post-traitement sont indispensables pour passer d'une carte d'aléa « brute » à une carte qui sera exploitable pour la suite d'un PPRi et qui sera ensuite interprétable pour les services en charge d'appliquer ou de contrôler la bonne application du PPRi. Cette étape nécessite parfois une intervention manuelle du dessinateur. Dans tous les cas, elle passe par une simplification.

Les deux modules de lissage permettent au besoin une simplification de la donnée produite. En effet, avec l'utilisation de donnée topographique précise – donc bruitée – le calcul des hauteurs brutes entraîne une pixellisation importante du raster, non significative dans le cadre de la représentation de l'aléa inondation. Cela permet à la fois d'alléger les couches produites (en particulier, les couches vectorielles qui seront manipulables plus facilement) et de supprimer une fausse idée de précision qui peut être donnée avec une donnée bruitée.

Deux manipulations ont été effectuées pour obtenir une couche vectorielle d'aléa exploitable.

Dans un premier temps, un lissage sur le raster (opération de filtre) a été effectué. Le principe de ce lissage est d'utiliser un voisinage de pixels pour affecter les valeurs. Ce voisinage et la pondération utilisée sur celui-ci sont définis par un filtre. Le filtre médian affecte comme valeur à un pixel la valeur médiane des pixels situés dans son voisinage. Ce voisinage est défini par la taille de la fenêtre (une taille 3 correspondant à un carré de 9 pixels dont le pixel central est celui qui sera modifié). L'option « respecter le contour exact » permettant d'éviter les effets de lissage sur les bords a été activée.

Dans un second temps, un lissage sur le raster afin d'obtenir une couche vectorielle de polygone a été effectuée. **La couche produite constitue la finalité visée par CartoZI : une couche vectorielle de classes de hauteurs d'eau, légère et donc facilement utilisable.** Le lissage s'est effectué en deux sous-étapes :

- la suppression des petits polygones que l'on juge non représentatifs : en fonction de l'échelle d'utilisation souhaitée, conserver des polygones inférieurs à une certaine surface n'est pas utile (par exemple, à une échelle 1/25000, une surface de 500m² correspond à une surface de 1mm² sur le rendu papier). Ce processus de lissage est toujours réalisé au cours du traitement. **Nous avons supprimé tous les polygones dont la surface est inférieure à 100m².**
- la modification de la géométrie : l'inconvénient de travailler à partir d'un raster est que la couche résultante est « anguleuse » ; en plus de ne pas être agréable pour la visualisation, cela augmente la taille des fichiers. Ce processus – facultatif – permet de modifier les contours pour atténuer ces effets et alléger la couche. Nous avons appliqué à deux reprises la combinaison des algorithmes de Chaicken (ratio : 3, distance max : 5 et répétitions : 1) et de Ramer-Douglas-Peucker (tolérance : 2) en conservant les points jonctions.

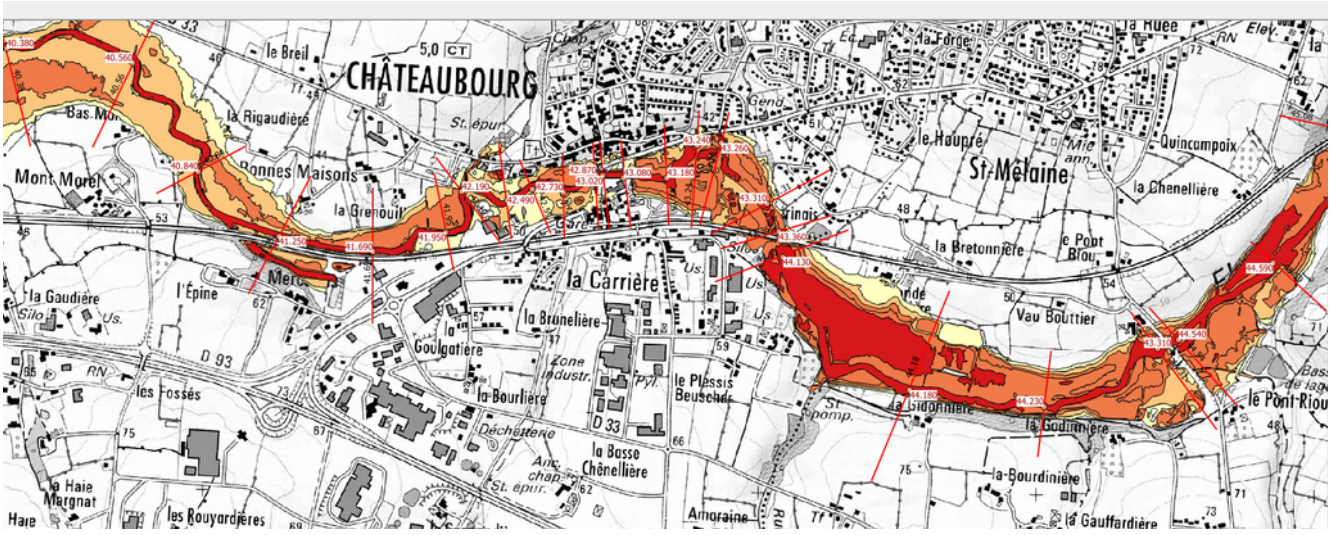


Illustration 6: Aléas post-traité par suppression des polygones inférieurs à 100m²

Livrables :

1. couches d'aléas SIG des classes d'aléas filtrées au format raster (aléas_liss_rast_Vilaine_Amont.tif...)
2. et couches SIG des classes d'aléa au format vectoriel (polygones) (aleas_liss_vect_Vilaine_Amont.shp, …)
3. Une unique couche SIG des classes d'aléa au format vectoriel issu de la fusion des couches par rivière (fusion_spatialisation.shp)

2.3 Résultats

Il est possible d'établir une comparaison des couches SIG par transparence ou activation-désactivation. C'est probablement l'utilisation qui en sera la plus faite par la DDTM qui connaît les secteurs potentiellement problématiques avec des enjeux importants. Les

couches vectorielles permettent aussi d'affiner l'analyse par des requêtes spatiales. À partir des couches d'aléas des PPR d'une part, et des couches d'aléas issues de la re-spatialisation sur les MNT actuels, il est possible d'effectuer de nombreuses analyses.

Il est par exemple possible de déterminer les zones dont l'aléa serait « aggravé » en prenant en compte le nouveau MNT. Pour ce faire, il « suffit » de filtrer (ou de sélectionner) dans la couche d'aléas PPRi (fusion_aleas_PPRI.shp) les zones d'aléas faible et moyen, de filtrer (ou de sélectionner) dans la couche de re-spatialisation (fusion_spatialisation.shp) les zones d'aléas fort et très fort. L'intersection des deux sélections fournit une couche de zones passant d'un aléa faible ou moyen à fort ou très fort.

De très nombreuses analyses sont possibles. Toutes n'ont pas été réalisées.

Exemples :

Étant donné que dans les zones urbaines, selon le règlement des PPRI Vilaine amont, Bassin Rennais, Vilaine médiane et Meu, Garun, Vaunoise, le changement de zonage réglementaire se fait entre l'aléa moyen et l'aléa fort, nous avons cartographié par requête les zones passant d'aléas faible ou moyen à fort.

Livrable : faible-moyen_vers_fort-Tfort.shp

Nous avons aussi sélectionné les zones sans aléa dans les PPRI et concernées par un aléa avec la nouvelle spatialisation (couche nouvelles_zones.shp). On distinguera dans la table attributaire si le nouvel aléa est faible, moyen, fort ou très fort.

Livrable : nouvelles_zones.shp

Tableau 4 : Synthèse des couches d'analyse proposées

Nom de la couche	Aléa PPRI	Re-spatialisation de l'aléa	Conséquence sur l'aléa
nouvelles_zones.shp	Aucun	Faible-Moyen-Fort-Très Fort	Aggravation
faible-moyen_vers_fort-Tfort.shp	Faible-Moyen	Fort-Très Fort	
faible_vers_moyen-fort-Tfort.shp	Faible	Moyen-Fort-Très Fort	
anciens_aleas.shp	Faible-Moyen-Fort-Très Fort	Aucun	Diminution
fort-Tfort_vers_faible-moyen.shp	Fort-Très Fort	Faible-Moyen	
faible-moyen.shp	Faible-Moyen	Faible-Moyen	~même aléa
Fort-tresfort.shp	Fort-Très Fort	Fort-Très Fort	

Les couches d'analyse proposées peuvent directement être utilisées par la DDTM pour repérer si des changements importants apparaissent dans des zones d'enjeux.

Il est aussi possible pour faciliter ce travail, de faire une requête spatiale sur une base de données « enjeux » comme le thème « Bâti » de la BD Topo ou la couche bâtiment de la BD parcellaire.

2.3.1 PPRi Vilaine amont

Nous avons remarqué deux erreurs de report de cotes sur la carte d'aléas et les cartes réglementaires aux points Vam12 et Vam62v. La comparaison des lignes d'eau (cf. 3.3.1 – Illustration 14) viendra confirmer cette observation. Une cote à 69m (et non 68m) serait plus cohérente au Vam12. Une cote à 44,31m (et non 43,31m) serait plus cohérente au Vam62v.

Un peu plus de 70 « bâtiments en dur » seraient concernés par un aléa en cas de re-spatialisation alors qu'ils ne le sont pas dans le PPRI actuel. Bon nombre d'entre eux sont très partiellement touchés par l'enveloppe d'aléa faible. D'autres sont classés en aléa faible du fait du nettoyage réalisé sur le levé Lidar brut pour aboutir à un MNT. Une vingtaine de bâtiment sont touchés par un aléa fort en prenant en compte le nouveau MNT alors qu'ils n'étaient classés qu'en aléa faible ou moyen dans le PPR.
Les secteurs urbains de Vitré et Chateaubourg font monter ces nombres. Sur de tels secteurs un travail plus fin de cartographie serait nécessaire.

2.3.2 PPRi Bassin Rennais

Les MNT sur l'Illet, la Flume et le Chevré ne sont pas suffisants. La comparaison n'y a pas d'intérêt. **L'acquisition d'un MNT est à prévoir.** L'utilisation du RGE Alti est insuffisante pour les secteurs non couverts par un MNT Lidar. Dans ce cas, le RGE Alti reprend le MNT de la BD Alti qui présente des insuffisances pour spatialiser l'aléa (cf. Illustration 7).
La comparaison entre les aléas du PPRi et l'aléa re-spatialisé est possible le long de la Vilaine et de l'Ille et l'aval du Meu et de la Seiche.

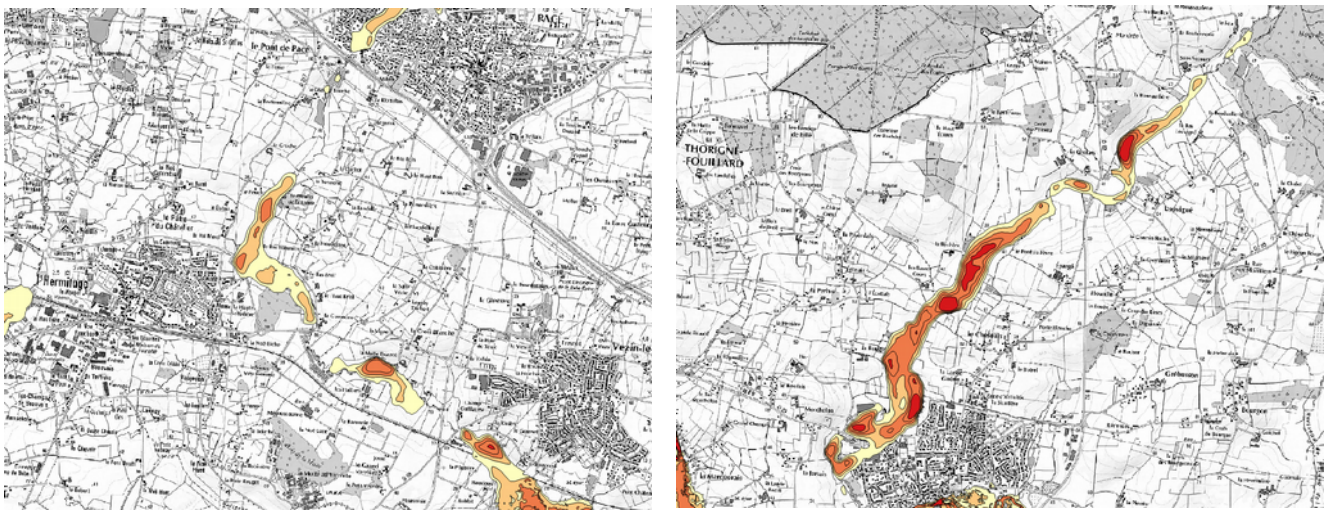


Illustration 7: Impact d'un MNT insuffisant sur la spatialisation de l'aléa (secteur Flume et Chevre)

Les secteurs de confluences (notamment entre l'Ille et la Vilaine et le Meu et la Vilaine) nécessitent un traitement particulier (utilisation de masque de délimitation, intervention sur les profils, fusion). La présente étude n'ayant pas pour objet la production de cartes d'aléas, nous ne nous sommes pas attardés sur ce point.

Il en est de même pour les trois secteurs de diffluences (Bief du Mail – Ille / bras Ille rive

gauche (la Motte-Brûlon) / Ille, et Vilaine bras droit rennes / Vilaine bras gauche rennes). Les cotes atteintes peuvent-être différentes entre les bras. Nous avons appliqué des masques de délimitation sans analyse approfondie.

Quelques bâtiments en bordure de zone inondable par la Q100 seraient ponctuellement touchés par un aléa faible en amont de la rocade de Rennes sur la Vilaine.

Le long de la Vilaine, dans la ville de Rennes, environ 700 « bâtiments en dur » concentrés sur l'aval (entre la Place Pasteur et la rocade) seraient touchés par un aléa faible alors qu'ils ne sont pas concernés actuellement par un aléa dans le PPRI (cf. Illustration 8). Derrière ce chiffre impressionnant, la situation semble moins préoccupante. En effet, de nombreux îlots de bâtiments ne sont pas directement connectés à la Vilaine et, par conséquent, ils seront parfois considérés comme non inondables. L'effet de nettoyage du levé Lidar brut se fait parfois sentir lorsqu'on voit qu'un îlot isolé forme une tache d'aléa.

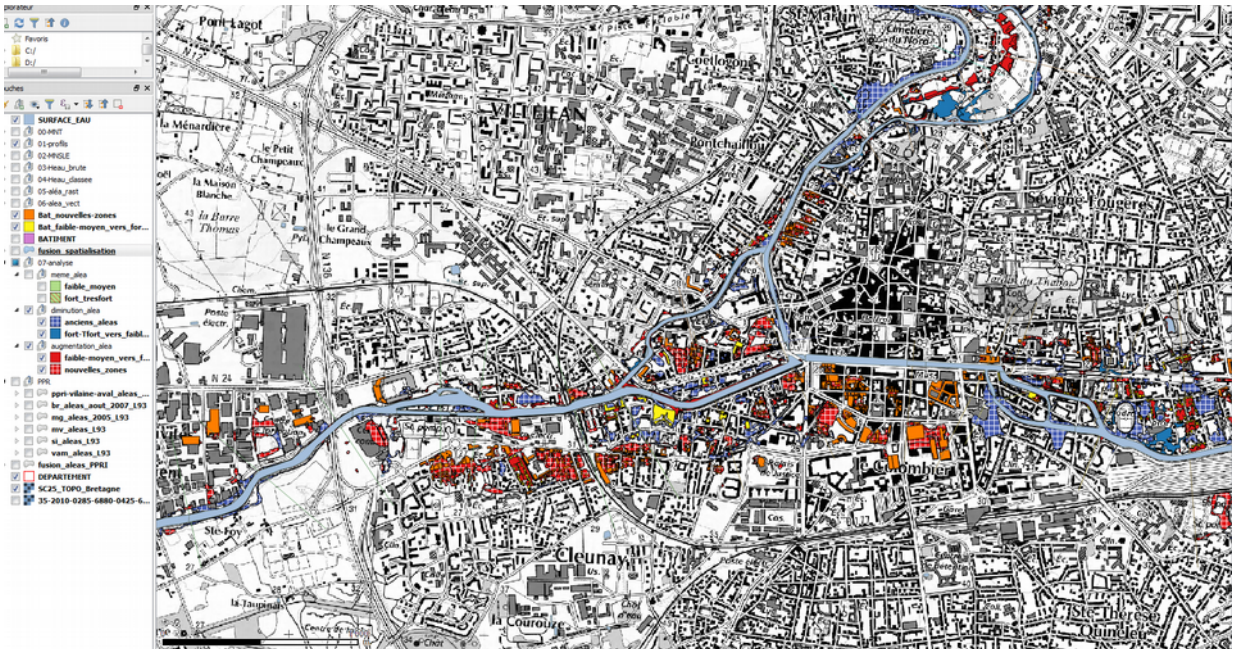


Illustration 8: Aggravation de l'aléa en prenant en compte le nouveau MNT - Ouest de Rennes

C'est le quartier de Cleunay qui concentre le plus d'enjeux potentiellement inondables et non pris en compte (ou pris en compte avec une enveloppe plus restreinte) dans le PPRI. La prise en compte des études de dangers des digues de la ville de Rennes permettrait d'affiner la connaissance de ce secteur.

À l'aval de Rennes, peu de zones sont concernées par l'apparition d'un aléa non pris en compte dans le PPRI. Le quartier de « la Chaise » ou « la Gandonnière » à Bruz à côté du Golf de Cicé-Blossac serait situé en aléa faible.

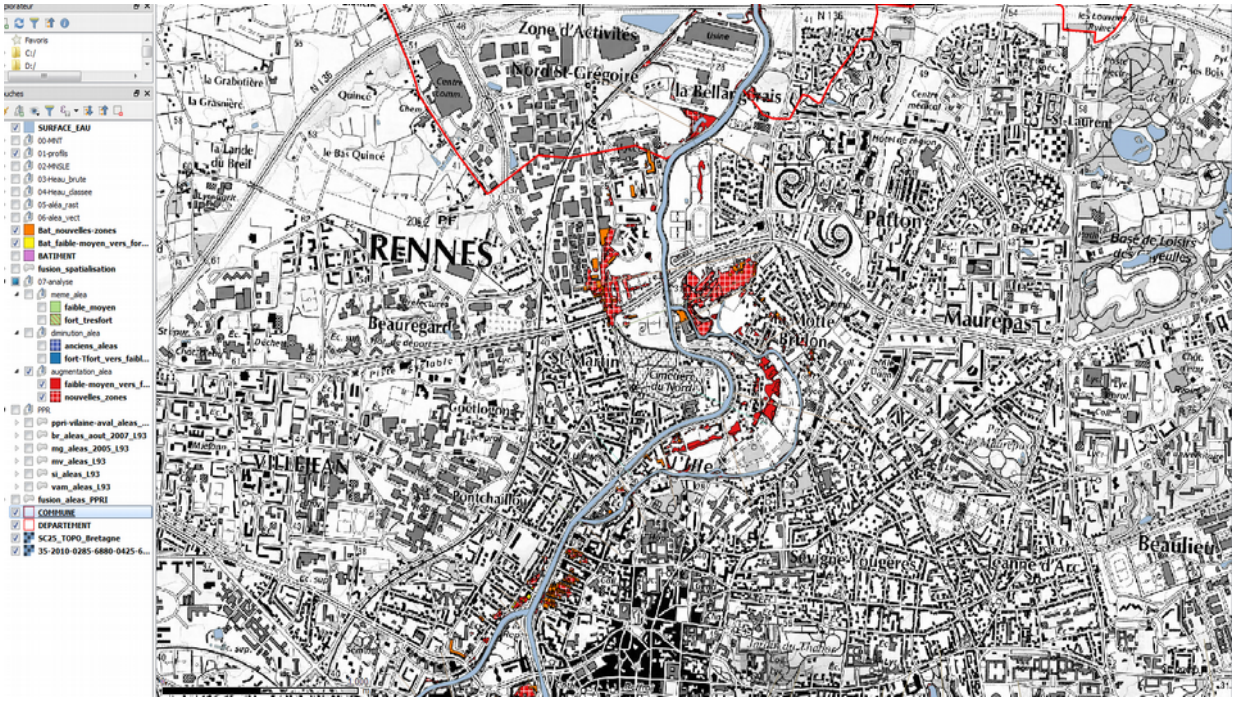


Illustration 9: aggravation de l'aléa le long de l'Ille en prenant en compte le nouveau MNT

Le long de l'Ille, une dizaine de bâtiments en rive gauche à Betton seraient nouvellement concernés par un aléa faible. Quelques bâtiments en rive droite au nord du Bd d'Armorique, en rive gauche au nord du quartier de la Motte Brûlon et en rive gauche (rue Noël du Fail, rue Robelin, rue Jacques Cassard, rue d'Échange) entre aussi dans une zone d'aléa (Illustration 9).

Le long du Meu, très peu de bâtiments « entrent » dans l'enveloppe d'aléa ou changent de classes d'aléa par la nouvelle spatialisation.

Sur l'aval de la Seiche, environ 130 « bâtiments en dur » seraient concernés par un aléa en cas de re-spatialisation alors qu'ils ne le sont pas dans le PPRI actuel.

2.3.3 PPRi de la Meu, du Garun et de la Vaunoise

Le MNT le long du Meu est insuffisant en amont de Montfort-sur-Meu, les résultats sont toutefois « moins mauvais » que sur le Chevré, l'Illet ou la Flume. Le constat est le même le long de la Vaunoise.
La comparaison est envisageable sur le Garun hormis une zone boisée où visiblement le MNT Lidar n'a pas été correctement post-traité donnant l'impression d'une « disparition » sur quelques dizaines de mètres de la rivière (cf. Illustration 10). Cette erreur peut aussi s'expliquer par un profil en travers manquant au moment de l'interpolation. La comparaison peut aussi être faite sur le Meu dans la traversée de Montfort et à son aval mais les couches d'aléas du PPRi ne sont pas vectorisées.

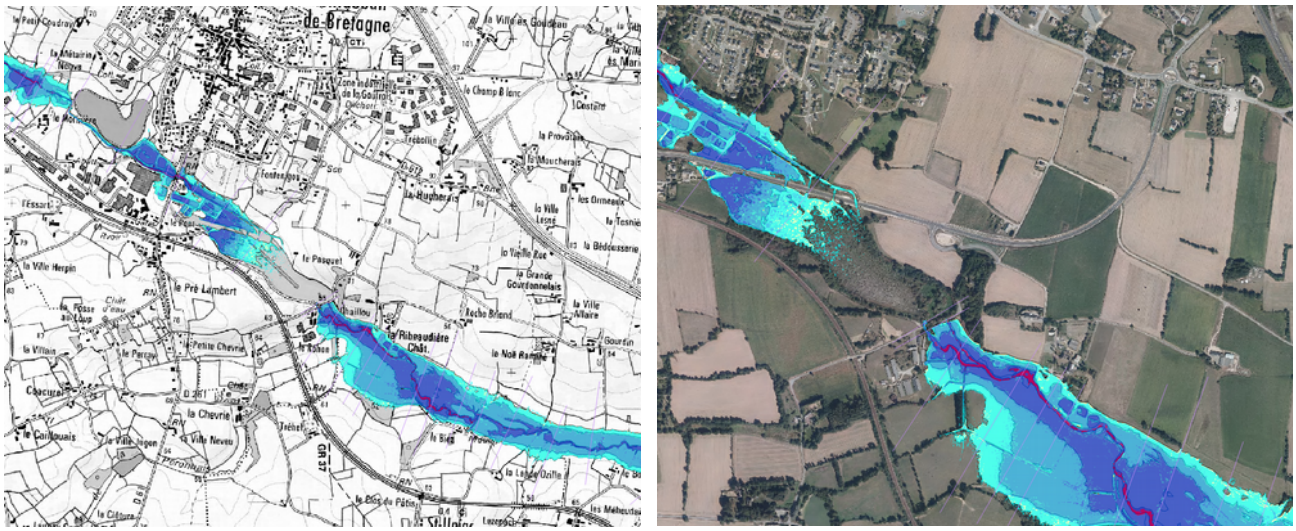


Illustration 10: "Interruption de l'aléa du fait d'un mauvais traitement du MNT ou d'un profil hydraulique manquant dans l'interpolation (le MNSLE passe sous le MNT).

Le long du Garun, la prise en compte du nouveau MNT tendrait plutôt à diminuer l'aléa. Le long du Meu, l'enveloppe ne varie que très peu. Seulement quelques bâtiments « entreraient » dans l'enveloppe d'aléas.

2.3.4 PPRi de la Seiche et de l'Ise

La comparaison est possible seulement sur la Seiche. Le MNT disponible sur l'Ise n'est pas suffisant. La spatialisation de l'aléa n'y a pas été faite au-delà de l'étape de détermination des hauteurs classées.

Le long de la Seiche, la re-spatialisation de l'aléa à partir des cotes du PPRI donne des variations d'emprises relativement importantes. Ainsi, la spatialisation sur le nouveau MNT est aggravante entre Carcraon et Visseiche (cf. Illustration 11), entre Marcillé-Robert et la RD777 (cf. Illustration 12).

Entre Carcraon et Visseiche, une bonne cinquantaine de « bâtiments en dur » et une vingtaine de « constructions légères » seraient concernées par un aléa alors qu'ils ne sont pas dans l'enveloppe du PPRI en vigueur.

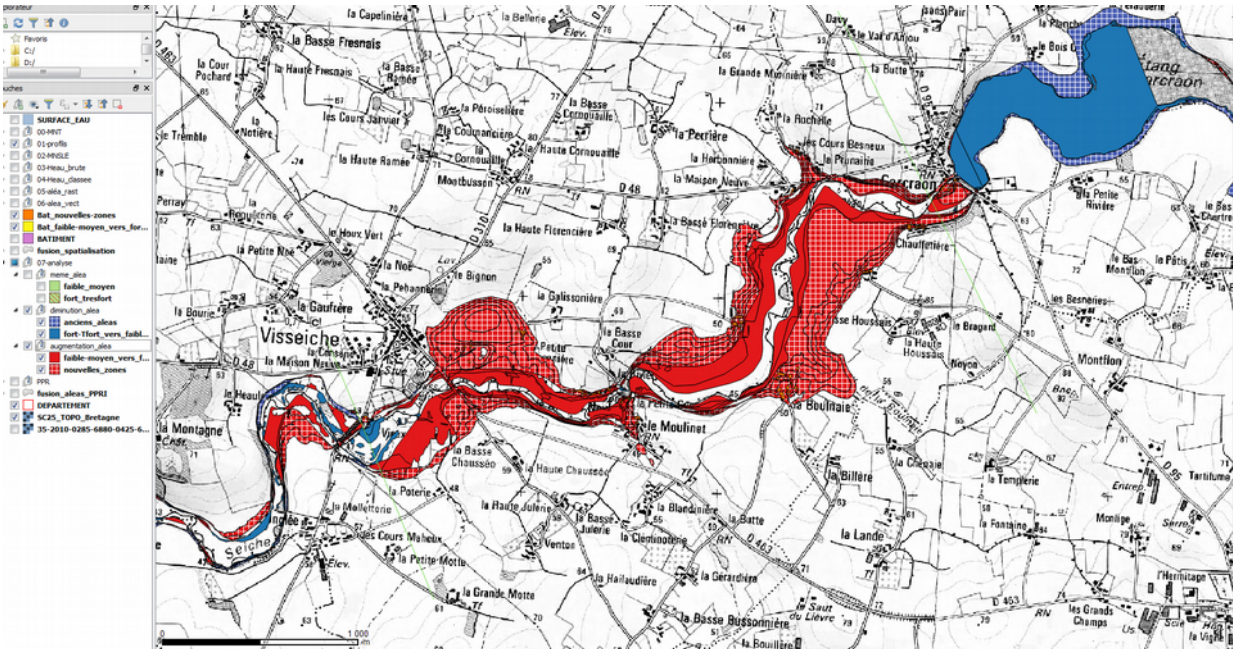


Illustration 11: Aggravation de l'aléa par re-spatialisation sur le nouveau MNT entre Carcraon et Visseiche.

Entre Marcillé-Robert et la RD777, environ 75 « bâtiments en dur » et une soixantaine de « constructions légères » seraient concernées par un aléa alors qu'ils ne sont pas dans l'enveloppe du PPRI en vigueur. Environ 20 « bâtiments en dur » passeraient d'un aléa faible ou moyen à fort ou très fort impliquant des changements réglementaires.

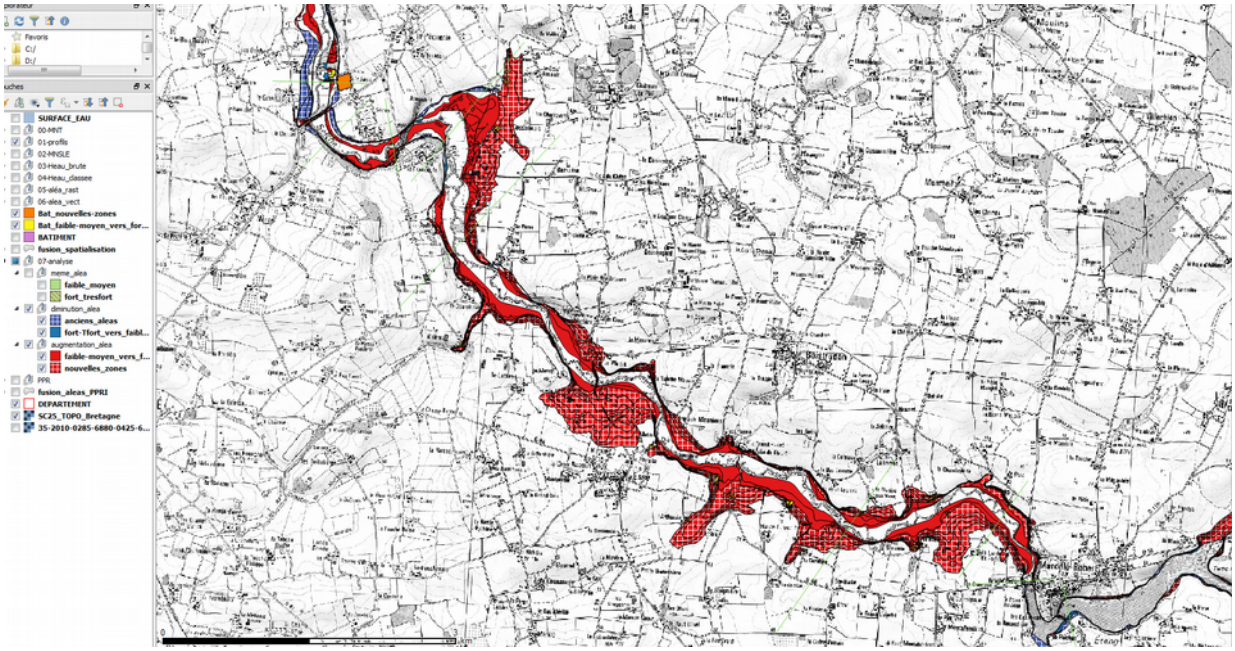


Illustration 12: Aggravation de l'aléa par re-spatialisation sur le nouveau MNT entre Marcillé-Robert et le franchissement de la RD777.

Cette aggravation de l'aléa est à prendre en compte et éventuellement à anticiper. Il conviendra dans un premier temps d'analyser ce « résultat » et de le confronter à la connaissance locale de la vulnérabilité du secteur. Par ailleurs, la densité faible de points d'aléa disponibles et utilisés pour spatialiser l'aléa peut en partie expliquer.

2.3.5 PPRi moyenne Vilaine

Le long de la Vilaine, la re-spatialisation de l'aléa sur le nouveau MNT donne une cartographie d'aléa assez similaire à celle du PPRI. Les variations d'emprises de la zone inondée par la Q100 et les changements importants de classe d'aléa sont peu importants.

Sur Pont-Réan, l'aléa requalifié est très proche de l'aléa du PPRI. Sur tout le linéaire du PPRI, environ 160 « bâtiments en dur » et une cinquantaine de « constructions légères » seraient concernés par un aléa alors qu'ils ne le sont pas selon le PPRI. Environ 80 bâtiments passeraient d'un aléa faible-moyen dans le PPRI à un aléa fort-très fort dans la re-spatialisation. Ces enjeux se retrouvent ponctuellement tout le long de la Vilaine avec quelques secteurs concentrant quelques changements (secteurs de le Boël à Guichen, Bourg-les-Comptes, de l'écluse de Macaire et le Pont Neuf à Pléchatel, Tréguily et la Chopinaie à Guipry-Messac).

2.3.6 PPRi Vilaine aval

Sur le PPRI Vilaine-aval, l'emprise de la zone inondée par re-spatialisation est quasiment similaire à l'emprise PPRI. Ceci s'explique par des limites morphologiques de la plaine inondables relativement nettes et faciles à cartographier. La re-spatialisation sur le nouveau MNT n'entraînant que très peu de variations, les enjeux changeant de classe d'aléa ou entrant dans l'aléa sont très peu nombreux (quelques dizaines dont certains sont « juste » en contact par un coin du polygone avec la couche d'aléa).

2.4 Conclusions partielles

Des acquisitions de MNT doivent être envisagées pour couvrir l'ensemble des zones :

- Chevré
- Illet
- Flume
- Meu (amont)
- Vaunoise
- Ise

Les tâches de post-traitement doivent être anticipées. Elles seront potentiellement lourdes d'impact sur certaines parcelles. Plusieurs options sont envisageables en ayant conscience qu'actuellement, il n'y a pas de méthode prônées ou partagées entre DGPR, DREAL, DDTM, Cerema et bureaux d'études. La méthode de post-traitement devra être détaillée dans le CCTP ou par le prestataire.

Il est inévitable que certains bâtiments proches de l'enveloppe d'aléa du PPRI entrent dans l'enveloppe en cas de révision et ceci, même si la cote de référence ne change pas. D'autres bâtiments « sortiraient de l'aléa ».

3 Rejeu des scénarios des PPRi avec le modèle hydraulique

3.1 Découpage des modèles en fonction des ppri

Six PPRI sont en vigueur sur le bassin versant de la Vilaine. Le Tableau 5 indique quels modèles sont rattachés à ces PPRI. Il précise également si la zone de prescription du PPRI est couverte intégralement ou pas par le modèle existant sous MIKE11.

Tableau 5 : Détail de la couverture des modèles sur les six PPRI

PPRI	Cours d'eau	Référence modèle	Couverture MIKE11	Observations
Vilaine amont	Vilaine	Vilaine Amont	Intégrale	
Bassin rennais	Vilaine	Vilaine Amont	Intégrale	
	Chevré	Vilaine Amont	Intégrale	
	Illet, Ille	Vilaine Amont	Partielle	Manque la commune de Saint-Médard-sur-Ille en amont de l'Ille
	Flume	Vilaine Amont	Partielle	Manque la commune de Gevezé en amont
	Meu	Vilaine Amont	Intégrale	
	Vaunoise		Nulle	
	Blosne		Nulle	
	Seiche	Vilaine Amont	Partielle	Manque la commune de Vern-sur-Seiche en amont
Vilaine moyenne	Vilaine	Vilaine Amont / Vilaine aval	Intégrale	Manque 3 ouvrages
	Semnon	Vilaine aval	Intégrale	Les ouvrages ne sont pas intégrés au modèle
Vilaine aval	Vilaine	Vilaine aval	Intégrale	Manque 2 ouvrages
	Chère	Vilaine aval	Intégrale	
	Don	Vilaine aval	Intégrale	
	Oust	Vilaine aval / Oust	Intégrale	
	Arz	Oust	Intégrale	
	Isac	Vilaine aval	Intégrale	

PPRI	Cours d'eau	Référence modèle	Couverture MIKE11	Observations
Meu – Garun-Vaunoise	Meu	Vilaine Amont	partielle	Manque les communes en amont de Montfort-sur-Meu
	Garun	Vilaine Amont	partielle	
	Vaunoise		Nulle	
Seiche – Ise	Seiche		Nulle	
	Ise		Nulle	

La couverture du modèle MIKE est suffisante par rapport à l'emprise du PPRI Vilaine amont.

Sur le PPRI Bassin Rennais, elle est suffisante sur la Vilaine, le Meu et sur l'Illet. Sur l'Ille, il manque la commune de Saint-Médard-sur-Ille, mais ce secteur n'était pas couvert par un modèle dans le PPRI (détermination de l'aléa par analyse hydrogéomorphologique). Il manque également la couverture des communes de Gevezé (bassin versant de la Flume) et de Vern-sur-Seiche (bassin versant de la Seiche). Par contre ces deux communes sont couvertes par un modèle hydraulique dans le PPRI. La Vaunoise et le Blosne ne sont pas modélisés ni sur MIKE ni dans le PPRI (détermination de l'aléa par analyse hydrogéomorphologique).

Sur le PPRI Meu-Garun-Vaunoise, la couverture du modèle MIKE est quasi-nulle.

Sur le PPRI Seiche-Ise, la couverture du modèle MIKE est nulle.

Sur le PPRI Vilaine moyenne, la couverture du modèle MIKE est suffisante sur la Vilaine et le Semnon. Cependant, Il manque des ouvrages.

Sur le PPRI Vilaine aval, la couverture du modèle MIKE est suffisante sur la Vilaine et ses affluents.

3.2 Méthodologie

Les simulations ont été réalisées pour chaque cours d'eau (couvert par le modèle) en mode transitoire avec des hydrogrammes « quasi-permanents ». Pour chaque cours d'eau, des hydrogrammes ont été construits en plafonnant la valeur de débit à sa valeur maximale sur le temps de la simulation (Illustration 13), correspondant au débit de référence. L'utilisation de ce mode transitoire avec des hydrogrammes fictifs non représentatifs offre avantages et inconvénients.

Parmi les **avantages**, le principal est de repérer les instabilités du modèle par rapport à une simulation en mode permanent qui ne le permet pas. Cette approche permet aussi une approche plus réaliste que le mode permanent sur l'aval où une condition en hauteur sur la frontière aval aurait potentiellement un impact sur la ligne d'eau. L'approche « quasi-permanent » présente aussi l'avantage d'être robuste et de ne pas avoir d'incertitudes concernant les débits passant en chaque point du réseau.

Le principal **inconvénient** de la méthode est, à l'instar d'une approche « en permanent », de saturer l'ensemble du lit majeur pouvant conduire en une légère surestimation de l'aléa. Cette approche ne permet pas de représenter le laminage des crues par les zones de stockage. On considère cependant que l'impact de ce choix serait sensible sur la ligne d'eau uniquement dans les secteurs de stockage dans une zone avec peu d'enjeux en amont de Redon. Par ailleurs, l'effet relatif du laminage pourrait d'autant moins se faire sentir que la crue est importante (volume de débordement et de stockage « limité » par rapport aux volumes des crues). Bien que plus réaliste et rigoureuse, l'approche proposée pour la cartographie des TRI (déphasage des hydrogrammes) est d'autant plus difficile à mettre en œuvre que le secteur est complexe. C'est particulièrement le cas à l'aval du bassin.

Quel que soit le mode de modélisation retenu (permanent, transitoire avec des hydrogrammes quasi-permanents ou transitoire avec déphasage des hydrogrammes), s'ils présentent tous avantages et inconvénients, il faut relativiser leur différence compte-tenu de la méconnaissance liée à l'absence de mesure des débits sur l'aval du bassin.

Le mode de simulation retenu ne permet pas d'obtenir en une seule et même simulation les hauteurs d'eau de la Vilaine et de ses affluents.[4] En effet, il n'y a pas de concomitances (additivité) des débits de références aux niveaux des toutes les confluences. Les simulations du cours d'eau principal et des affluents ont donc été séparées.

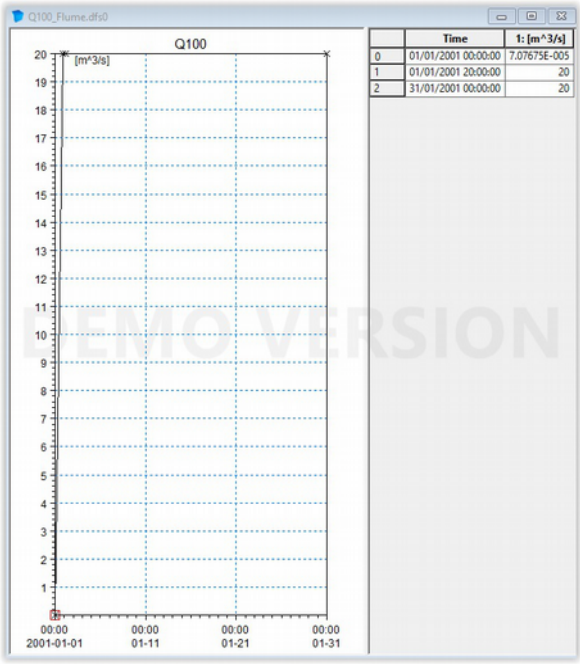


Illustration 13 : exemple d'hydrogramme « pseudo-permanent » sous MIKE11

Pour les quatre PPRI étudiés (Vilaine amont, Bassin rennais, Vilaine moyenne et Vilaine aval), la première simulation a concerné les hauteurs d'eau du cours principal de la Vilaine. Les apports des affluents sont ajustés pour que le débit modélisé de la Vilaine soit cohérent avec le débit de référence sur tous les biefs. On donne en amont des confluences « priorité » au débit de pointe de la Vilaine ajustant le débit de l'affluent pour

4 *Dans le cadre de la cartographie du risque sur le TRI, la DREAL Bretagne avait mis en œuvre une méthode plus rigoureuse (en termes de volume des crues, bien que fictives) mais difficile à mettre en œuvre « rapidement » pour notre étude. Le déphasage des hydrogrammes de crue entre affluents nécessitant de nombreux tests.*

respecter le débit à l'aval de la confluence.

Dans un second temps, des simulations ont été réalisées sur les affluents de la Vilaine (une simulation par affluent). Dans ces cas, le débit de l'affluent concerné est fixé à la valeur de référence du PPRI et le débit amont (de la confluence) de la vilaine est ajusté pour obtenir le débit aval (de la confluence) de la crue de référence de la Vilaine.

Les simulations sont réalisées avec un fonctionnement du modèle de type « hydrodynamique » et en mode « non permanent ». Les fichiers contenant le réseau hydrographique, les profils en travers et les paramètres hydrodynamiques, sont issus de l'étude de la Directive Inondation Bassin Loire Bretagne réalisée par la DREAL Bretagne en 2014 et n'ont pas été modifiés. Seuls les fichiers de conditions aux limites ont été construits pour simuler les crues de références de chaque cours d'eau.

Les lignes d'eau simulées sont ensuite comparées avec les lignes d'eau de chaque PPRI.

Sur chaque figure :

- la ligne d'eau du PPRI est représentée par des figurés et une ligne rouge,
- la ligne d'eau modélisée avec Mike est représentée par des figurés et une ligne bleue,
- les conditions aux limites et les apports des affluents sont représentés par des figurés verts,
- les écarts de ligne d'eau entre le PPRI et le modèle sont représentés par des figurés violets (sur axe secondaire des ordonnées). Ces valeurs sont calculées lorsque la distance entre les points d'aléa du PPR et du modèle est inférieure à 30 mètres.

3.3 Résultats

Les résultats sont présentés par PPRI et par cours d'eau. Les lignes d'eau modélisées et comparées aux lignes d'eau des PPRI sont présentées en annexe.

3.3.1 PPRi Vilaine Amont

Le PPRI Vilaine amont a été approuvé en 2007. Il concerne le cours d'eau de la Vilaine et s'étend sur 8 communes. Les débits centennaux ont été déterminés par la méthode SPEED et sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Débits de référence du PPRI Vilaine amont

Station	Vitré	Chateaubourg	Servon-sur-Vilaine
Débit centennal de référence (m^3/s)	42	120	140

Modélisation hydraulique avec MIKE11 :

Le périmètre de la simulation s'étend de la Vilaine en amont de Vitré à l'aval de la confluence avec le Chevré. Les affluents de la Vilaine, dans ce secteur, (La Valière et la Cantache) ne sont pas représentés dans le modèle. Cependant les apports de ces affluents sont bien pris en compte. Le Tableau 7 présente le paramétrage des conditions aux limites et des apports des affluents.

Tableau 7 : Paramètres d'entrées du modèle sur la Vilaine (PPR Vilaine amont)

Point d'injection des débits	Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)	Débit (m³/s) / hauteur d'eau
Débit amont PPR (Vitré)	Vilaine 12 000	42 m³/s
Apport La Valière	Vilaine 25 275	35 m³/s
Apport La Cantache	Vilaine 30 214,9	39 m³/s
Apport ponctuel Châteaubourg	Vilaine 38 827	12 m³/s
Apport diffus Châteaubourg	Vilaine 38 827 →Vilaine 55 817,81	17 m³/s
Condition aval (amont de la confluence du Chevré)	Vilaine 56 127,88	33,4 m

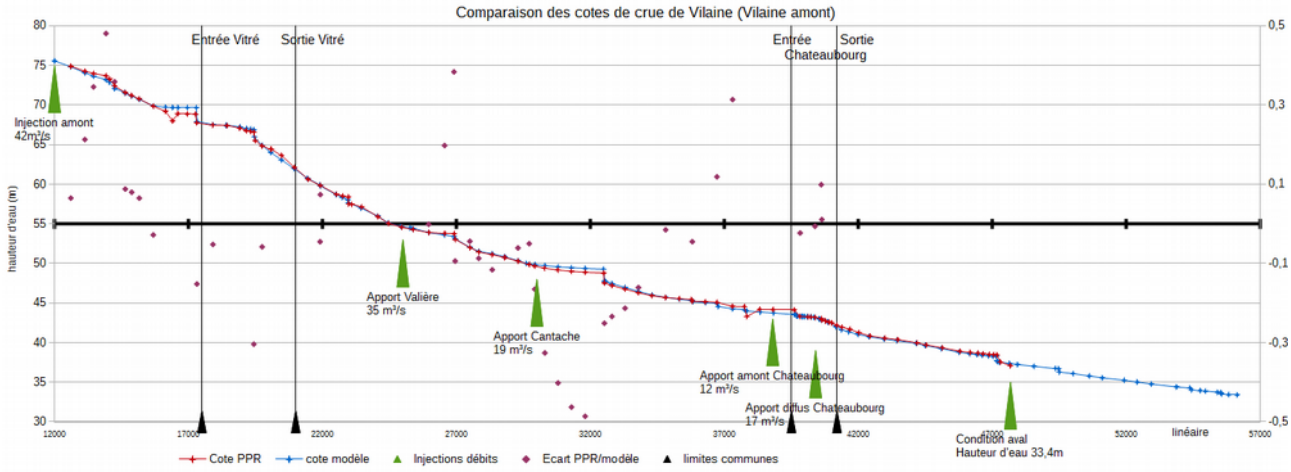


Illustration 14: Comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI Vilaine amont)

L'Illustration 14 présente les lignes d'eau (PPRI et modélisée). La ligne d'eau du PPRI est au-dessus de la ligne d'eau modélisée à l'exception de quelques secteurs. Les écarts les plus importants entre ces deux lignes d'eau se situent aux niveaux de différents ouvrages (d'art ou hydrauliques) et sont certainement dus aux paramètres des ouvrages dans le modèle. Il est important de noter également que les points d'injections des débits peuvent différer et expliquer le décalage des lignes d'eau.

En aval de Châteaubourg, les coefficients de Strickler ont été modifiés lors de la conversion du modèle InfoWorks vers MIKE11 (passage de 20-23 à 17). Le rapport de conversion du modèle faisait état de coefficient de rugosité « à la limite d'une signification physique au regard des valeurs tabulées communément admises en hydraulique fluviale ». Malgré ces faibles coefficients de Strickler, la ligne d'eau modélisée sous mike est légèrement plus basse que la ligne d'eau du PPR. D'après certaines références, le coefficient de Strickler pourrait encore être légèrement réduit pour être représentatif d'un lit mineur étroit aux berges fortement végétalisées surtout si des obstacles à l'écoulement seuils, bancs de sable, arbres sont présents dans le lit mineur venant impacter la ligne d'eau. Quelques ouvrages impactant la ligne d'eau ont certainement aussi pu être omis des modèles hydrauliques.

<u>Conclusion partielle dans l'optique d'une révision du PPR :</u>

Une vérification de la modélisation des ouvrages est à prévoir si une modélisation précise en amont de ceux-ci est souhaitée.

3.3.2 PPRi Bassin Rennais

Le PPRI Bassin Rennais a été approuvé en 2007. Il concerne le cours d'eau de la Vilaine et ses 8 affluents (Chevré, Ille, Illet, Flume, Blosne, Meu, Vaunoise et Seiche) et s'étend sur 36 communes. Les débits centennaux ont été déterminés par la méthode SPEED et sont présentés sur l'Illustration 15. Une modélisation hydraulique a été réalisée sur l'ensemble des cours d'eau, à l'exception de l'Illet, la partie amont de l'Ille, le Blosne et la Vaunoise. Pour ces cours d'eau, l'aléa a été déterminé par une analyse hydrogéomorphologique.

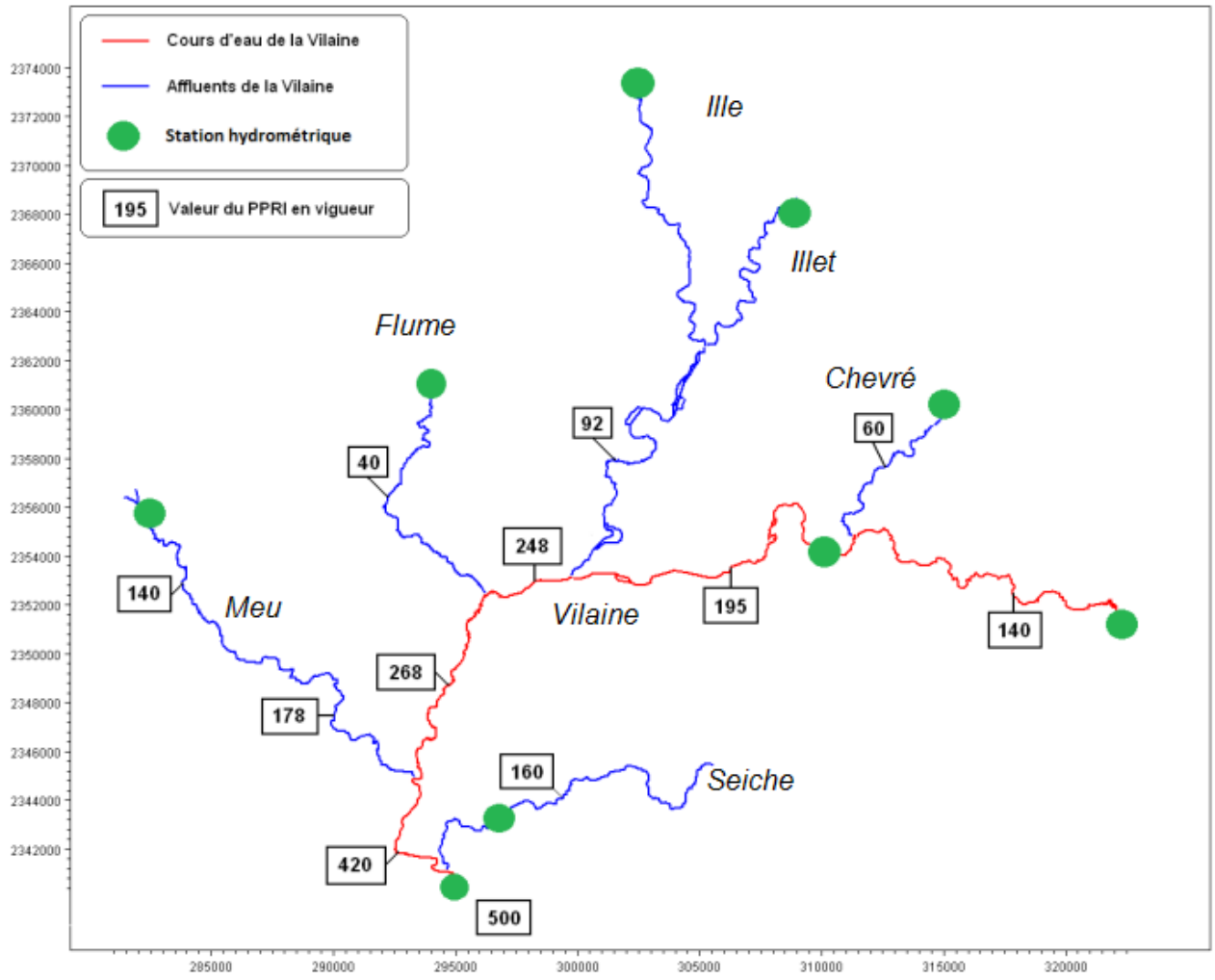


Illustration 15 Débit de référence du PPRI, sur chaque tronçon

Modélisation hydraulique avec MIKE11 :

Six simulations ont été réalisées pour ce PPRI (La Vilaine et les cinq affluents). Le Tableau 8 et le Tableau 9 présentent les conditions aux limites imposées pour ces simulations.

Tableau 8 : Conditions aux limites pour la simulation de la Vilaine (PPRI Bassin rennais)

Point d'injection des débits	Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)	Débit (m³/s) / hauteur d'eau
Débit amont PPR (...)	Vilaine 47 694,78	140 m³/s
Apport du Chevré	Vilaine 56 250,33	55 m³/s
Apport de l'Ille-Illet	Vilaine 73 650	53 m³/s
Apport de la Flume	Vilaine 77 444,3	20 m³/s
Apport du Meu	Vilaine 87 260	152 m³/s
Apport de la Seiche	Vilaine 93 711,76	80 m³/s
Condition aval (Écluse de Boël)	Vilaine 94 164	Courbe de tarage

Tableau 9 : Conditions aux limites pour la simulation des affluents de la Vilaine (PPRI Bassin rennais)

Cours d'eau modélisée	Point d'injection des débits	Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)	Débit (m³/s) / hauteur d'eau
Chevré	Débit amont confluence Vilaine		135 m³/s
	Débit du Chevré	Chevré 611,21	60 m³/s
Ille	Débit amont confluence Vilaine		156 m³/s
	Débit de l'Ille, aval confluence Illet	Ille 0 + Illet 0	92 m³/s
Flume	Débit amont confluence Vilaine		228 m³/s
	Débit de la Flume	Flume	40 m³/s
Meu	Débit amont confluence Vilaine		242 m³/s
	Débit du Meu (aval de la confluence avec le Garun et amont de la confluence avec la Vaunoise)	Meu_Garun 0 + Meu_Montfort -1220,125	130 m³/s
	Débit du Meu (aval de la confluence avec la Vaunoise)	Meu 12 529,104	178 m³/s
Seiche	Débit amont confluence Vilaine		340 m³/s
	Débit de la Seiche	Extension_Noyal 0	160 m³/s
Pour toutes les simulations	Condition aval (Écluse de Boël)	Vilaine 94 164	Courbe de tarage

Les comparaisons des lignes d'eau pour la Vilaine et ses affluents sont présentées sur les figures suivantes.

Concernant la Vilaine (Illustration 16), il y a une bonne adéquation entre les lignes d'eau,

comme sur le PPRI Vilaine amont. Le paramétrage du fonctionnement des ouvrages, les connexions entre les différents biefs et les points d'injection des débits dans le modèle peuvent expliquer les différences mineures entre les lignes d'eau sur le secteur de l'agglomération rennaise. La ligne d'eau modélisée par rejeu est légèrement au-dessus (maximum 25cm) de la ligne d'eau du PPR à l'amont. Sur Rennes, elle est légèrement inférieure voire égale à la ligne du PPRI. La ligne rejouée est légèrement au-dessus du PPR en aval de la rocade avant l'apport de la Flume. C'est une zone à enjeux (Zone d'activités Ouest-Lorient) qui n'était pas débordante dans le PPRI.

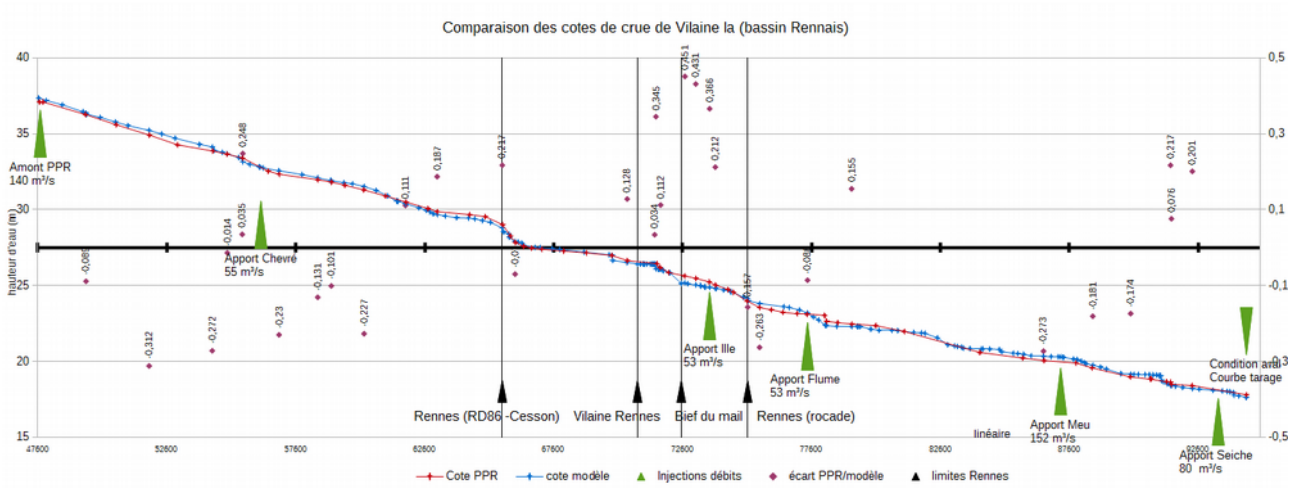


Illustration 16: Comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI Bassin rennais)

Sur le Chevré (Illustration 17), les deux lignes d'eau sont cohérentes, avec deux décalages liés aux paramétrages d'ouvrage (1 :pont de la RD92 à la Grétais et 2 : pont de la RD29 à Acigné). Il s'agit dans les deux cas de modélisations simplifiées justifiées par de faibles enjeux.

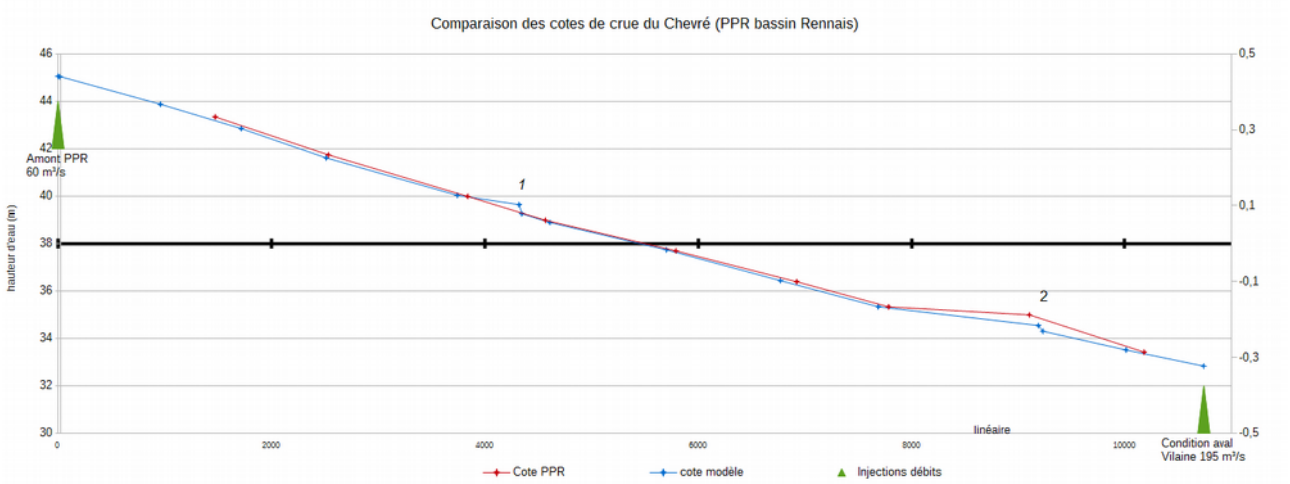


Illustration 17: Comparaison des lignes d'eau du Chevré (PPRI Bassin rennais)

Sur l'Ille (Illustration 18), les différences entre les lignes d'eau sont beaucoup plus marquées. Les pertes de charge, liées aux ouvrages, semblent lissées sur la ligne d'eau du PPRI par rapport à celle obtenue lors de la simulation sous MIKE11. Les quatre zones les plus marquées sont des secteurs avec des écluses (1 : écluse + confluence avec Bras de l'Ille à Betton ; 2 : écluse au Lieu-Dit Le Gacet ; 3:écluse au Lieu-Dit Robinson et 4 : écluse du pont de la rue Saint-Malo à Rennes). A priori, le modèle Mike Vilaine amont est plus complet que le modèle utilisé pour l'élaboration du PPRI ou du moins de ce que la

ligne d'eau PPRI laisse transparaître.

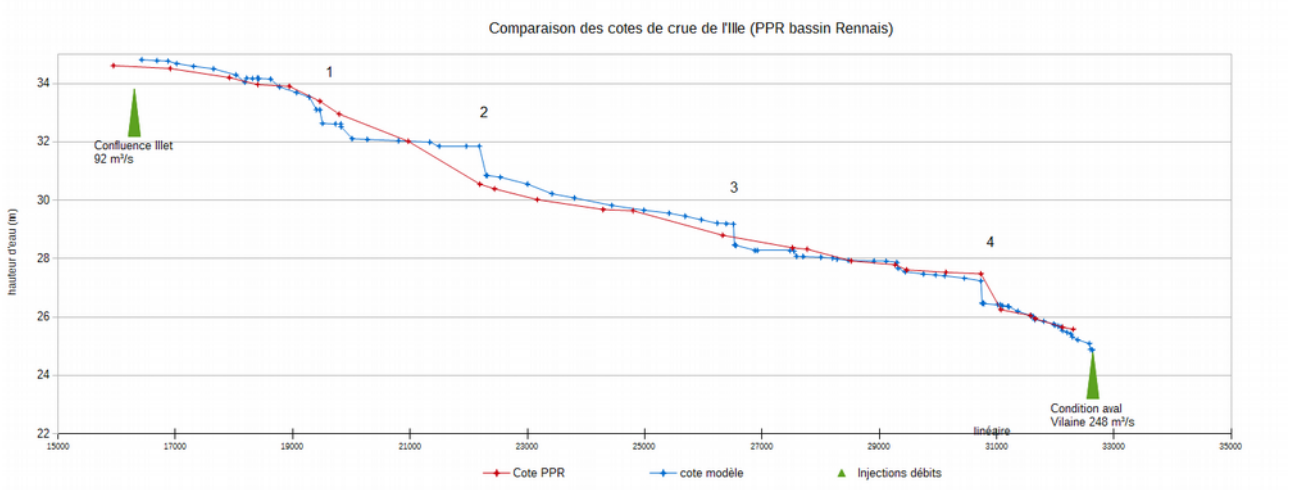


Illustration 18 : Comparaison des lignes d'eau de l'Ille (PPRI Bassin rennais)

Sur la Flume (Illustration 19), Il y a un léger décrochage des lignes d'eau, en partie aval du cours d'eau, au niveau du passage de l'ouvrage de la RN24 (1). La ligne d'eau rejouée est jusqu'à 40cm plus basse que la ligne d'eau du PPRI entre la sortie de Pacé sous la RN12 (pk 5600) et le passage de la Flume sous la voie de chemin de fer (pk 12380)

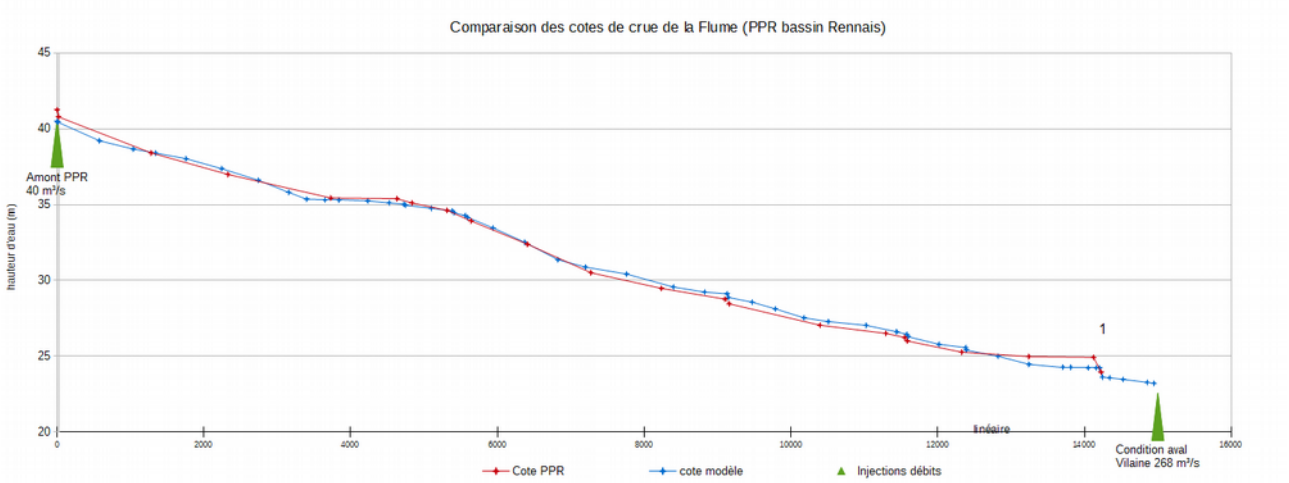


Illustration 19 : Comparaison des lignes d'eau de la Flume (PPRI Bassin rennais)

Sur le Meu (Illustration 20), la ligne d'eau du PPRI est nettement au-dessus de celle obtenue avec le modèle sous MIKE11 dans deux secteurs : (1) Le moulin de Tréjouan (60 cm) et (2) du seuil du château d'Artois au pont de la RD224 à Mordelles (35 cm). L'aval, entre le passage sous la RD21 et la confluence avec la Vilaine est concerné par une ligne d'eau rejouée située au-dessus de la ligne d'eau du PPR (jusqu'à 25cm). L'aval de Mordelles, avec le franchissement de la RN24 et un passage en pied de RN24 est moins finement représenté sur la ligne d'eau PPRI (peu de côte d'aléa) que sur la ligne d'eau issue du rejeu.

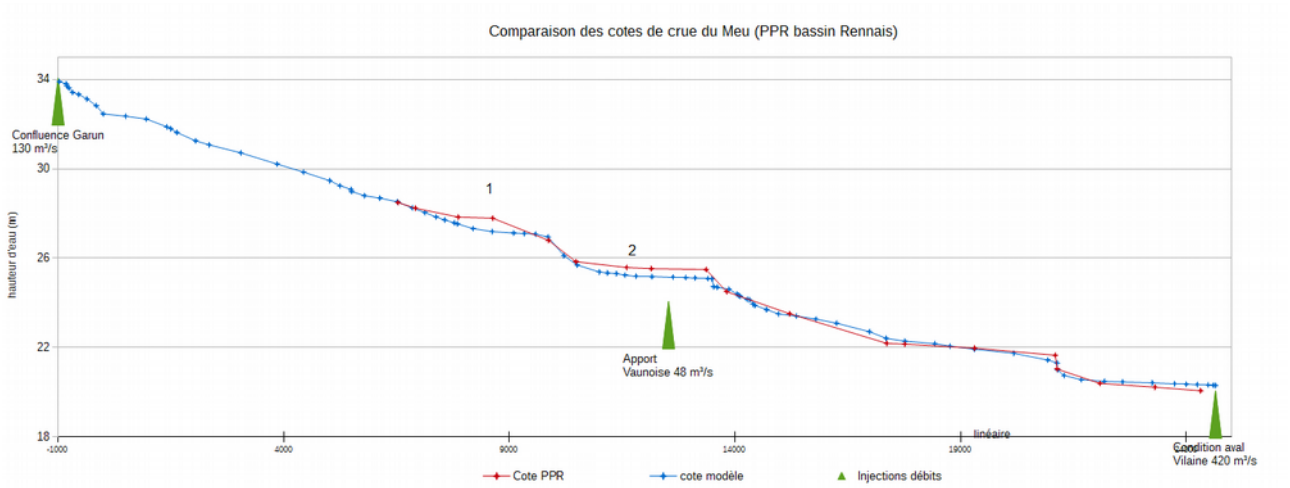


Illustration 20 : Comparaison des lignes d'eau du Meu (PPRI Bassin rennais)

Sur la Seiche (Illustration 21), il y a de nombreuses pertes de charges sur les deux lignes d'eau qui ne sont pas prises en compte de la même façon entre les deux modèles (PPRI et MIKE11). Les trois principales zones de décrochage des lignes d'eau sont : (1) pont de la RD82 à Noyal-Chatillon sur Seiche ; (2) pont de la RD87 à Pont-Péan ; (3) pont-rail à Bruz.

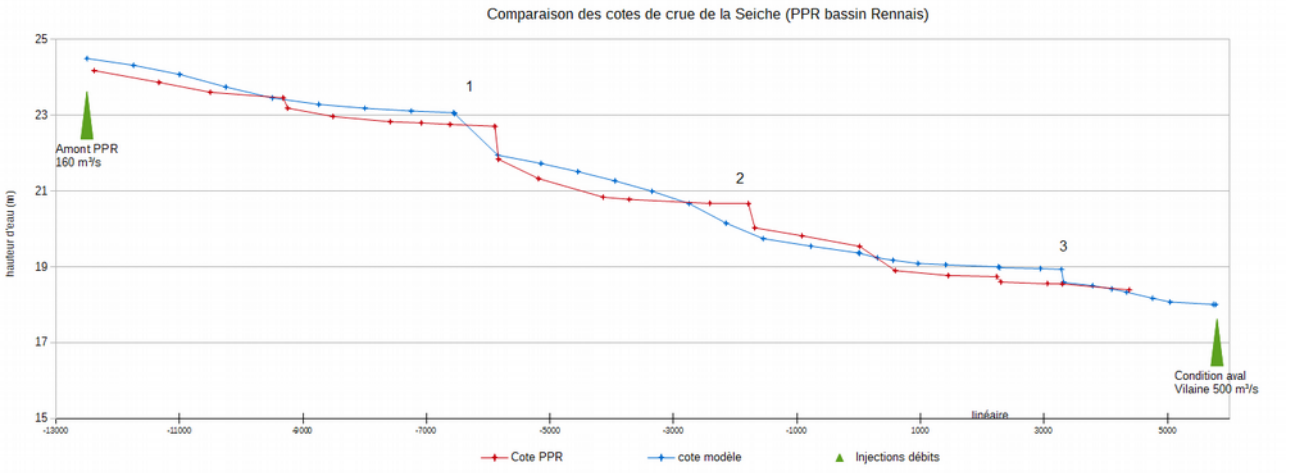


Illustration 21 : Comparaison des lignes d'eau de la Seiche (PPRI Bassin rennais)

<u>Conclusion partielle dans l'optique d'une révision du PPR :</u>
La modélisation de la Seiche de manière simplifiée serait à reprendre pour obtenir une ligne d'eau précise avec le modèle mike Vilaine amont.

3.3.3 PPRi Vilaine médiane ou moyenne Vilaine

Le PPRI Vilaine moyenne a été approuvé en 2005. Il concerne le cours d'eau de la Vilaine et du Semnon et s'étend sur 9 communes. Les débits centennaux ont été déterminés par la méthode du gradex et sont présentés sur le Tableau 10 et sur l'Illustration 22.

Tableau 10 : Débits de référence du PPRI Vilaine moyenne

Cours d'eau	Secteur	Débit centennal de référence (m³/s)
Vilaine	Amont confluence Seiche (Pont-Réan)	420
	Entre Seiche et Canut Nord (station de Boël), sans concomitance Vilaine-Seiche	500
	Entre Seiche et Canut Nord (station de Boël), avec concomitance Vilaine-Seiche	557
	Entre Canut Nord et confluence Semnon (limite écluse Gailieu)	540
	Aval confluence Semnon (Station deMalon)	620
Semnon		

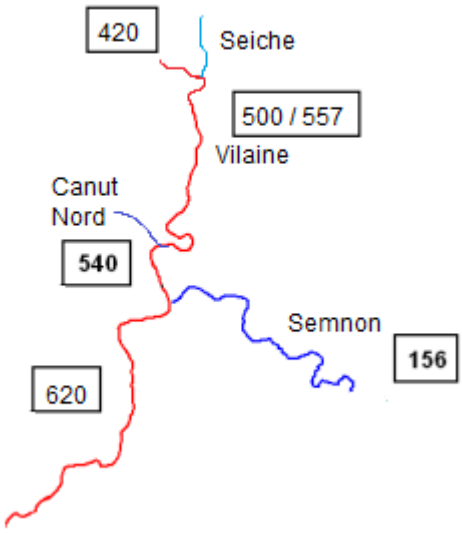


Illustration 22 : Débits de référence du PPRI Vilaine moyenne

Modélisation hydraulique avec MIKE11 :

Les simulations ont été réalisées uniquement sur la Vilaine. La crue sur le Semnon n'a pas été simulée. En effet, le modèle intègre bien le réseau hydrographique du Semnon mais pas les ouvrages.

Le rapport technique du PPRI Vilaine moyenne propose deux valeurs de débit de la Vilaine (Tableau 10), dans le secteur amont du PPRI, dépendant de la concomitance de la crue avec la Seiche.

Le premier scénario, sans concomitance, évalue le débit de Vilaine entre la confluence avec la Seiche et en amont de la confluence avec le Canut Nord à 500 m³/s.

Le second scénario, avec une concomitance de la crue de la Seiche, évalue le débit à 557 m³/s. Il n'est pas précisé que les effets de la concomitance Vilaine-Seiche modifie les débits en aval de la confluence avec le Canut Nord.

Le Tableau 11 reprend les paramètres des conditions aux limites de la simulation de la Vilaine moyenne pour les deux scénarios. Comme dans le rapport du PPRI, la simulation

du second scénario a été limitée au bief de la Vilaine entre les confluences de la seiche et du Canut Nord.

Le secteur amont de la Vilaine, entre les écluses de Pont-Réan et de Boël, est couvert pas deux PPRI (bassin rennais et Vilaine moyenne). En termes de modèle hydraulique, les simulations de ce secteur nécessitent l'utilisation du modèle « Vilaine amont » et « Vilaine aval ».

Notons également que trois ouvrages d'art ne sont pas intégrés dans ce secteur de la Vilaine. La localisation de ces ouvrages est présentée dans le Tableau 12.

Tableau 11 : Conditions aux limites de simulation de la Vilaine (PPRI Vilaine moyenne)

Point d'injection des débits	Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)	Débit (m³/s) / hauteur d'eau
Débit amont PPR (Écluse de Pont-Réan)	Vilaine 90 856,801 (dans modèle Vilaine amont)	420 m³/s
Apport de la Seiche	Vilaine 93 711,76 (dans modèle Vilaine amont)	80 m³/s (scénario 1) 137 m³/s (scénario 2)
Apport du Canut Nord	Canut_Nord 558,25	40 m³/s
Apport du Semnon	Vilaine 77 444,3	80 m³/s
Condition aval	Vilaine 37 884,6158	7,65 m

Tableau 12 : Localisation des ouvrages manquant dans le modèle « Vilaine aval » sous MIKE11

Ouvrage	Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)
Pont RD38, Bourg des Comptes	Vilaine 6800
Pont Saint Malo de Phily	Vilaine 18 850
Pont Saint Marc, RD53	Vilaine 33 895

Les lignes d'eau simulées pour les deux scénarios sont comparées à la ligne d'eau du PPRI (Illustration 23). La ligne d'eau obtenue sans considérer la concomitance Vilaine/Seiche, avec le modèle MIKE11, est plus basse que celle du PPRI sur l'ensemble du périmètre d'étude. La prise en compte de cette concomitance permet d'obtenir une ligne d'eau équivalente à celle du PPRI dans le secteur amont, jusqu'au pont de la RD39 (Lieu-dit Les Vallées). Dans ce secteur, la perte au niveau de l'ouvrage (Pont-rail), en aval de la confluence avec la Seiche, est « plus marquée » avec les simulations sous MIKE11.

L'écart entre la ligne d'eau du PPRI et la modélisation Mike est important entre le Canut et le Semnon. Il oscille entre 50 et 80 cm dans cette zone à faible enjeu.

Plus en aval, après la confluence avec le Semnon, l'écart entre la ligne d'eau du PPRI et le rejeu du débit équivalent sur le modèle Mike oscille entre 10 et 40 cm.

Au niveau du port de Guipry et de Messac, la différence est d'une trentaine de centimètres ce qui est conséquent pour cette zone à enjeux.

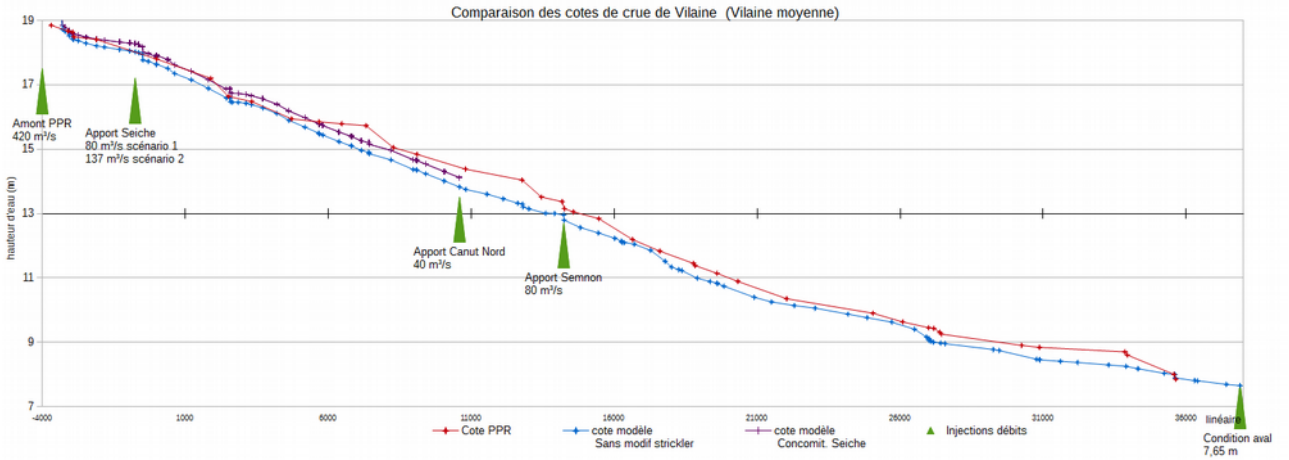


Illustration 23 : Comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI Vilaine moyenne)

Une nouvelle simulation a été réalisée en modifiant les coefficients de Strickler, en partie aval de la Vilaine, dans les paramètres des sections (passage de 27 à 22 en lit mineur, dans le fichier .xns 11). La ligne d'eau obtenue est comparée à celle du PPRI (Illustration 24).

Cette modification de la rugosité dans le modèle MIKE11, permet de diminuer la différence des lignes d'eau. Elle donne ainsi une idée de la sensibilité du modèle hydraulique à une modification du coefficient de Strickler. Le rapport technique du PPRI mentionne des coefficients de Strickler de 20 à 25 ce qui est cohérent avec notre modification testée. Le modèle Infoworks de l'étude BCEOM/SAFEGE/SOGREAH retenait un Strickler de 25.

Le rapport technique du PPRI est trop peu détaillé pour comprendre le calage réalisé et juger de sa qualité. Il y est fait référence au calage sur la crue de janvier 2001 avec une condition aval au profil C1 (dont nous ne connaissons pas la localisation). Par ailleurs, le rapport fait référence à deux études hydrauliques spécifiques sur :

– 1 centrée sur Pont-Réan (BECOM)

– 1 centrée sur Guipry – Messac (SAFEGE)

Les résultats définitifs utilisés pour l'étude de l'Aléa sont ceux de ces deux études reposant sur des modèles au maillage plus précis.

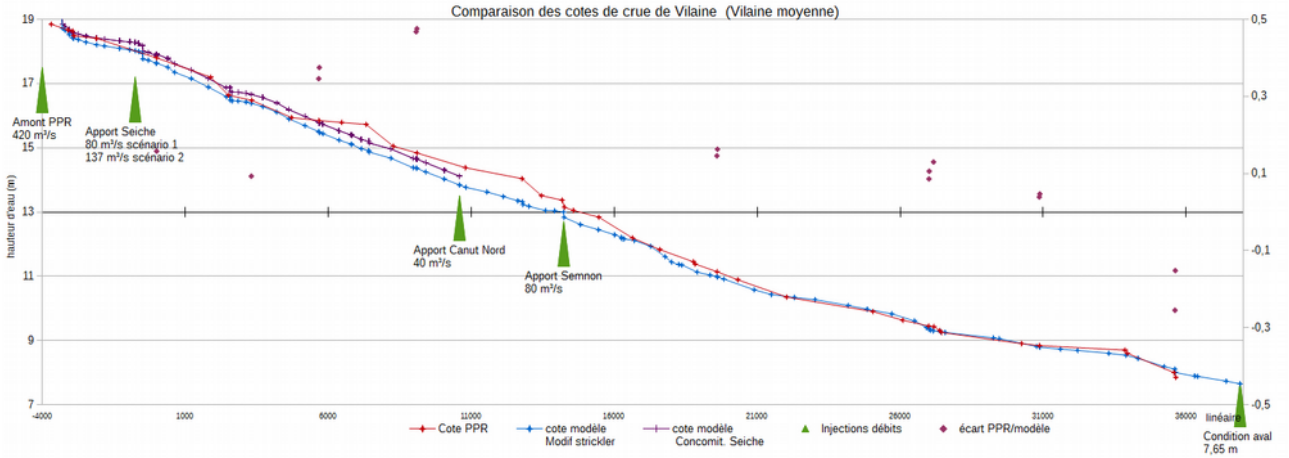


Illustration 24 : Comparaison des lignes d'eau de la Vilaine avec modification des coefficients de Strickler (PPRI Vilaine moyenne)

Il est possible de comparer les lignes d'eau aux laisses de la crue de janvier 2001 (plus forte crue documentée sur le secteur) qui s'approche de la crue centennale en restant inférieure (débit 2001 ~ 90 % débit centennal). Le rejeu des débits centennaux de la Q100 du PPRI avec le modèle Mike coïncide avec les laisses de la crue de 2001. Par conséquent, la ligne d'eau obtenue par rejeu sur le modèle Mike semble légèrement trop basse (elle devrait logiquement être au-dessus des laisses de la crue de janvier 2001). Les coefficients de Strickler du modèle Mike sont probablement un peu trop forts sur ce secteur impactant la ligne d'eau à Guipry et Messac.

Conclusion partielle dans l'optique d'une révision du PPR :

La modélisation du Semnon, s'il est à cartographier par modélisation hydraulique, est à prévoir.

Le modèle Mike fourni par la DREAL ne présente pas le même calage que les modèles précédents alors que le même événement de calage (janvier 2001) est utilisé. Il serait souhaitable de vérifier si une modification des Strickler n'a pas été effectuée par rapport au dernier calage de l'IAV. Si les Strickler n'ont pas été modifiés par rapport au modèle présenté comme « calé », il faudrait alors vérifier le calage du modèle Mike sur la crue de janvier 2001.

3.3.4 PPRi Vilaine aval

Le PPRI Vilaine aval a été approuvé en 1999. Il concerne le cours d'eau de la Vilaine et ses affluents (Chère, Don, Oust, Arz et Isac) et s'étend sur 28 communes. Les débits centennaux ont été déterminés par une analyse historique des crues. L'événement de référence est la crue de 1995 à Redon et à l'aval. En amont, la crue de référence centennale a été recalculée.

Le rapport de présentation du PPRI ne donne malheureusement pas d'informations sur les valeurs de débits sur la Vilaine et ses affluents.

D'après le rapport bibliographique de l'étude BCEOM, SAFEGE, SOGREAH, le PPRI a été établi à partir de :

- L'étude hydrologique de la Vilaine aval et du fonctionnement des zones humides – phase 1 – Études hydrologiques, SAFEGE, juillet 1997,
- L'étude du PPR du bassin aval de la Vilaine – simulations Hydraulique – SAFEGE, septembre 1997.

Nous ne disposons pas de cette étude mais seulement du rapport technique du PPRI de BCEOM de 1999 qui en reprend les éléments.

Modélisation hydraulique avec MIKE11 :

Compte tenu du manque d'information dans la note de présentation du PPRI, les valeurs des débits ont été déterminées sur la base de l'étude du groupement BCEOM, SAFEGE et SOGREAH (P2_Fonctionnement en crue) en 2007. Par conséquent, la comparaison entre ligne d'eau ne se fait pas nécessairement pour des débits équivalents. Nous ne pourrons donc pas fournir d'analyse de sensibilité au modèle hydraulique sur ce PPR.

L'évolution des débits de la Vilaine aval se caractérise par les apports par les affluents (5) et par des zones d'écrêtement de crues (3). Dans une première approche, nous avons intégré les « pertes de débits »[5], liées aux zones d'écrêtement, aux apports des affluents.

5 *Le terme « perte de débit » est en réalité impropre. On fait ici référence au laminage (ou écrêtement) des crues qui serait modélisable en mode transitoire avec des hydrogrammes « réalistes » et déphasé. La stratégie de modélisation avec des hydrogrammes « quasi-permanents » ne permet pas l'écrêtement par le modèle (saturation des zones)*

Les valeurs des contributions des zones d'écrêtement (Tableau 13) et des affluents (Tableau 14) sont issues de cette étude. Pour chaque contribution, la valeur maximale a été retenue, à l'exception de l'Oust (valeur de 93 %) pour rester cohérent avec le débit de la Vilaine. Le Tableau 15 précise les conditions aux limites de la simulation. Les écrêtements des débits sont artificiellement répartis sur plusieurs affluents afin d'éviter d'avoir des apports négatifs (si l'effet de la zone d'écrêtement est répercuté sur l'affluent en aval de la zone). La condition aval est fixée au niveau du Barrage d'Arzal (en aval de la limite du PPRI). Le synoptique de ce modèle est présenté sur l'Illustration 25.

Tableau 13 : écrêtement des débits dans les zones 1 (entre la confluence de la Chére et du Don) et 2 (entre la confluence du Don à Redon), extrait de l'étude BCEOM, SAFEGE et SOGREAH

	Zone 1			Zone 2		
	Débit amont (m^3/s)	Débit aval (m^3/s)	Ecrêtement (%)	Débit amont (m^3/s)	Débit aval (m^3/s)	Ecrêtement (%)
Janv 95	539	538	0.2	638	632	0.9
Déc 99	508	502	1.2	548	525	4.2
Déc 00	391	381	2.6	426	406	4.7
Janv 01	561	535	4.6	588	528	10.2
Mars 01	477	469	1.7	495	468	5.5
GR2	575	553	3.8	650	557	14.3
GR3	482	453	6.0	553	470	15.0
NO1	620	579	6.6	635	548	13.7
NO2	629	588	6.5	663	570	14.0
NO3	456	436	4.4	466	400	14.1
NO4	521	489	6.1	517	463	10.4

Tableau 14 : contribution de l'affluent au débit de pointe de la Vilaine, extrait de l'étude BCEOM, SAFEGE et SOGREAH

	Contribution de l'affluent au débit de pointe de la Vilaine (en %)						
	GR2	GR3	NO1	NO2	NO3	NO4	Janvier 2001
Canut Nord	4%	4%	3%	4%	3%	3%	3%
Semnon	17%	16%	12%	15%	9%	8%	14%
Chère	9%	10%	6%	8%	5%	4%	9%
Don	14%	15%	9%	11%	7%	6%	14%
Canut Sud	2%	2%	2%	2%	1%	1%	2%
Oust	97 %	103 %	95 %	84 %	105 %	115 %	105%
Isac	3%	3%	3%	3%	2%	3%	3%

Tableau 15 :Conditions aux limites de la simulation de la Vilaine (PPRI Vilaine aval)

Point d'injection des débits (détail de l'estimation)		Chaînage sous MIKE11 (nom cours d'eau + chaînage)	Débit (m³/s) / hauteur d'eau
Débit amont PPRI (Pont Port de Roche, RD54)		Vilaine 41 215,076	620 m³/s
Apport de la Chère	Chère 10 % (62 m³/s) - zone1 6,6 % (45 m³/s) + Don 15 % (95 m³/s) + Canut Sud 2 % (15 m³/s) - zone2 15 % (112 m³/s) =15 m³/s	Chère 0	7 m³/s
Apport du Don		Don 0	7 m³/s
Apport du Canut Sud		Vilaine 58 453,964	1 m³/s
Apport de l'Oust	Oust 93 % (590 m³/s) - zone 3 3 % (36 m³/s) + Isac 3 % (36 m³/s) = 590 m³/s	AFF 590,46 (126 m³/s) OUST 367,34 (572m³/s) ARZ 30 916,34 (74m³/s)	572 m³/s
Apport de l'Isac		Isac 0	18 m³/s
Condition aval (Barrage d'Arzal)		Vilaine 108 158	Marégramme barrage Arzal

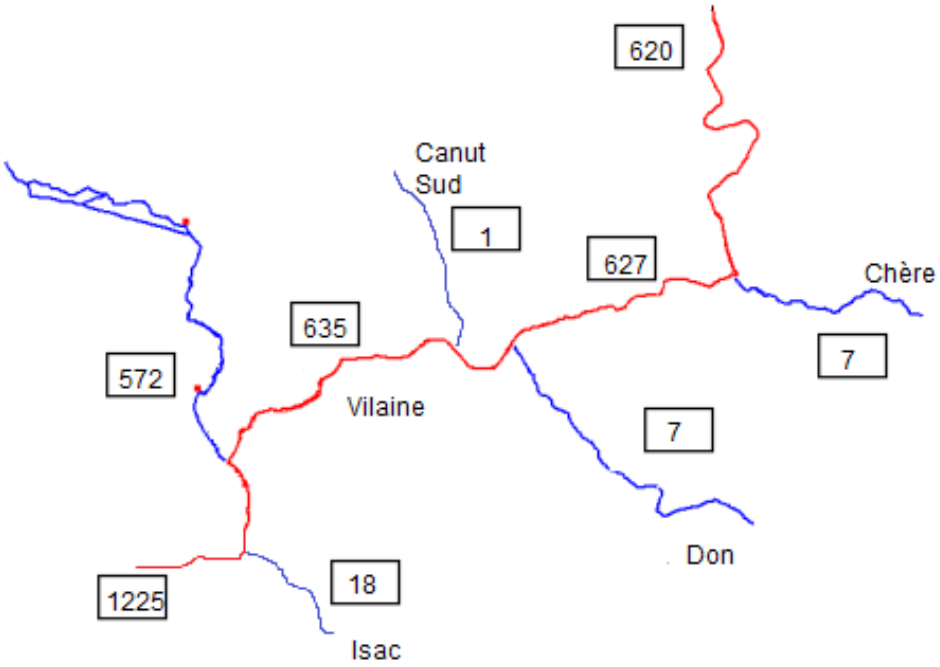


Illustration 25 : Synoptique de la modélisation de la Vilaine (PPRI Vilaine aval)

Les résultats de la simulation sont comparés à la ligne d'eau du PPRI (Illustration 26). Contrairement aux autres simulations réalisées sur les autres PPRI, les résultats de la simulation sont très différents des données du PPRI Vilaine aval.

Les résultats de la simulation semblent assez proches des données du PPRI en aval de la confluence avec l'Oust, avec des écarts similaires à ceux observés sur les autres PPRI. Néanmoins, si les lignes d'eau sont « proches », cette information n'a malheureusement

que peu d'intérêt étant donné que l'on ne connaît pas le scénario hydrologique joué dans le PPR ni le débit de la crue de 1995 (prise pour événement de référence).

Par rapport à la ligne d'eau du PPRI, entre le Canut Sud et la sortie de Redon, le modèle Mike Vilaine aval fournit une ligne d'eau plus basse de 50cm (entre le Canut et le pont SNCF traversant la Vilaine à Redon) à 20cm (en aval du pont SNCF). Le débit simulé sur ce tronçon (635m³/s) est conforme à l'estimation qui avait été faite des débits lors de la crue de 1995 (cf. Tableau 13) qui a été retenue comme événement de référence à Redon et son aval. Rien n'indique cependant que le scénario modélisé dans le PPRI reprenne des débits de cet ordre. Néanmoins sur ce secteur, il semblerait que le modèle Mike débite plus que le modèle retenu dans le PPRI. La perte de charge provoquée par l'ouvrage SNCF est aussi plus faible dans le modèle Mike que sur la ligne d'eau du PPRI.

En remontant vers l'amont, cette tendance s'inverse brusquement au niveau du lieu-dit Painfaut, dans le secteur de la confluence avec le Canut Sud. À l'amont du secteur, la ligne d'eau modélisée se situe à une hauteur supérieure de 1 m par rapport à la ligne d'eau du PPRI. Une perte de charge singulière importante (1,55m) présente dans le modèle Mike (au chaînage 58 280) n'est pas visible sur la ligne d'eau du PPRI.

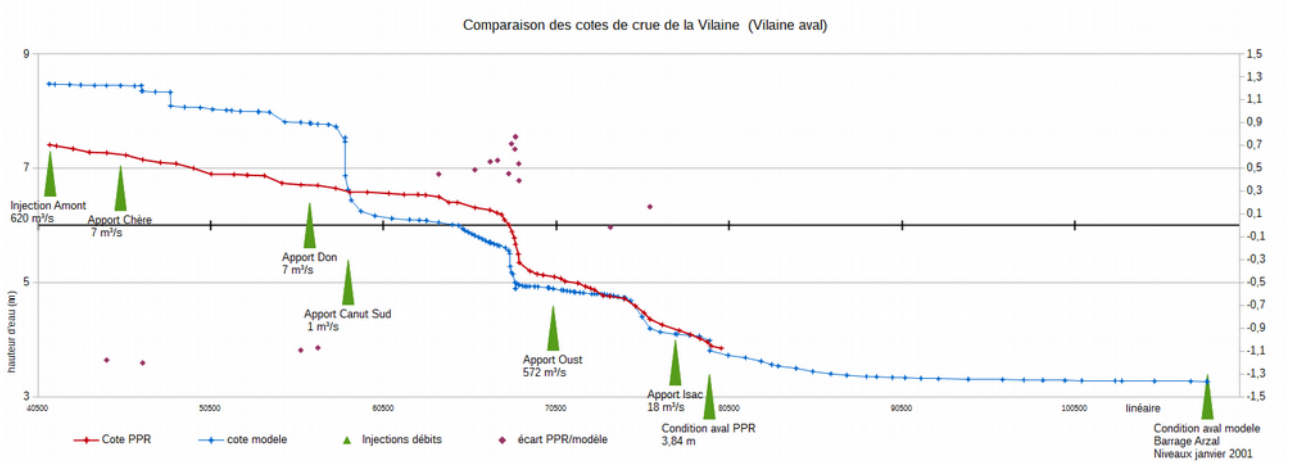


Illustration 26 : comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI aval)

Afin de vérifier si ces résultats s'expliquent par la simplification des hydrogrammes utilisés lors de ces simulations, nous avons simulé la crue vicennale et la crue millénale à partir des fichiers, sans modifications, de l'étude de la Directive Inondation Bassin Loire Bretagne de la DREAL Bretagne (2014). La comparaison des lignes d'eau est illustrée sur l'Illustration 27.

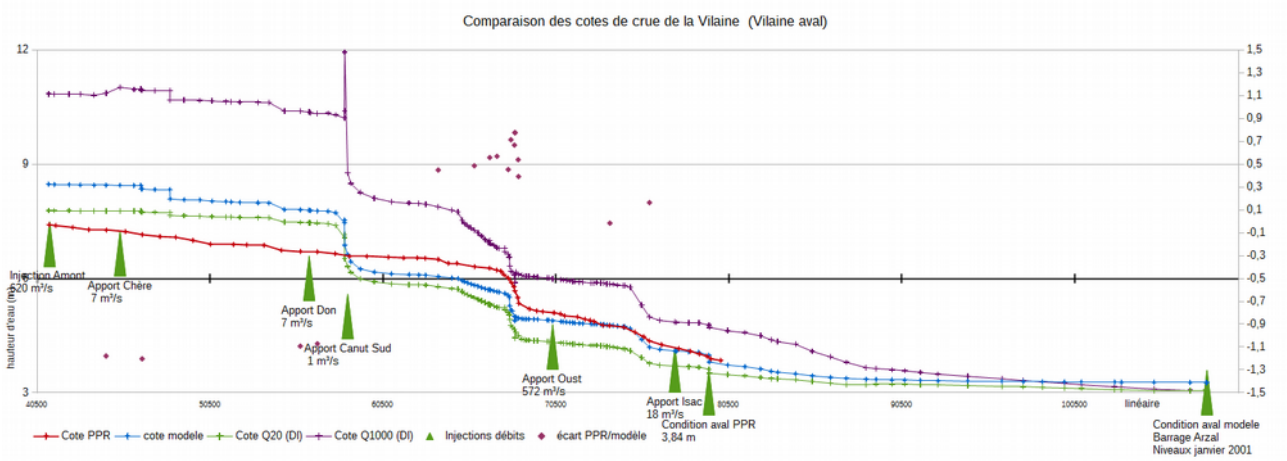


Illustration 27 : comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI aval et DI)

Les représentations graphiques des trois simulations réalisées avec MIKE11 (Q20 DI, Q100 cette étude et Q1000 DI) présentent des allures similaires. Les pertes de charge et les différences de hauteurs sont cohérentes avec les valeurs de débits injectés.

La ligne d'eau de la crue vicennale (Q20 DI) se situe même au-dessus de la ligne d'eau du PPRI (crue centennale) dans le secteur amont du PPRI, en amont de l'échelle de Painfaut où une perte de charge est observée pour la Q20 et la Q1000. Ce résultat amène à prendre des précautions sur la validité du modèle hydraulique pour ce secteur et/ou sur la fiabilité de la ligne d'eau dans le PPRI actuel.

Les simulations sur les affluents de la Vilaine n'ont pas été réalisées, compte tenu des résultats préliminaires obtenus sur la Vilaine.

Devant la faible documentation du rapport technique du PPRI, nous envisagions initialement l'erreur sur la ligne d'eau du PPRI. Nous n'avons néanmoins trouvé aucune raison justifiant la perte de charge singulière d'1,5 mètres dans le secteur de Painfaut. Un examen approfondi du modèle transmis par la DREAL a été entrepris à la recherche d'un « nœud » hydraulique qui ne débiterait pas assez. Il s'avère que le modèle transmis a subi quelques modifications dans le secteur de Painfaut pour jouer la Q1000 de la Directive Inondation.

Questions adressées plus spécifiquement à Jules Pali ou autres personnes connaissant finement les modèles Vilaine amont et Vilaine aval de DHI.

- Dans le secteur de Painfaut – station Avessac – confluence du canut sud :

En rejouant les débits de pointe du PPR vilaine aval, nous obtenons une chute de la ligne d'eau importante entre les points de chainage 58275, 58276 et 58285 (sachant qu'il y a un pont modélisé par un couple culvert – weir au chainage 58280).

Nous avons fait un rejeu des Q20 et Q1000 de la DI à partir des fichiers dont nous disposions. Nous obtenons là encore des lignes d'eau « étranges ».

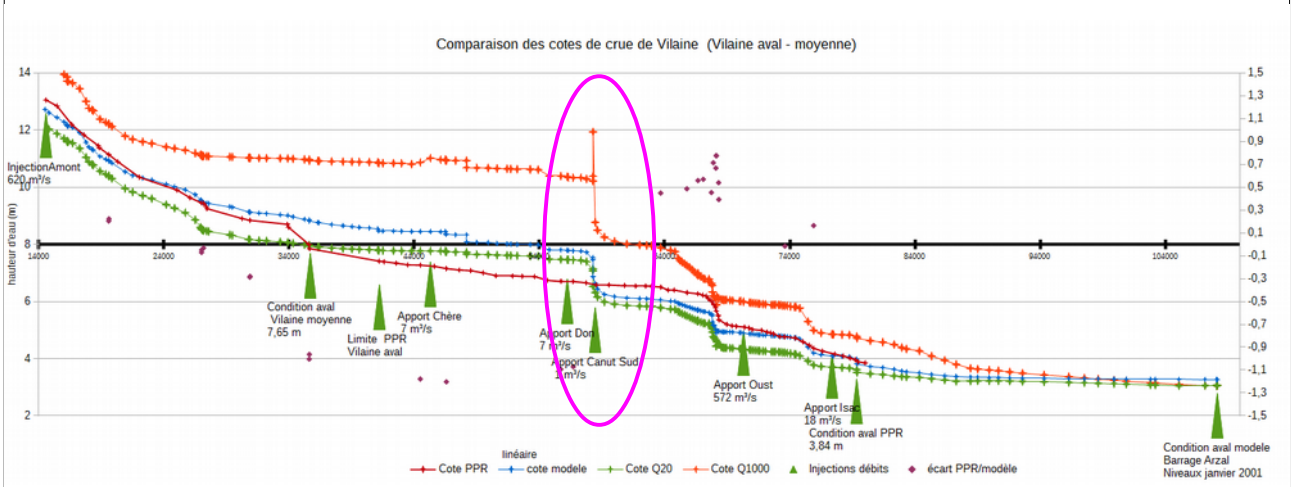


Illustration 28: Comparaison de l'aléa PPR vilaine aval - de la Q20 DI (rejeu Cerema St Brieuc à partir des fichiers DREAL) - de la Q100 (hydrologie PPR) sur modèle - de la Q1000 DI

À cet endroit, la différence avec la ligne d'eau du PPR est importante et l'étude hydraulique du PPR n'avait pas identifié la chute de la ligne d'eau.

Dans la version du modèle transmise (cf. Illustration 30), tout le débit de la Vilaine est contraint de passer par les nœuds 58275, 58276 et 58280 même si le profil en travers à 58276 est très large et qu'il inclut le méandre nord (profil en travers à lits composés).

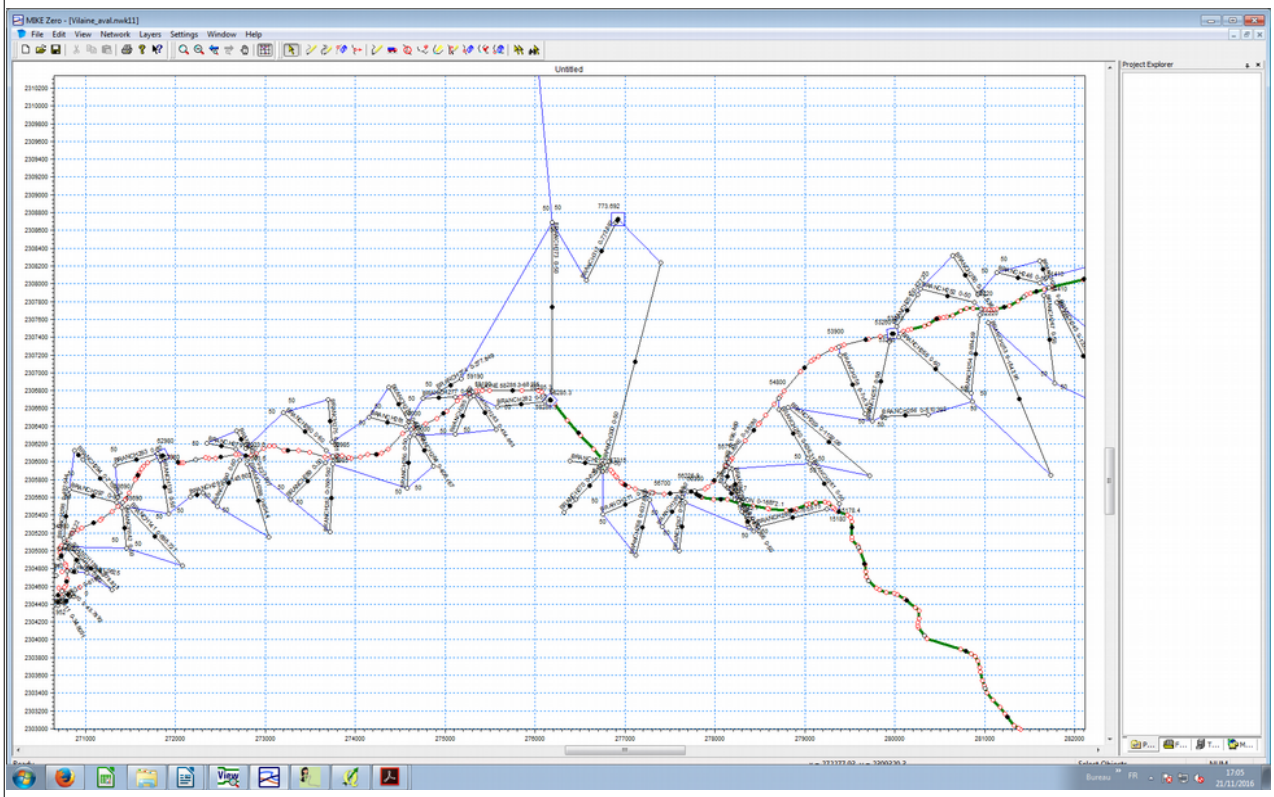


Illustration 29: Réseau version DHI – méandre représenté par les branches 300-312-273 connectées entre elles et avec le canut sud

Le modèle version DHI (cf. Illustration 29) proposait à cet endroit une diffluence laissant la possibilité au débit de passer aussi par le méandre au nord de Painfaut. Le modèle BCEOM de 2006 sous Infoworks proposait la même topologie (cf. Illustration 31)

Disposons-nous du bon modèle (réseau) ? Si oui, et que vous avez des traces écrites, pourquoi le méandre a-t-il disparu ?

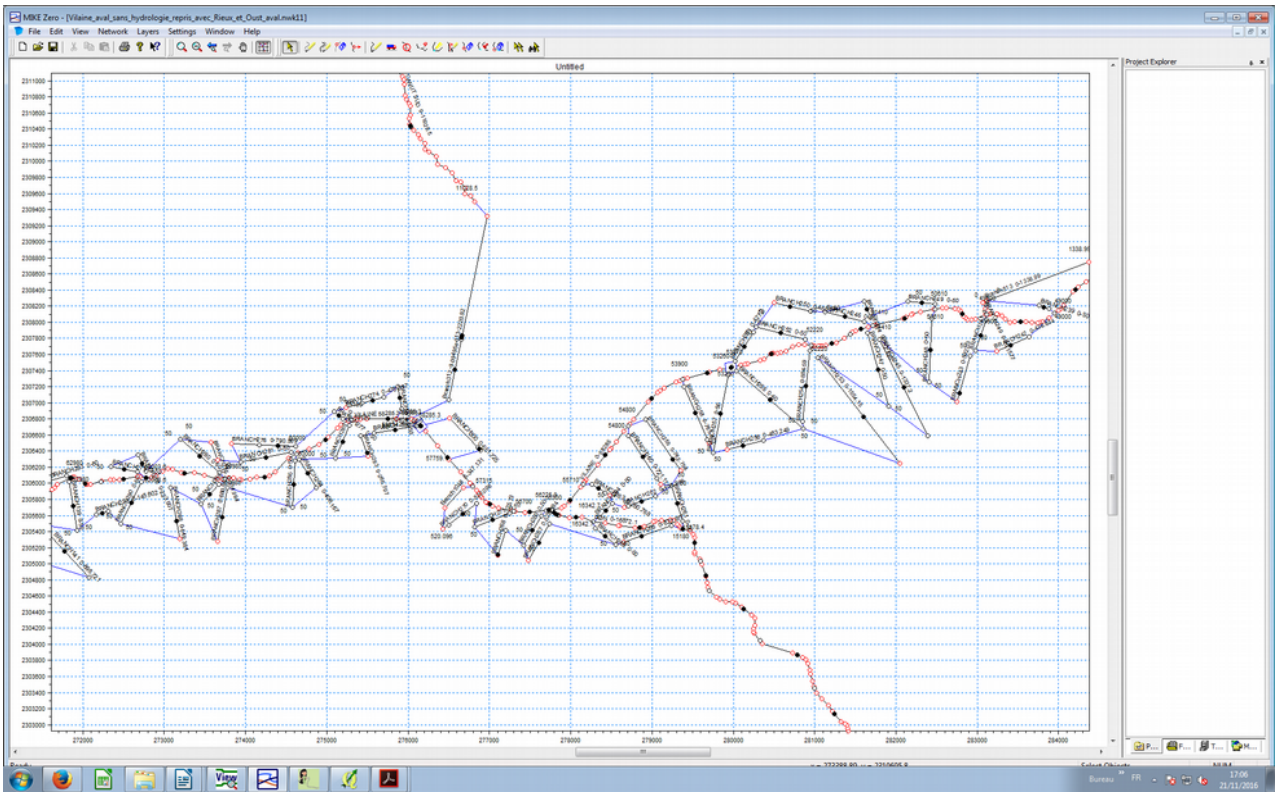


Illustration 30: Réseau version Dreal – La branche 300 est un casier non connecté directement à la branche 312 qui recueille le canut sud et rejoint la vilaine -Les points 58275 ; 58276 ; 58280 ; 58285;58285,3

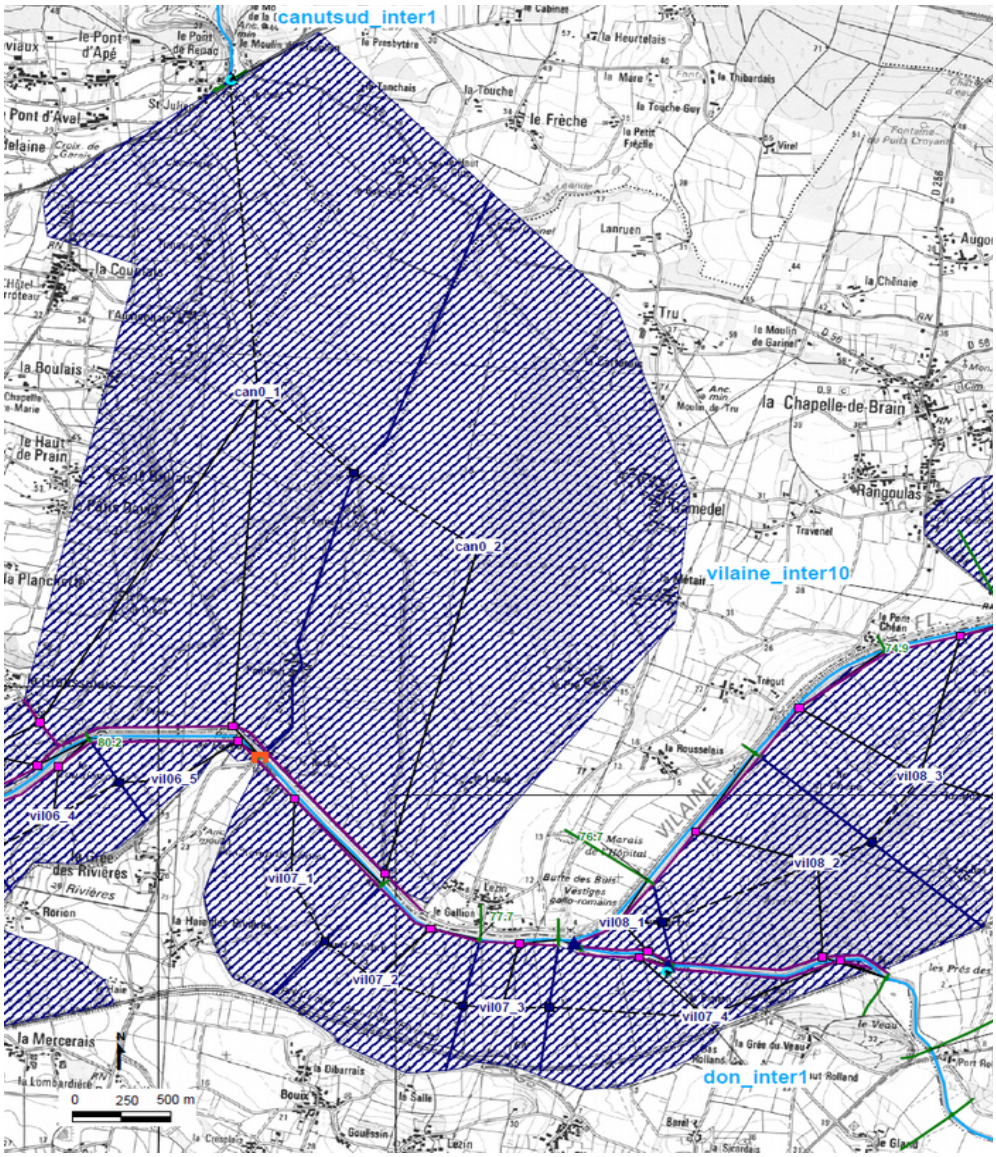


Illustration 31: modèle Infoworks RS de BCEOM 2006

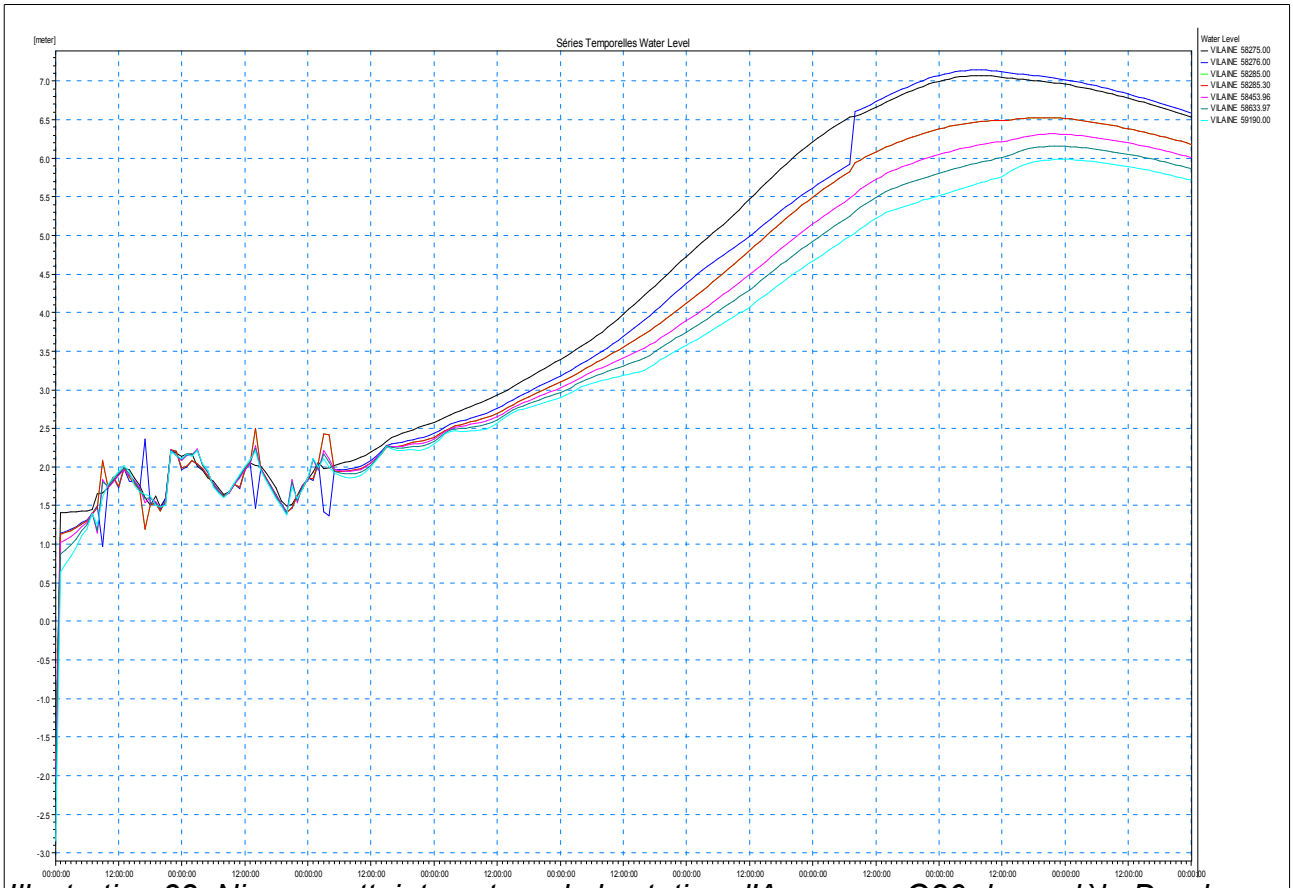


Illustration 32: Niveaux atteints autour de la station d'Avessac - Q20 du modèle Dreal

Notification de la DREAL :

Il a été choisi à l'époque de modifier localement la configuration des casiers dans la zone de Painfaut en déconnectant les casiers et en les remplaçant par un large profil unique, afin d'obtenir un point de mesure de débit plus facilement identifiable et manipulable pour réaliser les simulations sur la Vilaine, au détriment de l'erreur hydraulique observable. Cette modification a été acceptée en partie en raison de la faible densité d'enjeux dans ce secteur par rapport à l'ensemble du TRI traité d'une part, et de l'évolution du ratio "augmentation de la profondeur d'eau/élargissement de l'emprise inondée" d'autre part.

Une simulation complémentaire a été réalisée en reprenant le fichier réseau (.nwk11) et le fichier section (.xns) dans le modèle initial de DHI. Ces fichiers n'ont pas subi de modifications.

Les résultats de cette simulation, représentés sur l'Illustration 33, sont cohérents avec les cotes en vigueur des deux PPRI. Sur le secteur du Canut Sud, il n'y a plus de chute de la ligne d'eau. Il y a cependant un « décrochage » en amont de la confluence de la Vilaine avec le Don (chainage 52 000).

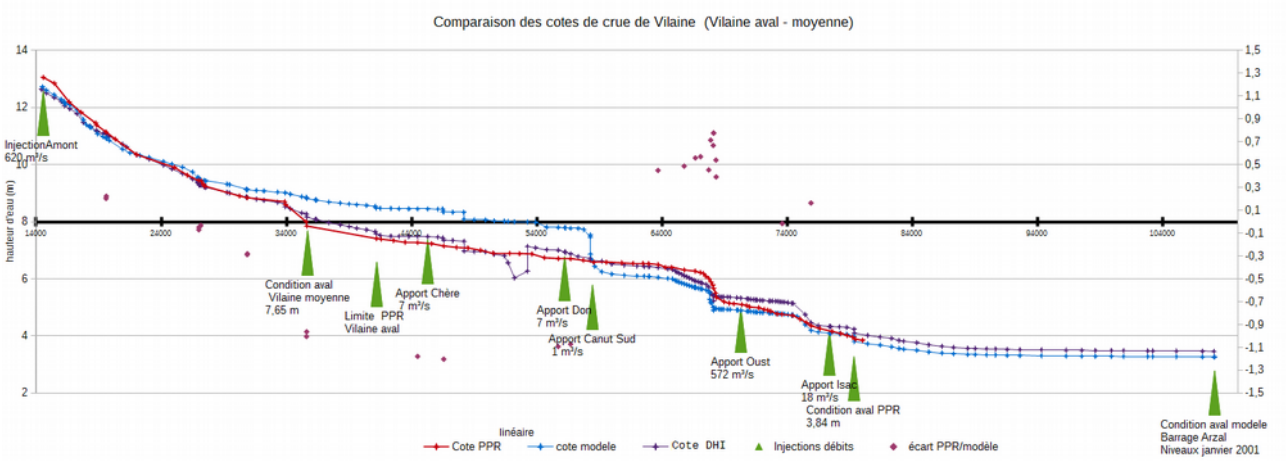


Illustration 33: Rejeu avec le modèle version DHI

Conclusion partielle dans l'optique d'une révision du PPR :

Plus de quinze ans après l'élaboration du PPRI, le secteur du PPRI Vilaine Aval reste le secteur le plus complexe dont la connaissance est très incertaine. L'absence de mesure de débit est préjudiciable à l'amélioration des connaissances. La révision du PPRI prise dans une démarche plus globale à l'échelle du bassin versant facilitera la cohérence avec les autres PPRI. Les études préalables à la révision du PPRI notamment l'analyse des événements historiques seront enrichies par les crues de janvier 2001, et de l'hiver 2013-2014. L'amélioration des connaissances hydrométriques du secteur sera étudiée lors d'une phase 2 de cette étude en 2017.

L'utilisation du modèle livré par DHI et recalé par l'IAV semble fournir des lignes d'eau plus basses que le PPRI (mais il y a une inconnue sur les débits à rejouer). Les échanges en cours de phase 1 avec la DREAL semblait par contre signifier que les débits de 1995 (du PPRI) ont été largement dépassés par la crue de 2014 qui elle-même serait inférieure à la crue centennale.

3.3.5 PPRi Meu-Garun-Vaunoise

Le modèle Mike ne couvre pas le périmètre de ce PPRI.

3.3.6 PPRi Seiche et Ise

Le modèle Mike ne couvre pas le périmètre de ce PPRI.

3.4 Discussion sur les cohérences entre les PPRI

3.4.1 Cohérence entre le PPRI amont et le PPRI bassin rennais

La limite entre ces deux PPRI se situe entre les communes de Servon-sur-Vilaine (Vilaine amont) et Brécé (Bassin rennais). Il y a une incohérence entre les débits. Le débit de la Vilaine en amont de la confluence avec le Chevré est de 145 m³/s dans le PPRI Vilaine amont, alors qu'il n'est que de 140 m³/s dans le PPRI Bassin rennais. Cette différence inférieure à 4 % est peu significative quand on sait toutes les incertitudes qui peuvent

peser par ailleurs sur un PPRI.

3.4.2 Cohérence entre le PPRI Bassin rennais et le PPRI Vilaine moyenne

La limite entre ces deux PPRI se situe entre les communes de Bruz (Bassin rennais) et Guichen et Laillé (Vilaine moyenne). Les deux PPRI sont cohérents lorsque la concomitance Vilaine/Seiche n'est pas prise en compte :

- Débit de la Vilaine de 420 m³/s en amont de la confluence avec la Seiche
- Débit de la Vilaine de 500 m³/s en aval de la confluence avec la Seiche

Par contre, le PPRI Vilaine moyenne suggère de prendre en compte cette concomitance. Le débit de la Vilaine, en aval de la confluence passe de 500 m³/s à 557 m³/s. Dans cette hypothèse, la cohérence des débits entre les PPRI n'est plus respectée.

Rappelons également que la prise en compte de cette concomitance (Vilaine/Seiche) n'est pas clairement détaillée dans le rapport technique du PPRI Vilaine moyenne. Le débit supplémentaire (57 m³/s) n'est pas répercuté sur la partie aval de Vilaine (en aval de la confluence avec le Canut Nord).

Par conséquent, la rive droite de la Vilaine sur la commune de Guichen en aval de la confluence avec la Seiche est concernée par un aléa correspondant à une crue de la Vilaine de 557m³/s (PPRI Vilaine moyenne) alors que la rive gauche sur la commune de Bruz (PPR bassin rennais) est concernée par un débit de 500m³/s.

3.4.3 Cohérence entre le PPRI Vilaine moyenne et le PPRI Vilaine aval

La limite entre ces deux PPRI se situe entre les communes de Guipry en rive droite et de Messac en rive gauche pour le PPRI Vilaine moyenne et Langon en RD et Sainte-Anne-sur-Vilaine en RG pour le PPRI Vilaine aval.

La cartographie de l'aléa du PPRI Vilaine aval semble ne pas couvrir l'intégralité des deux communes « amonts » (Langon et Sainte-Anne-sur-Vilaine). La cartographie commence au pont de la RD54 sur ces communes.

Les débits sont cohérents, avec une valeur de 620 m³/s pour la Vilaine.

Concernant les lignes d'eau, les simulations, au niveau de cette limite entre les PPRI, présentaient des résultats avec des écarts important avec la ligne d'eau de ces PPRI. Une simulation supplémentaire a été réalisée sur la Vilaine, sur un périmètre élargi par rapport aux périmètres de chaque PPRI (Illustration 34). Le périmètre d'étude de la Vilaine s'étend de la confluence du Semnon, en amont, au barrage d'Arzal, en aval. Les conditions aux limites imposées aux affluents de la Vilaine sont les même que celles de la simulation « Vilaine aval » (Tableau 15). Le débit amont de la Vilaine est fixé à 620 m³/s.

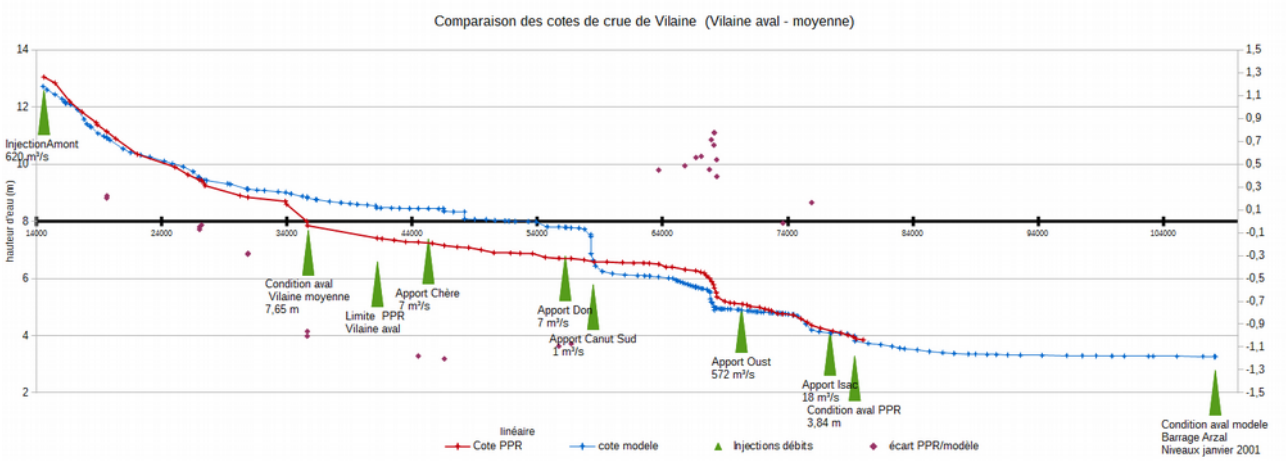


Illustration 34 : comparaison des lignes d'eau de la Vilaine (PPRI Vilaine moyenne – Vilaine val)

Ces résultats montrent que le « décrochage » entre la ligne modélisée et la ligne PPR se situe entre les deux PPRI (entre les ouvrages « Viaduc des Corbinières » et « pont RD54 »).

4 Agrégation des points précédents sur quelques secteurs

La spatialisation de la ligne d'eau rejouée et la comparaison de la carte obtenue par rapport à la carte du PPRI n'a d'intérêt que pour des secteurs limités réunissant les conditions suivantes :

- MNT de qualité (ce qui exclut certains linéaires)
- aggravation de l'aléa avec le rejeu (on n'effectuera l'exercice que dans le cas où la ligne d'eau rejouée est au-dessus de la ligne d'eau du PPRI)
- Présence d'enjeux

4.1 L'Ille dans l'agglomération rennaise

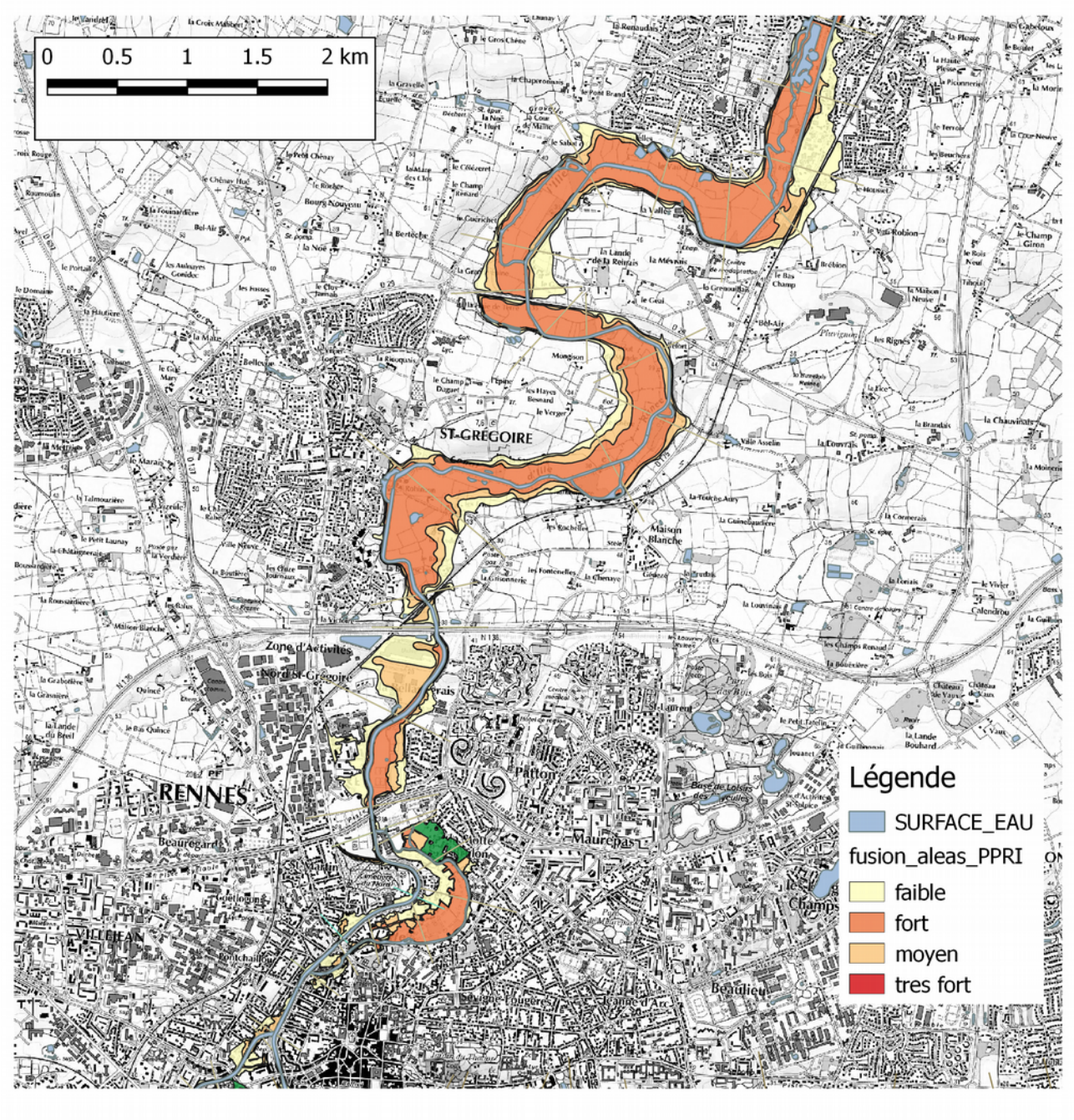


Illustration 35: Carte d'aléa du PPRI bassin Rennais, Ille, Illet (secteur de l'Ille)

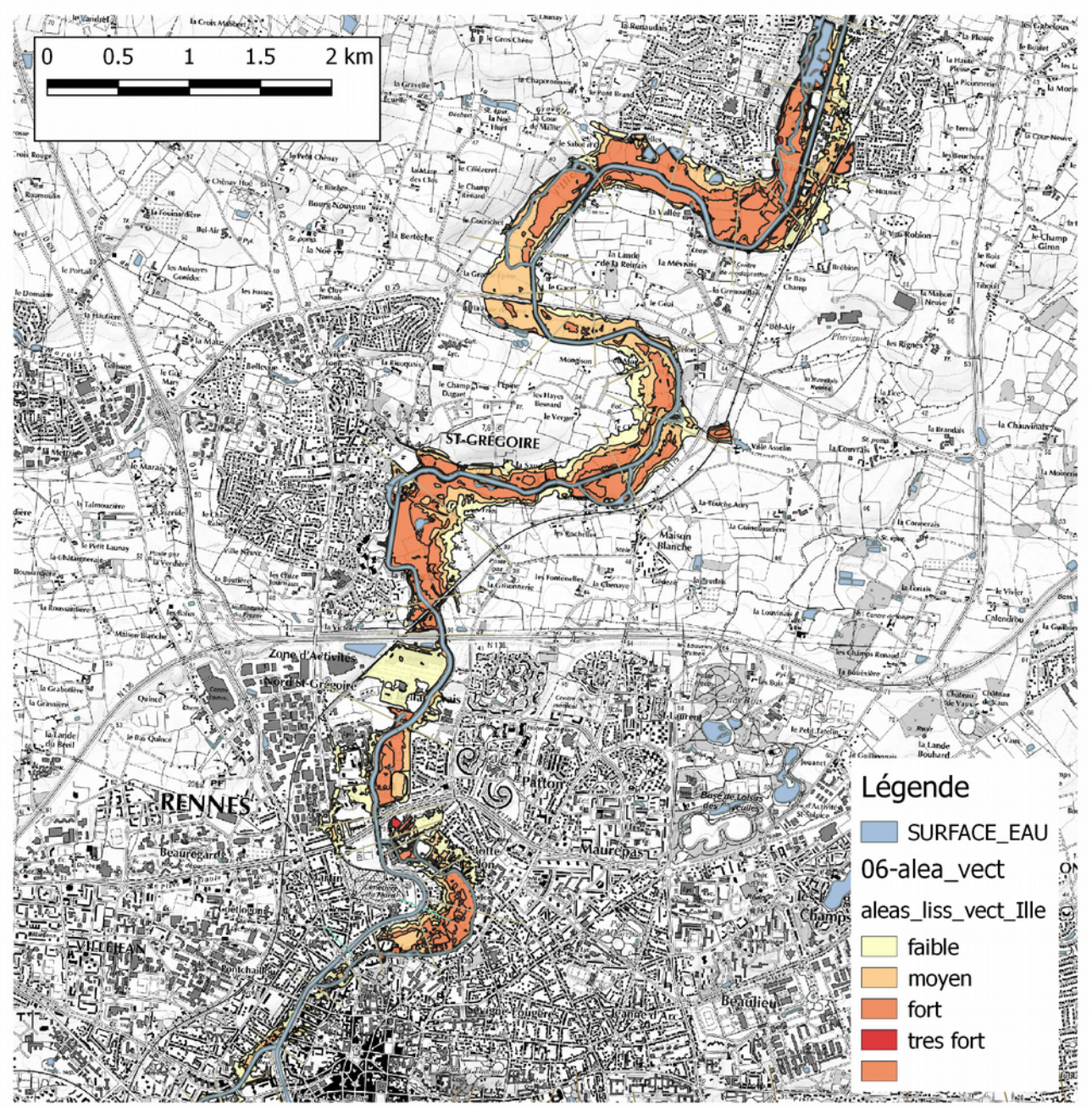


Illustration 36: Re-spatialisation de l'aléa PPRI sur le MNT

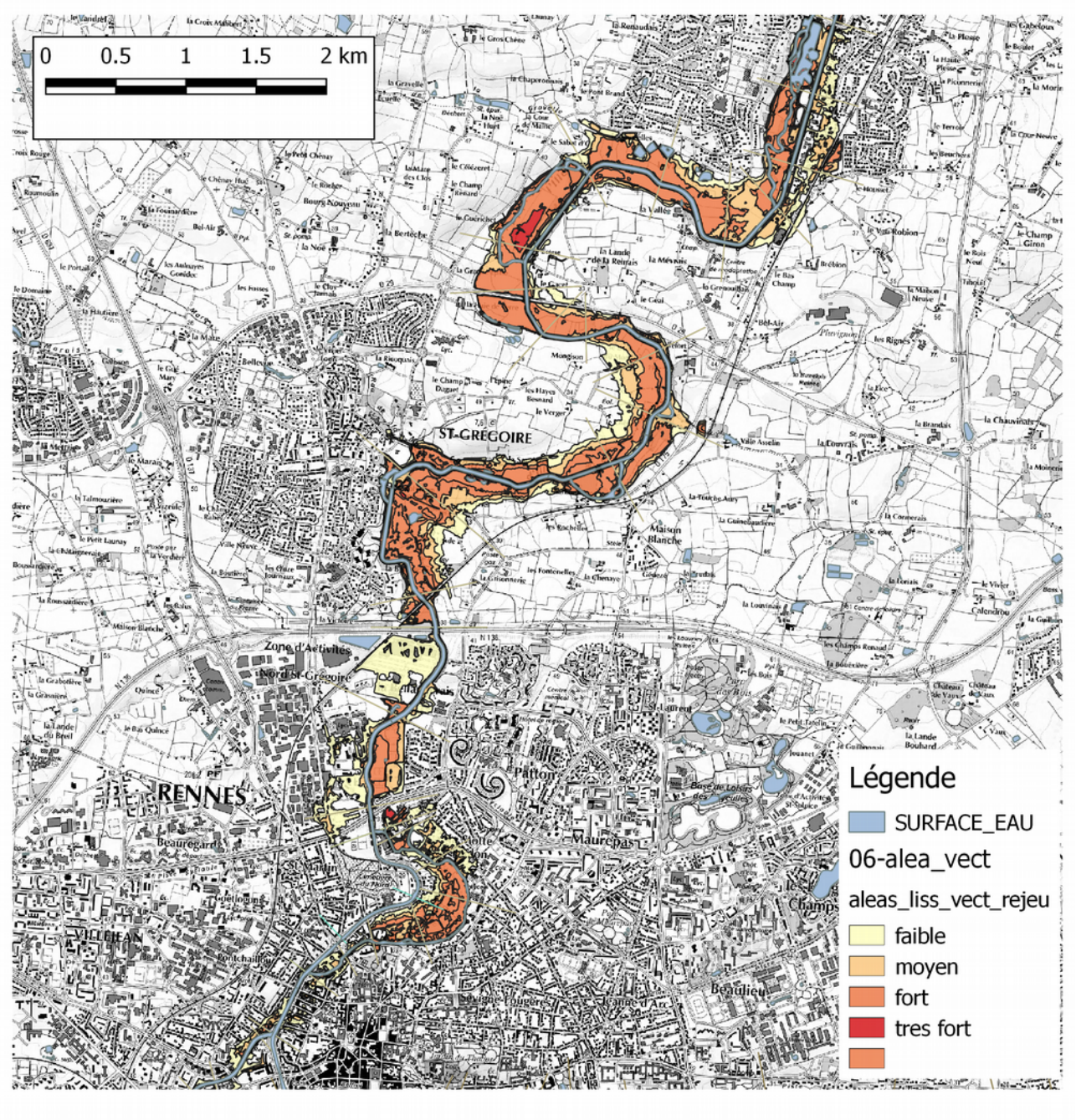


Illustration 37: Spatialisation du rejeu du PPRI avec le modèle Mike Vilaine amont

Le rejeu du modèle Mike Vilaine amont, même s'il donne une ligne d'eau plus haute sur l'Ille entre l'écluse le Gacet et l'écluse Robinson, une fois cartographié n'a que peu d'impact par rapport à la re-spatialisation des cotes de référence du PPRI sur le nouveau MNT. Si l'enveloppe y est légèrement plus large et l'aléa plus fort, peu de bâtiments seraient affectés par un changement de classe d'aléa.

4.2 La Vilaine en aval de la rocade rennaise

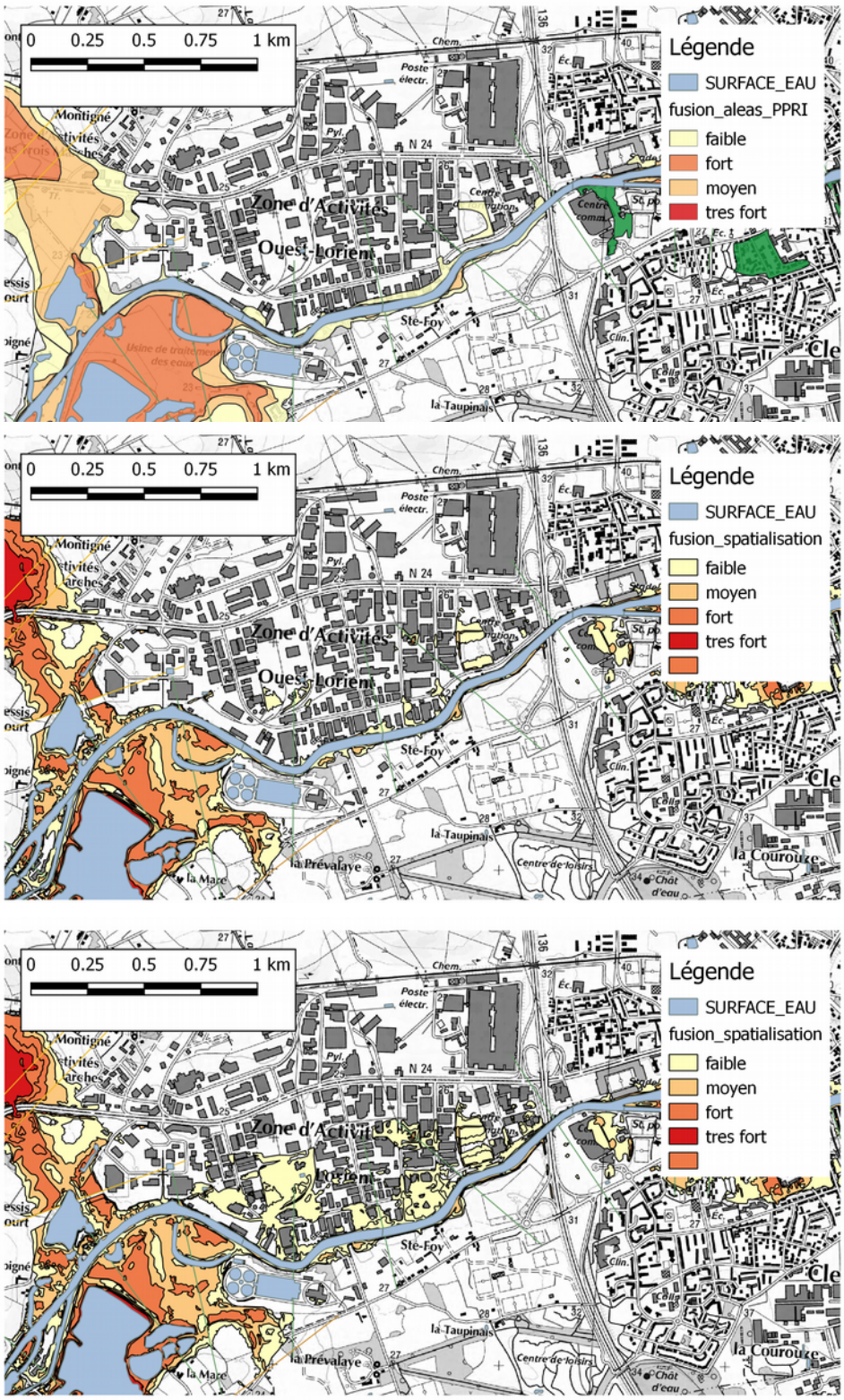


Illustration 38: Comparaison de l'aléa PPRI (en haut), de la re-spatialisation (au milieu) et de la spatialisation du rejeu avec le modèle mike vilaine amont (en bas)

Au niveau de la zone d'activité Ouest-Lorient, la spatialisation du rejeu du PPRI met en avant une situation légèrement débordante occasionnant l'apparition d'une zone d'aléa faible.

5 Conclusions

5.1 Liste des livrables

La présente étude a en premier lieu permis de réaliser des analyses cartographiques et hydrauliques que la DDTM35 ne pouvait pas mener en interne. Les produits de ces analyses sont des couches SIG d'une part et les résultats issus des rejeux des PPRI sur le modèle hydraulique d'autre part. Par conséquent, à l'issue de cette première phase d'étude, la DDTM dispose des produits suivants qu'elle pourra réutiliser à sa guise.

Liste des analyses cartographiques livrées (cf. 2.2):

- Les profils en travers dessinés à partir des points où nous disposions de cotes de référence des PPRI (2.2.1)
- Les MNSLE issus de l'interpolation des profils en travers(2.2.2)
- Les hauteurs d'eau brutes (2.2.3)
- Les hauteurs d'eau classées (2.2.4)
- Les aléas « raster » simplifiés (2.2.5)
- Les aléas vectorisés après simplification (2.2.5)
- Les couches d'analyse de changement de classe d'aléas (2.3)
- Des couches bâtiments concernés par un changement de classe d'aléa (2.3)

Résultats des modèles hydrauliques livrés :

- Comparaison des lignes d'eau (au format profil en long) entre les cotes de référence du PPRI d'une part et les rejeux des scénarios hydrologiques des PPRI avec les modèles Mike11 Vilaine-amont et Vilaine-aval. (cf. Annexes)
- Fichiers de résultats des simulations sous Mike (si besoin)
- Cotes atteintes aux différents nœuds des modèles hydrauliques au format géographique (.shp)

Le présent rapport présente nos analyses des résultats et fournit à la DDTM une liste des points potentiellement bloquants ou délicats et des propositions pour gérer au mieux ceux-ci en préalable ou au-cours d'une future révision.

5.2 Liste des points à traiter en anticipation d'une révision future des PPRi

Différents points sont listés au fil du rapport. Il est néanmoins souhaitable d'anticiper d'ors et déjà :

- l'acquisition de MNT sur les secteurs non couverts pour réaliser une spatialisation de l'aléa.
- La modélisation hydraulique des secteurs non couverts.

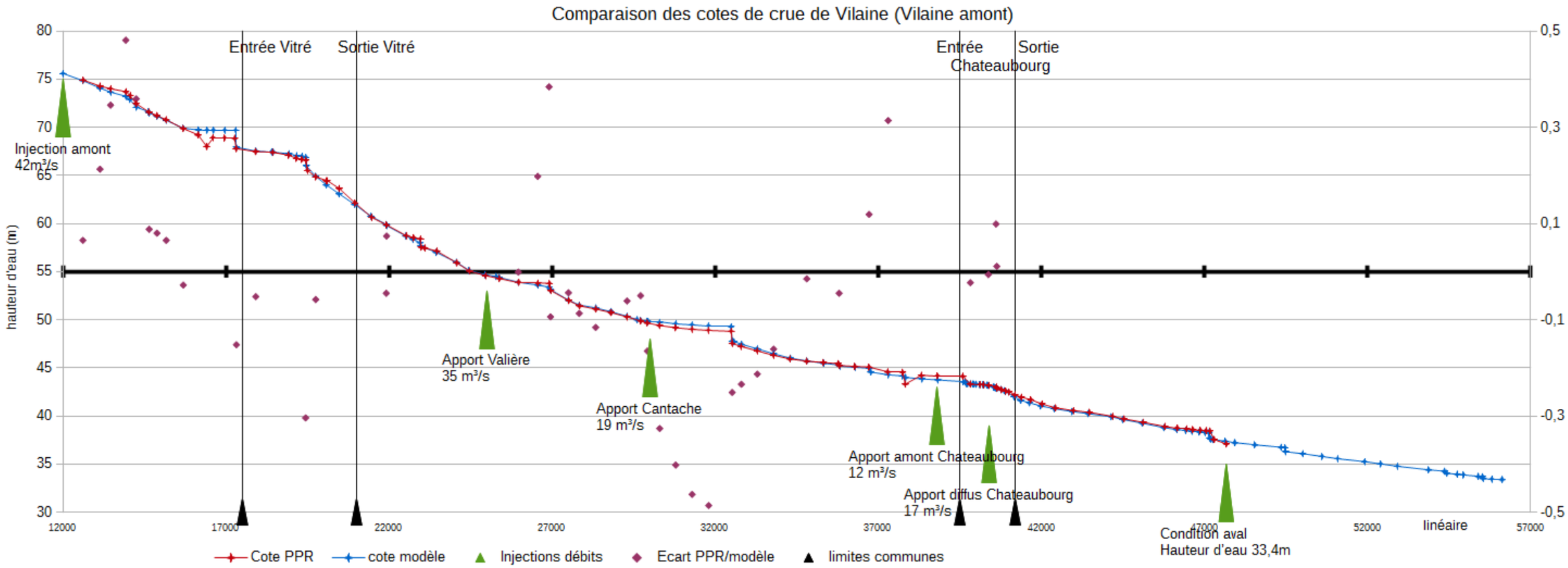
- Le travail sur la cohérence hydrologique globale et sur les cohérences amont-aval entre PPR. (cf. paragraphe suivant)

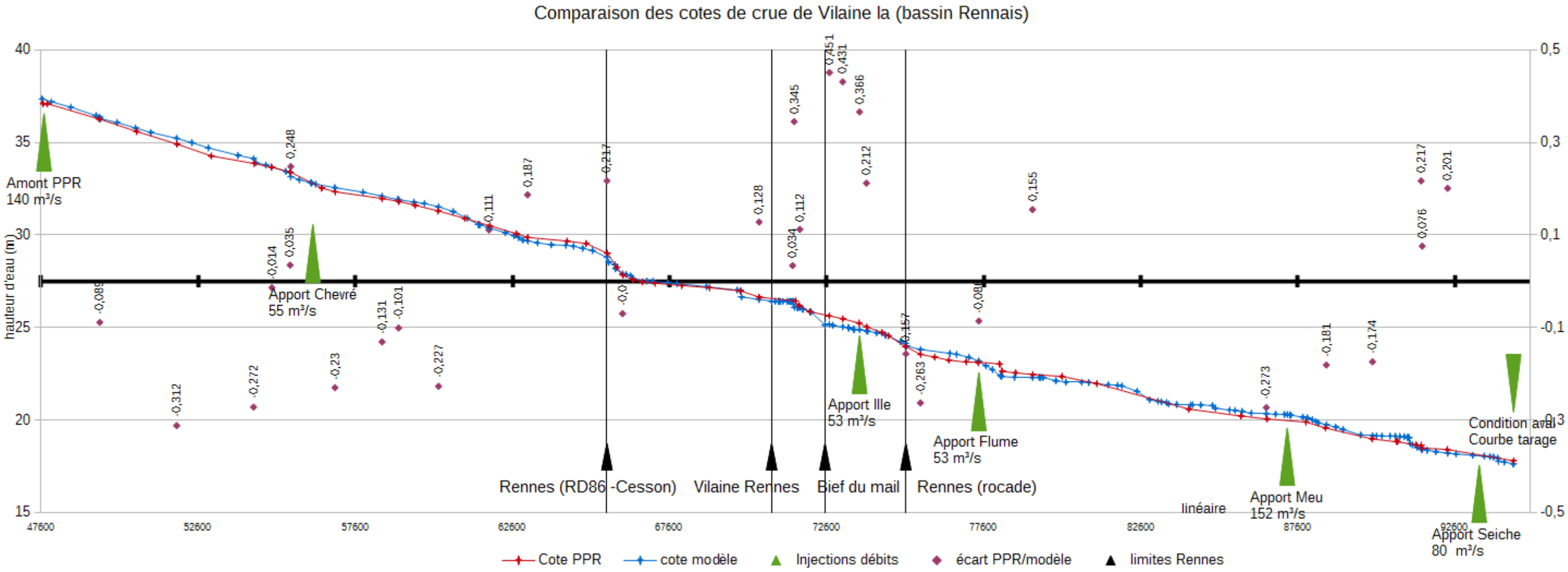
5.3 Une analyse du fonctionnement du bassin à poursuivre

Il était initialement prévu (cf. 1.1) de réaliser une étude de sensibilité à différentes hypothèses, notamment sur les concomitances entre affluents. La première phase de l'étude ne nous a pas permis de traiter pleinement ces aspects. Aussi, à l'avancement de l'étude, il s'est avérée que la question d'une étude de sensibilité et d'une étude critique sur les débits pris en compte dans les PPRI nécessite une seconde phase d'étude courant 2017. Cette étude portera un regard critique sur l'hydrométrie et les incertitudes induites sur les débits de référence pris en compte dans les PPRI. L'analyse du fonctionnement du bassin sera actualisée sur la base des éléments de l'étude BCEOM/SAFEGE/SOGREAH en prenant en compte les nouvelles connaissances disponibles.

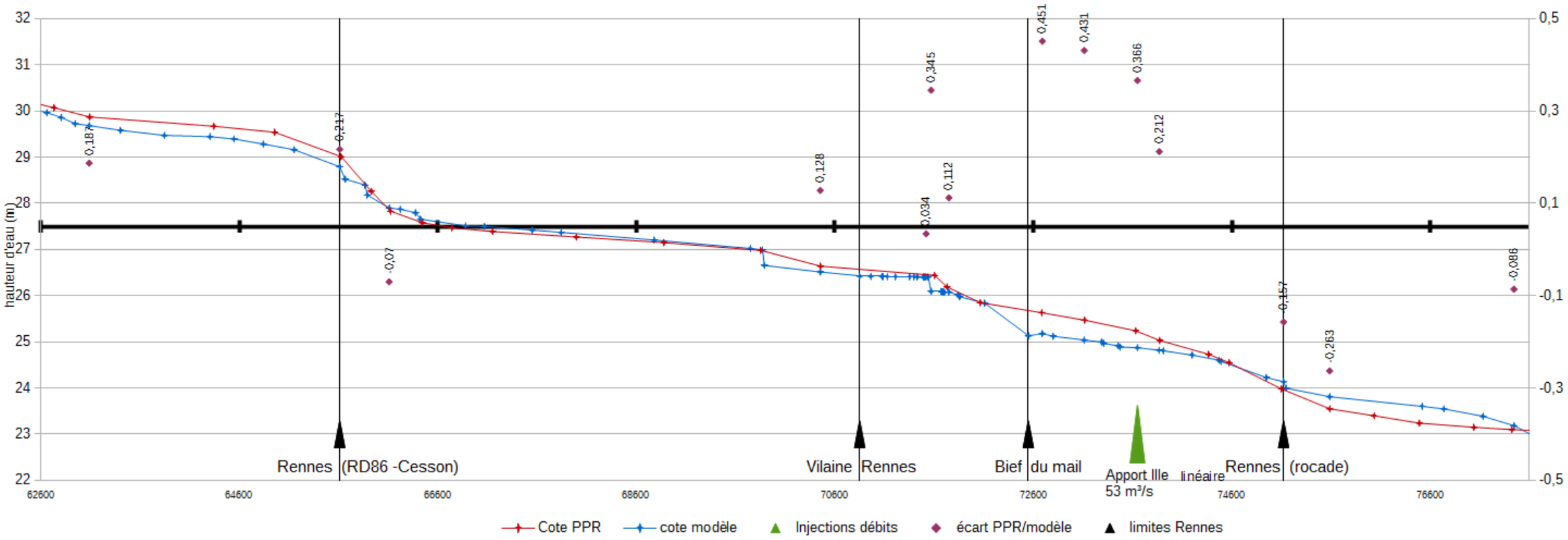
In fine, l'objectif sera de disposer d'une analyse de sensibilité et de connaître le poids relatif de chaque source d'incertitude sur la cartographie finale.

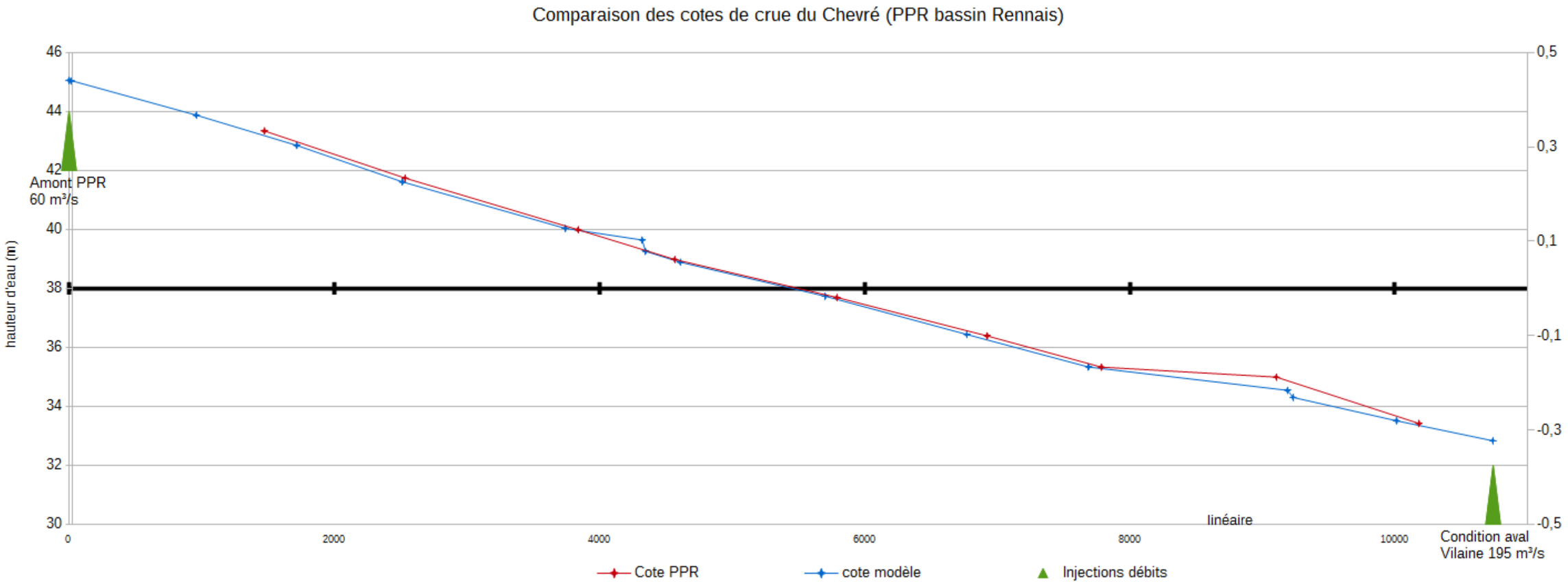
Annexes

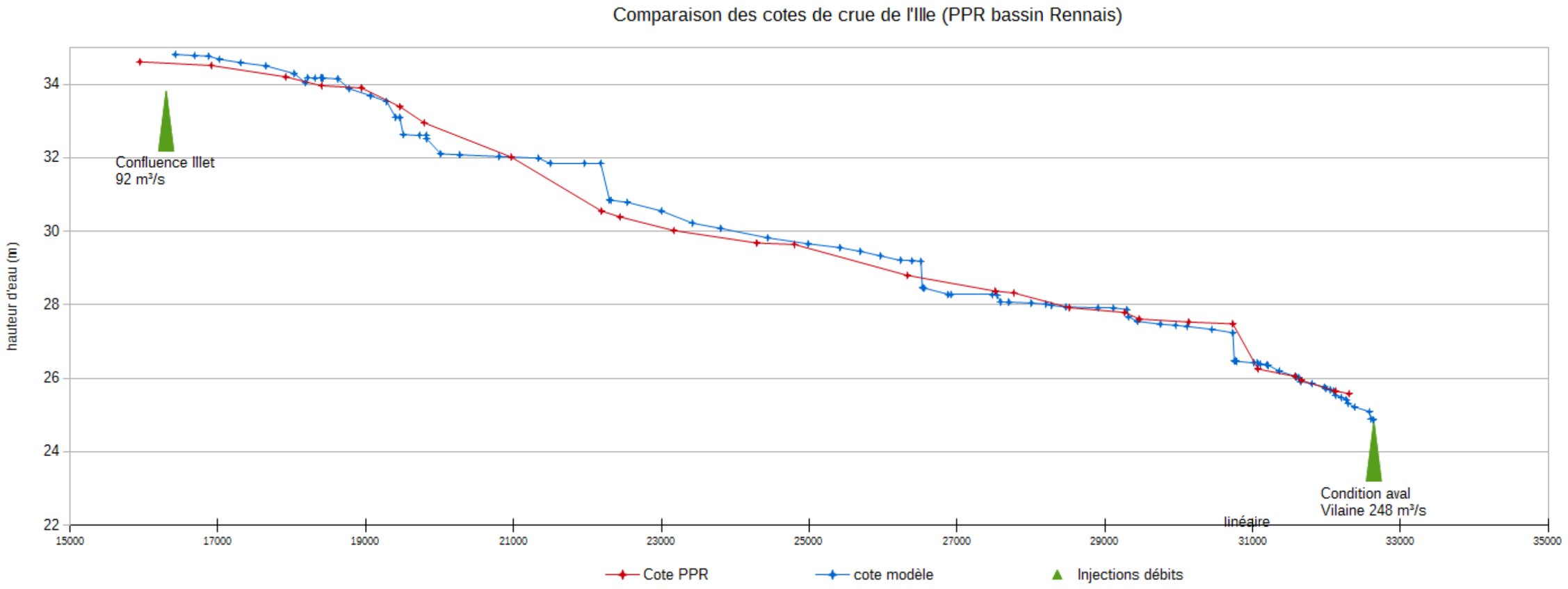

Comparaison des cotes de crue de Vilaine (Vilaine amont)
hauteur d'eau (m)
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
Entrée Vitré
Sortie Vitré
Entrée Chateaubourg
Sortie
Injection amont
42m³/s
Apport Valière
35 m³/s
Apport Cantache
19 m³/s
Apport amont Chateaubourg
12 m³/s
Apport diffus Chateaubourg
17 m³/s
Condition aval
Hauteur d'eau 33,4m
12000
17000
22000
27000
32000
37000
42000
47000
52000
57000
linéaire
Cote PPR
cote modèle
Injections débits
Ecart PPR/modèle
limites communes

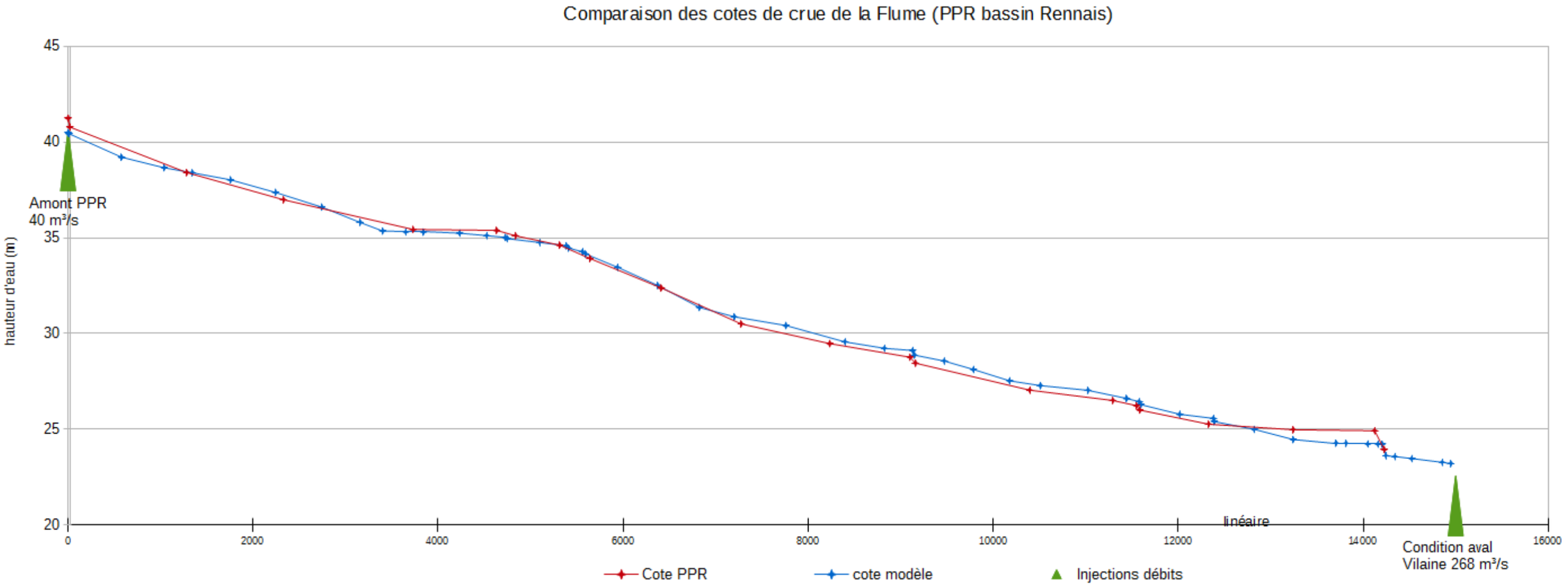

Comparaison des cotes de crue de Vilaine la (bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
40
35
30
25
20
15
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
47600
52600
57600
62600
67600
72600
77600
82600
87600
92600
Amont PPR
140 m³/s
Apport Chevré
55 m³/s
Apport Ille
53 m³/s
Apport Flume
53 m³/s
Apport Meu
152 m³/s
Condition aval
Courbe tarage
Apport Seiche
80 m³/s
Rennes (RD86 -Cesson)
Vilaine Rennes
Bief du mail
Rennes (rocade)
linéaire
Cote PPR
cote modèle
Injections débits
écart PPR/modèle
limites Rennes

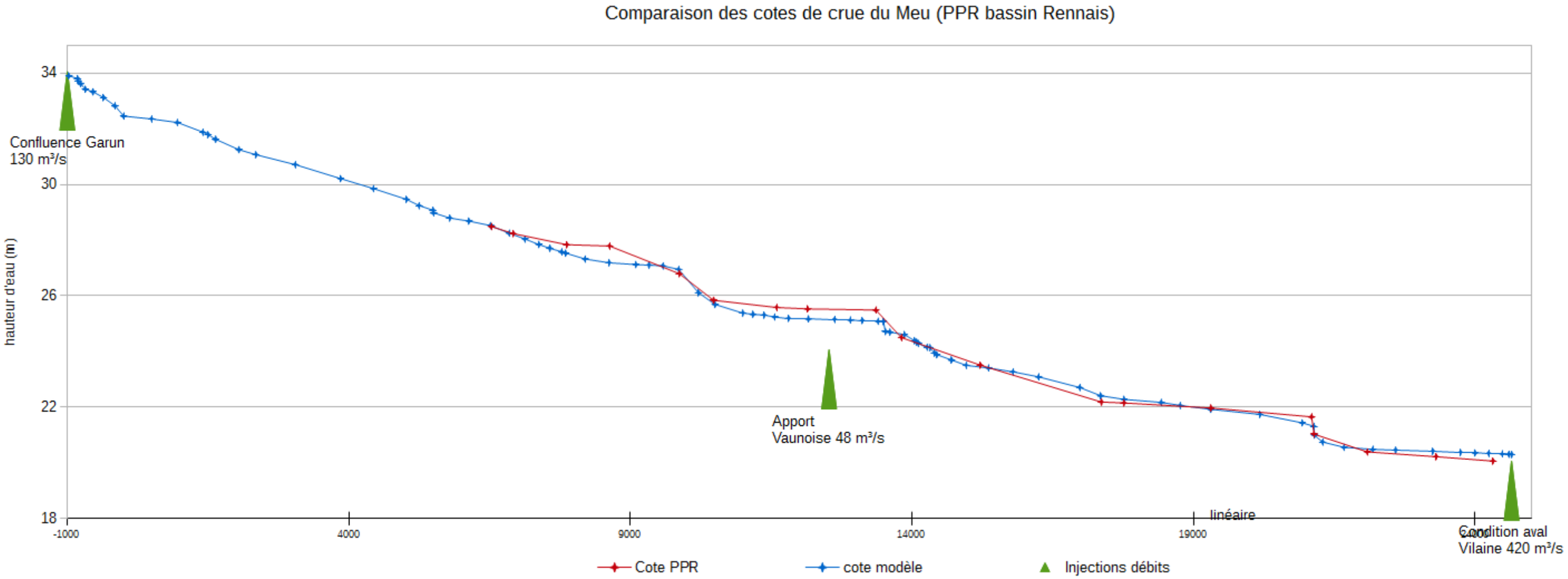
Comparaison des cotes de crue de la Vilaine (Rennes)

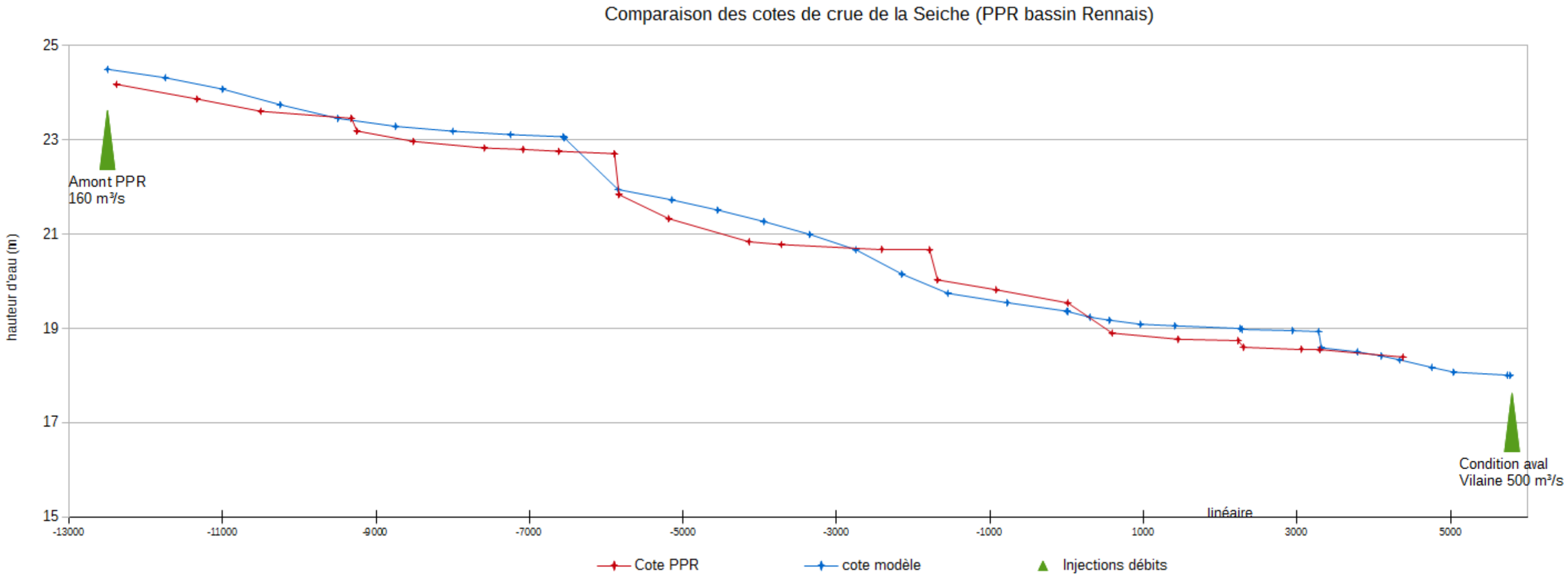


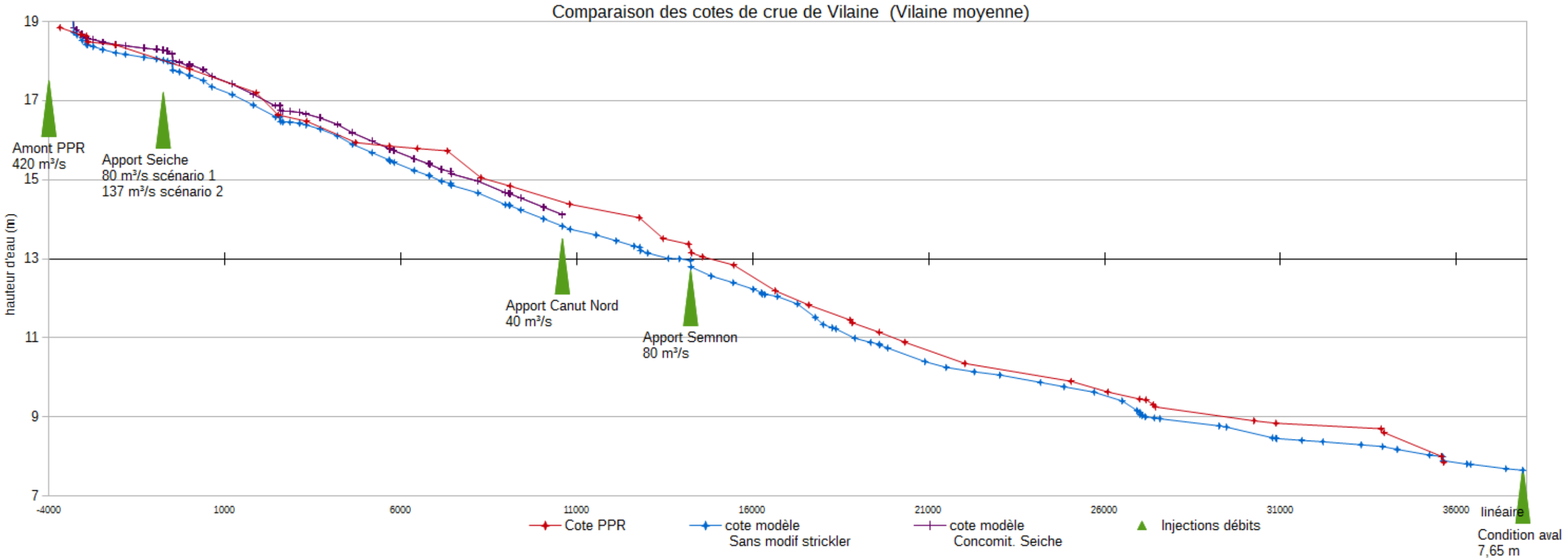

Comparaison des cotes de crue du Chevré (PPR bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
46
44
42
40
38
36
34
32
30
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
0
2000
4000
6000
8000
10000
Amont PPR
60 m³/s
linéaire
Condition aval
Vilaine 195 m³/s
Cote PPR
cote modèle
Injections débits

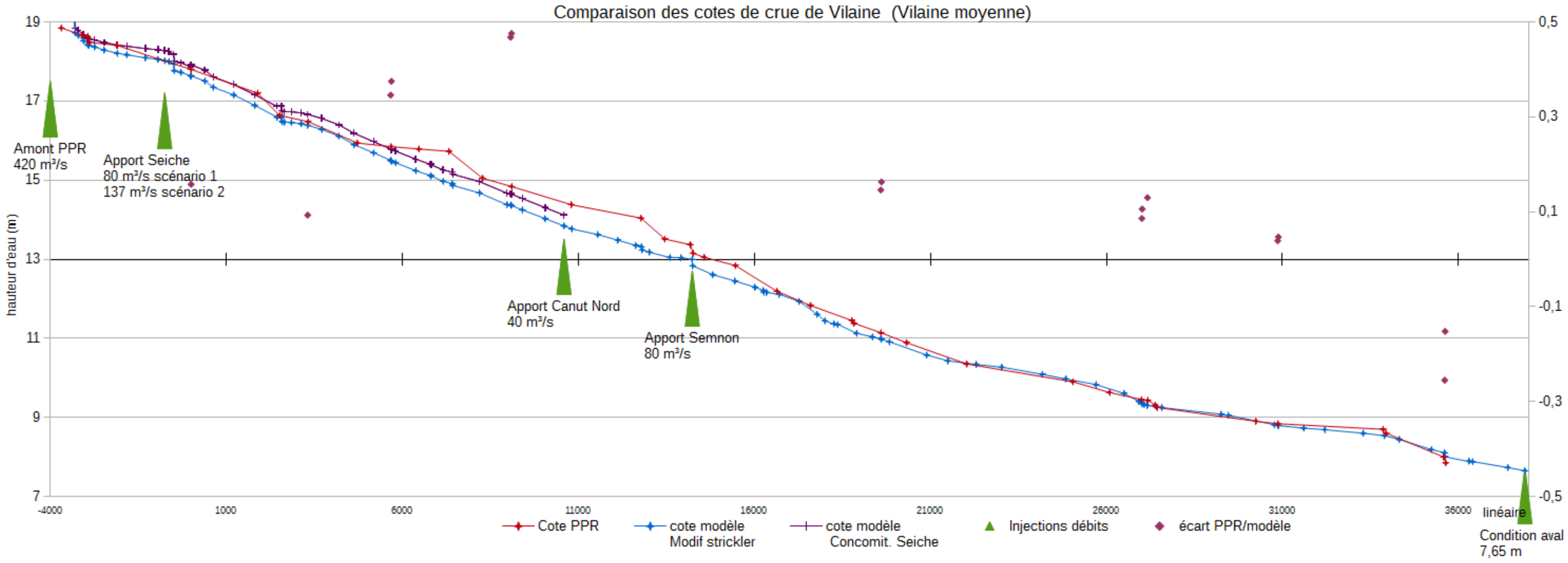

Comparaison des cotes de crue de l'Ille (PPR bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
34
32
30
28
26
24
22
Confluence Illet
92 m³/s
Condition aval
Vilaine 248 m³/s
15000
17000
19000
21000
23000
25000
27000
29000
31000
33000
35000
linéaire
Cote PPR
cote modèle
Injections débits


Comparaison des cotes de crue de la Flume (PPR bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
45
40
35
30
25
20
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
Amont PPR
40 m³/s
linéaire
Condition aval
Vilaine 268 m³/s
Cote PPR
cote modèle
Injections débits

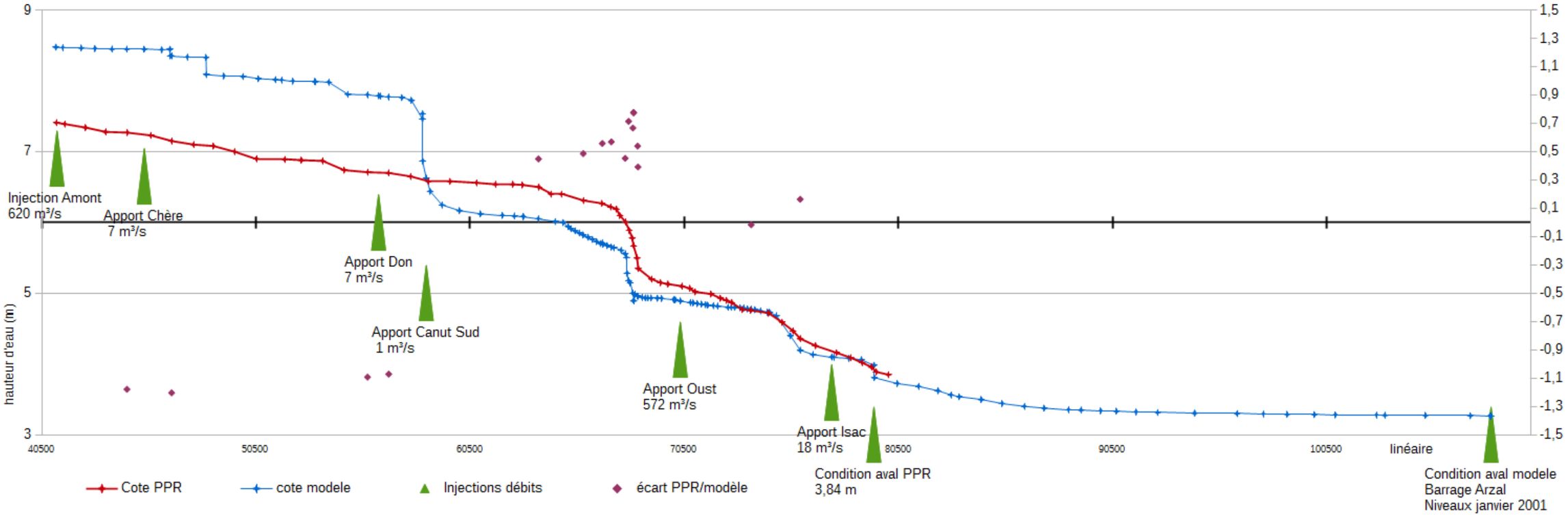

Comparaison des cotes de crue du Meu (PPR bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
34
30
26
22
18
-1000
4000
9000
14000
19000
linéaire
Confluence Garun
130 m³/s
Apport
Vaunoise 48 m³/s
Condition aval
Vilaine 420 m³/s
Cote PPR
cote modèle
Injections débits

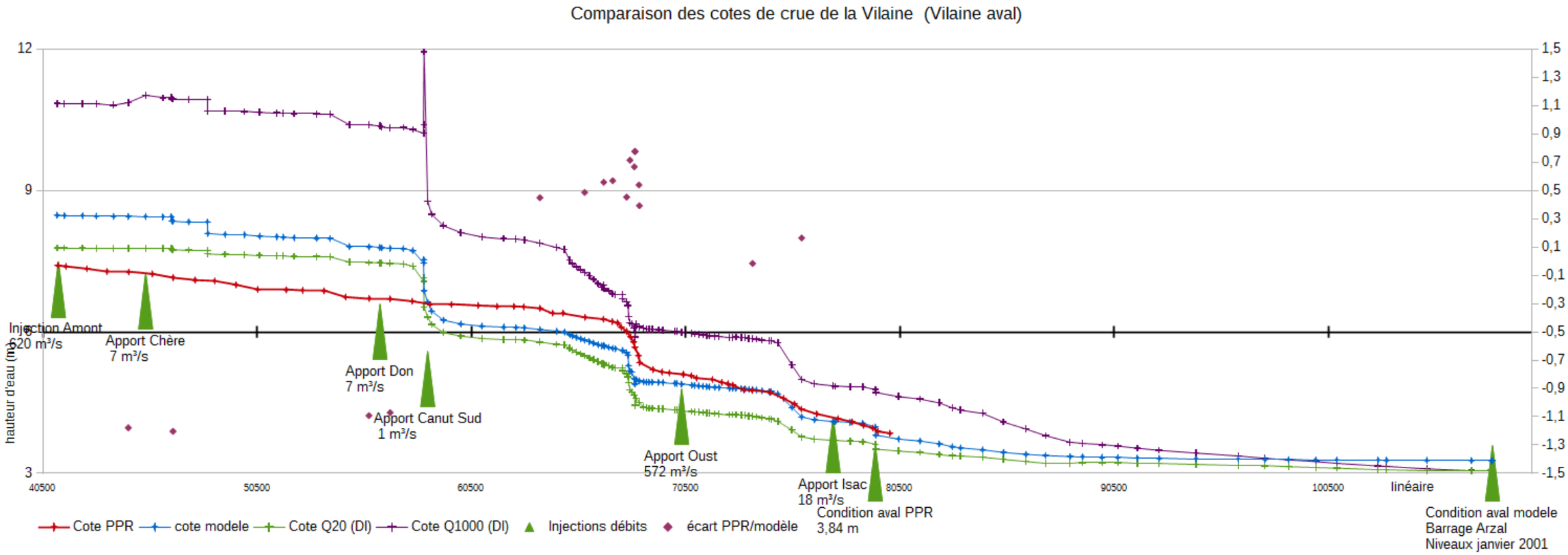

Comparaison des cotes de crue de la Seiche (PPR bassin Rennais)
hauteur d'eau (m)
25
23
21
19
17
15
Amont PPR
160 m³/s
Condition aval
Vilaine 500 m³/s
linéaire
-13000
-11000
-9000
-7000
-5000
-3000
-1000
1000
3000
5000
Cote PPR
cote modèle
Injections débits

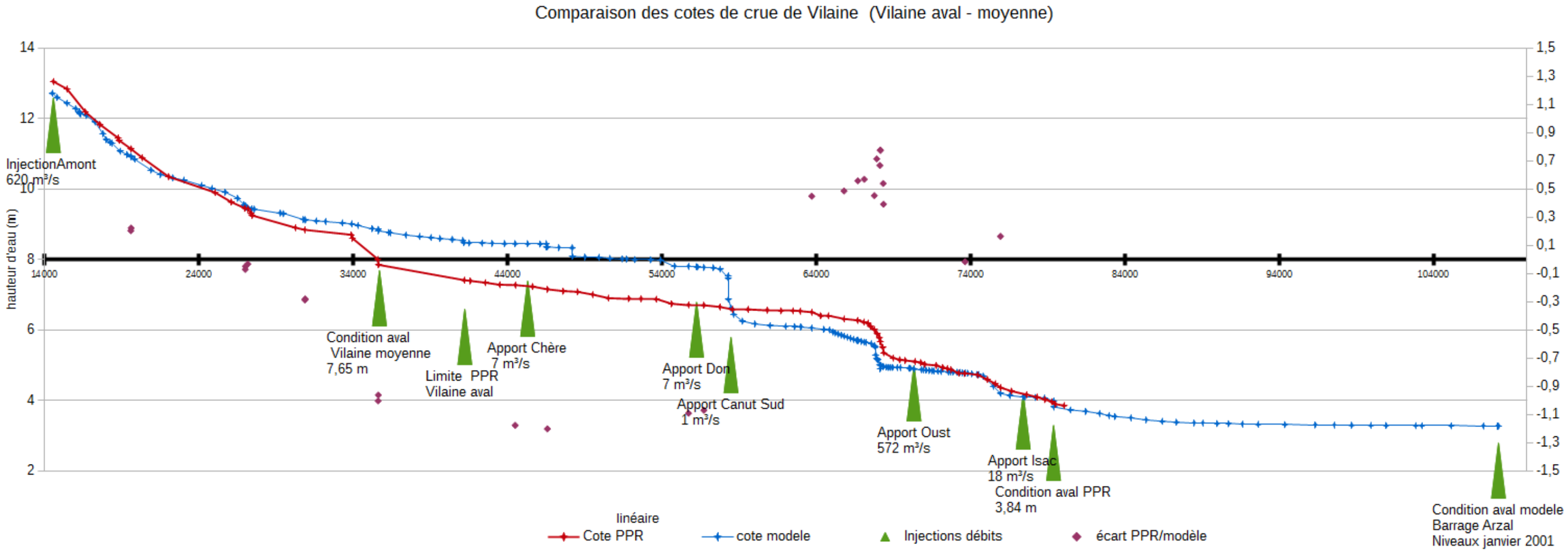

Comparaison des cotes de crue de Vilaine (Vilaine moyenne)
hauteur d'eau (m)
19
17
15
13
11
9
7
-4000
1000
6000
11000
16000
21000
26000
31000
36000
Amont PPR
420 m³/s
Apport Seiche
80 m³/s scénario 1
137 m³/s scénario 2
Apport Canut Nord
40 m³/s
Apport Semnon
80 m³/s
linéaire
Condition aval
7,65 m
Cote PPR
cote modèle
Sans modif strickler
cote modèle
Concomit. Seiche
Injections débits


Comparaison des cotes de crue de Vilaine (Vilaine moyenne)
hauteur d'eau (m)
19
17
15
13
11
9
7
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
-4000
1000
6000
11000
16000
21000
26000
31000
36000
Amont PPR
420 m³/s
Apport Seiche
80 m³/s scénario 1
137 m³/s scénario 2
Apport Canut Nord
40 m³/s
Apport Semnon
80 m³/s
linéaire
Condition aval
7,65 m
Cote PPR
cote modèle
Modif strickler
cote modèle
Concomit. Seiche
Injections débits
écart PPR/modèle

Comparaison des cotes de crue de la Vilaine (Vilaine aval)




Comparaison des cotes de crue de la Vilaine (Vilaine aval)
hauteur d'eau (m)
12
9
6
3
1,5
1,3
1,1
0,9
0,7
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
-0,7
-0,9
-1,1
-1,3
-1,5
40500
50500
60500
70500
80500
90500
100500
linéaire
Injection Amont
520 m³/s
Apport Chère
7 m³/s
Apport Don
7 m³/s
Apport Canut Sud
1 m³/s
Apport Oust
572 m³/s
Apport Isac
18 m³/s
Condition aval PPR
3,84 m
Condition aval modele
Barrage Arzal
Niveaux janvier 2001
Cote PPR
cote modele
Cote Q20 (DI)
Cote Q1000 (DI)
Injections débits
écart PPR/modèle


Comparaison des cotes de crue de Vilaine (Vilaine aval - moyenne)
hauteur d'eau (m)
14
12
10
8
6
4
2
1,5
1,3
1,1
0,9
0,7
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
-0,7
-0,9
-1,1
-1,3
-1,5
14000
24000
34000
44000
54000
64000
74000
84000
94000
104000
InjectionAmont
620 m³/s
Condition aval
Vilaine moyenne
7,65 m
Limite PPR
Vilaine aval
Apport Chère
7 m³/s
Apport Don
7 m³/s
Apport Canut Sud
1 m³/s
Apport Oust
572 m³/s
Apport Isac
18 m³/s
Condition aval PPR
3,84 m
Condition aval modele
Barrage Arzal
Niveaux janvier 2001
linéaire
Cote PPR
cote modele
Injections débits
écart PPR/modèle

Document consultable et téléchargeable sur le site http://www.ouest.cerema.fr/

Cerema Ouest
5 rue Jules Vallès – 22015 Saint-Brieuc cedex
Tel : 02 96 75 93 00 – Fax : 02 96 75 93 10 – mel : DLRB.DTerOuest@cerema.fr

www.cerema.fr